

湖北省生态环境可持续性动态分析*

李海燕, 蔡银莺

(华中农业大学 土地管理学院, 湖北 武汉 430070)

摘要 以湖北省 2001—2009 年时间序列数据为基础, 在生态足迹框架下应用能值分析理论, 结合生态足迹多样性指数、万元 GDP 生态足迹和生态经济系统发展能力等 3 项指标动态分析研究湖北省生态环境的可持续发展能力。结果表明: 经过 9 年的综合整治与规划, 湖北省自然资源利用效率、生态足迹分配程度以及经济发展状况均有不同程度的改善和提高, 但仍存在以下问题: 自然资源供需不合理, 湖北省生态赤字逐渐增加; 自然资源组分结构变化明显, 牧草地、化石燃料用地扩张速率过快; 生态足迹多样性指数虽有显著增长, 但生态足迹整体分配不均; 万元 GDP 生态足迹下降趋势明显, 整体资源利用效率较低; 生态经济系统发展能力虽呈现上升趋势, 但现状欠佳。因此, 积极调整能源消费结构和自然资源分配利用方式是促进湖北省生态环境可持续发展的关键。

关键词 能值分析; 生态足迹; 生态环境; 可持续发展; 湖北省

中图分类号: F 323.211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2012)04-0082-07

随着党的十七届五中全会的召开和中国“十二五”发展规划纲要的出台, 以科学发展为主题、产业结构调整与经济发展方式转变为途径, 资源节约与环境保护的绿色经济发展方式已被社会广泛接受, 全球范围内通过绿色转型来减少经济发展对自然资源和生态环境的过分依赖与破坏。在过去的 5 年中, 中国通过采纳新思维、新战略推动了绿色产业的转型与发展。其中生态文明与科学发展观、建设环境友好型、资源节约型社会等重构发展模式一样, 作为重要的战略策略与实施途径, 很好地推进了绿色转型模式的发展, 已成为中国未来发展的长久战略选择。生态文明是自然资源分配利用中相对重要的一部分, 而自然资源等战略性储备物资的使用状况也已经严重影响到区域经济、生态等方面的可持续发展。

20 世纪 80 年代, 美国著名生态学家 Odum 提出了能值分析理论, 他认为各种系统都是由不同能量所构成, 且生态系统中不同事物的能量值之间也存在着本质性的差异, 不能通过简单的处理、分析来核算。而能值指标为生态系统内各类别物质能量转换为同一标准提供了可实现的途径, 方便进行定量分析^[1-2]。20 世纪 90 年代, 由加拿大生物学家

Wackernagel 等提出的生态足迹模型, 实现了定量分析生态环境的可持续发展能力^[2], 应用非常广泛。同时该模型还将生态系统的自动净化能力、生态足迹的多样性以及资源的可再生性等性质考虑在内, 模型思路简洁明朗, 发展迅速, 成为度量环境可持续发展能力的一种重要手段^[3-12]。本文采用 2001—2009 年间湖北省的各项统计数据资料, 在生态足迹的框架下, 将各种能量统一转换为对应的生产性土地面积, 实现对区域生态足迹与生态承载力的定量比较与动态性分析, 并依据生态承载力与生态足迹之间的差值来判断湖北省内资源供需与自然禀赋之间的安全和谐状况, 从而衡量区域环境的可持续发展能力, 并提供建议。同时还引入生态足迹多样性指数、万元 GDP 生态足迹、生态经济系统发展能力等指标来衡量区域生态环境的可持续性自我更新调节能力, 对湖北省生态可持续性进行多方位分析与研究。为政府制定出全面的发展规划和财政政策提供科学依据。

一、模型的确定与指标选择

生态足迹是指维持一个国家或地区的人口生存

收稿日期: 2011-09-24

* 国家自然科学基金青年项目“主体功能区空间规划管制下群体福利均衡与农田生态补偿研究”(40901288); 国家社会科学基金项目“主体功能区划框架下农田生态补偿制度及效应研究”(09CJY021); 教育部博士点新教师基金项目“规划管制下土地发展受限与基本农田保护的经济补偿机制”(20090146120005)。

作者简介: 李海燕(1988-), 女, 硕士研究生; 研究方向: 土地资源经济与管理。E-mail: haiyan2011@163.com

所需要的以及能够吸纳人类所排放的废物、具有生态生产力的地域总面积。是从量化视角研究自然生态影响的有效指标^[12-15]。

本文主要将能值分析方法与生态足迹理论框架相结合,同样遵循生态足迹的2个基本事实,即:①人类能够估计自身消费的大多数资源、能源及其所产生的废弃物数量;②这些资源和废弃物能折算成生产和吸纳这些资源和废弃物的生产性土地面积。这需要将各种不同类型、等级的能量流通过能值转换率,折算成可以直接进行加减运算的太阳能值,再依据能值密度,将各消费项目的太阳能值核算为相对应的生产性土地面积,从而计算出研究区域的生态足迹和生态承载力,由此判断区域的可持续发展状况^[16-26]。

1. 基于能值分析理论的生态足迹模型

(1)各主要消费项目的能值核算。依据公式(1)^[6],借助能值转换率,折算出各项目的太阳总能值以及人均太阳能值:

$$\text{能值} = \text{各项有效能量} \times \text{能值转换率} \quad (1)$$

(2)生态承载力量算。可利用的自然资源中,可再生资源具有非常重要的作用。相比非可再生资源而言,可再生资源因其再生速率快,能够被人类持续不断利用,而受到广泛的关注。所以在生态承载力量算时,只考虑可再生资源指标的核算^[6]:

$$E_a = a/P_i \quad (2)$$

式(2)中, E_a 表示人均生态承载力; a 表示可更新资源的人均太阳能值; P_i 表示全球平均能值密度。

(3)生态足迹折算。研究各地区生态系统的总能值折算主要考虑太阳辐射能、风能、雨水化学能等5项可更新自然资源,依据Odum的研究,为避免重复计算,同样选择最大能值作为区域总能值。其表达式为^[6]:

$$p_2 = \text{区域总能值} / \text{区域总面积} \quad (3)$$

其后需要将消费项目的能值转换为对应的生产性土地面积。生态足迹的计算,主要包含生物资源消费与能源资源消费两项。公式为^[6]:

$$E_f = \sum A_i = \sum e_i/p_2 \quad (4)$$

式(4)中, E_f 表示人均生态足迹; i 表示自然资源类型; A_i 表示第*i*种资源的人均生态足迹; e_i 表示第*i*种资源的人均能值; p_2 表示研究地区能值密度。

(4)生态赤字或盈余。通过比较人均生态足迹与人均生态承载力的差值来动态衡量研究地区生态环境的可持续发展状况。

2. 湖北省生态可持续性评价指标

(1)生态足迹多样性指数。其公式为:

$$D = - \sum R_i \text{Ln}R_i \quad (5)$$

该指数的计算主要借鉴Shannon-Weaver公式,式中*D*是多样性指数; R_i 为第*i*种土地类型在总生态足迹中所占的比例。Shannon-Weaver公式是一个复合函数形式,主要从丰裕度和公平度两个方面对生态经济系统中的自然资源和能源资源的分配状况进行研究,资源分配的公平性越高表明区域的生态足迹多样性就越高^[7]。

(2)万元GDP生态足迹。公式为:

$$\text{万元GDP生态足迹} = \text{区域总人口生态足迹} / \text{区域GDP} \quad (6)$$

万元GDP足迹主要用于反向表征各项资源的利用效率以及效率之间的差异,万元GDP足迹指标越高,则资源利用效率越低,说明土地的产出效率也就越低^[8]。

(3)生态经济系统发展能力。生态经济系统发展能力(*C*)是由生态足迹乘以从系统组织角度推导的生态足迹多样性指数得到的^[7], ef 为生产性土地面积,公式为:

$$C = ef \times (- \sum Q_i \text{Ln}Q_i) \quad (7)$$

二、湖北省生态环境可持续性的评价分析

1. 湖北省生态足迹的能值核算

(1)人均生态承载力。湖北省土地总面积为 $1.859 \times 10^{11} \text{ m}^2$,2001—2009年的总人口分别为5 974、5 987、6 001、6 016、6 031、6 050、6 070、6 110、6 141万人,文中引用的社会经济、人口、资源环境的原始数据均来自2002—2010年的《湖北省统计年鉴》和各年份的《中国农业分析报告》。

依据相关文献^[9-11]可知,全球年均总能值为 $1.583 \times 10^{25} \text{ sej}$,全球平均能值密度 p_1 为 $3.104 \times 10^{14} \text{ sej/hm}^2$,根据上式(1)计算出湖北省人均生态承载力如表1所示。依据核算结果可知,湖北省年均总能值为 $5.391 \times 10^{21} \text{ sej}$ 。表1中对于太阳辐射能、风能、雨水势能、雨水化学能和地球旋转能的计算,参见相关文献^[12]。

(2)人均生态足迹。根据公式(2)计算得湖北省能值密度 p_2 为 $2.90 \times 10^{14} \text{ sej/hm}^2$,并依据公式(3)计算得湖北省2001—2009年内各种消费指标的人均生态足迹如表2所示。

表 1 湖北省人均生态承载力计算结果

项 目	原始数据/ $J^{[13-14]}$	能量转换率/(sej/J)	太阳能值/sej	人均能值/(sej/人)
太阳辐射能	8.871×10^{20}	1	8.871×10^{20}	1.437×10^{13}
风 能	3.504×10^{12}	1 500	5.256×10^{15}	8.511×10^7
雨水势能	3.102×10^{16}	8 888	2.757×10^{20}	4.465×10^{12}
雨水化学能	1.072×10^{17}	15 444	1.655×10^{21}	2.680×10^{13}
地球旋转能	1.859×10^{17}	29 000	5.391×10^{21}	8.730×10^{13}
人均生态承载力	—	—	5.391×10^{21}	8.730×10^{13}

表 2 湖北省 2001—2009 年人均生态足迹核算结果

年 份	hm ² /人								
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
小麦(耕地)	0.239	0.243	0.178	0.182	0.182	0.186	0.176	0.178	0.160
稻谷(耕地)	0.891	0.888	0.799	0.783	0.734	0.729	0.722	0.666	0.665
大豆(耕地)	0.208	0.256	0.264	0.216	0.236	0.233	0.246	0.216	0.215
鲜 菜(耕地)	0.006	0.005	0.006	0.005	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005
家 禽(耕地)	0.511	0.57	0.631	0.562	0.632	0.663	0.731	0.679	0.65
鲜 蛋(耕地)	0.021	0.022	0.023	0.023	0.028	0.033	0.033	0.031	0.03
瓜 类(耕地)	0.288	0.212	0.285	0.158	0.152	0.256	0.199	0.148	0.186
水产品(水域)	1.698	1.787	1.923	1.725	2.035	2.062	2.062	1.727	1.789
鲜 奶(牧草地)	0.007	0.002	0.003	0.003	0.007	0.01	0.016	0.026	0.035
猪 肉(牧草地)	0.367	0.378	0.500	0.453	0.551	0.531	0.602	0.59	0.588
牛羊肉(牧草地)	0.514	0.451	0.502	0.519	0.539	0.54	0.542	0.61	0.641
水果类(林地)	0.088	0.066	0.081	0.079	0.085	0.087	0.093	0.083	0.080
木 材(林地)	0.231	0.232	0.272	0.306	0.330	0.334	0.385	0.409	0.438
原 煤(化石燃料土地)	0.680	0.813	0.869	1.068	1.494	1.557	1.467	1.411	1.479
焦 炭(化石燃料土地)	0.192	0.201	0.223	0.269	0.334	0.328	0.336	0.392	0.370
原 油(化石燃料土地)	0.309	0.321	0.342	0.406	0.440	0.453	0.481	0.441	0.496
汽 油(化石燃料土地)	0.007	0.007	0.007	0.007	0.015	0.019	0.008	0.009	0.009
柴 油(化石燃料土地)	0.013	0.019	0.027	0.015	0.029	0.029	0.024	0.023	0.023
液化石油气(化石燃料土地)	0.004	0.005	0.012	0.007	0.005	0.005	0.006	0.005	0.003
电 力(化石燃料土地)	0.116	0.123	0.132	0.166	0.191	0.182	0.216	0.248	0.243
生态资源	5.068	5.112	5.467	5.015	5.516	5.672	5.813	5.367	5.483
能源资源	1.322	1.490	1.613	1.938	2.508	2.573	2.537	2.530	2.623
生态足迹	6.390	6.602	7.080	6.953	8.024	8.244	8.350	7.897	8.106

从表 2 中各项结果可以看出,生态资源和能源资源的总量都在不断上升,其中生态资源的年平均增长比率为 4.6%,能源资源的年平均增长比率为 14.5%,由此可见能源资源的需求与消耗的年平均增长比率是生态资源的 3 倍左右。湖北省 9 年内人均消费水平和能源需求量都在不断上涨,其中经济发展是导致能源资源需求进一步增加的主要原因。而生态资源和能源资源需求的上涨则是导致湖北省人均生态足迹不断上升的直接原因。

(3)人均生态赤字。从表 3 核算结果可知,湖北省人均生态足迹从 2001 年的 6.390 hm²/人增至 2009 年的 8.106 hm²/人。按世界环境与发展委员

会的报告建议,应留出 12%的生产性土地面积来保护生态足迹多样性。所以在人均生态承载力中扣除 12%的生态足迹多样性保护土地后,实际可供利用的面积仅为 0.248 hm²/人。因此,可以得出:2001—2009 年内湖北省的生态足迹均远远超过其生态承载力,生态赤字由 2001 年的 6.142 hm²/人扩张到 2009 年的 7.858 hm²/人。计算结果表明,湖北省对生态环境的影响与破坏远远超出了其生态承载力的范围,其中,各类生产性土地面积对总的生态足迹的贡献率大小依次为:耕地>水域>化石燃料用地>牧草地>林地>建筑用地。

随着人均生态足迹的不断上升,人均生态承载

力的变化不显著,导致湖北省人均生态赤字差距不断拉大。2001—2009年湖北省人均生态承载力已不能满足经济和社会平稳快速的发展要求,不足以承担相应的环境净化与更新的重任,对外部环境、自然资源、能源的需求和依赖也在不断上升,生态压力很大。

表3 湖北省2001—2009年生态足迹能值核算结果

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
耕地	2.164	2.196	2.186	1.929	1.969	2.106	2.112	1.922	1.911
牧草地	0.887	0.831	1.005	0.975	1.097	1.082	1.161	1.225	1.264
水域	1.698	1.787	1.923	1.725	2.035	2.062	2.062	1.727	1.789
林地	0.318	0.298	0.353	0.385	0.415	0.422	0.478	0.492	0.518
化石燃料土地	1.206	1.366	1.481	1.771	2.316	2.391	2.321	2.282	2.380
建筑用地	0.116	0.123	0.132	0.166	0.191	0.182	0.216	0.248	0.243
合计	6.390	6.602	7.080	6.953	8.024	8.244	8.350	7.897	8.106
人均生态承载力	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278	0.278
人均生态承载力的88%	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248	0.248
人均生态赤字	6.142	6.354	6.832	6.705	7.776	7.996	8.102	7.649	7.858

从核算结果可知,9年内湖北省生态足迹多样性指数在1.444~1.507之间波动,其中2008、2009年的数据相对较高,由丰裕度和公平度的评价含义可知,这2个年份湖北省生态足迹的分配状况相比前7年而言,更均衡更公平。同时不同土地类型的利用数量之间也在不断调整 and 变化。从相邻年份的差值来看,生态足迹多样性指数变化趋势并非一直平稳,而是在不断增长,其中2001—2002年、2004—2006年、2008—2009年之间均为负增长,也说明湖北省的能源与食品的消费需求是在不断调整中得以改善的,这表明湖北省在注重经济发展的同时,更加注重生态环境的多样性发展与资源的可持续性均衡消费。

(2)万元GDP生态足迹。参照公式(6),对2001—2009年的湖北省万元GDP生态足迹进行了核算,并依据核算结果推出2001—2009年湖北省万

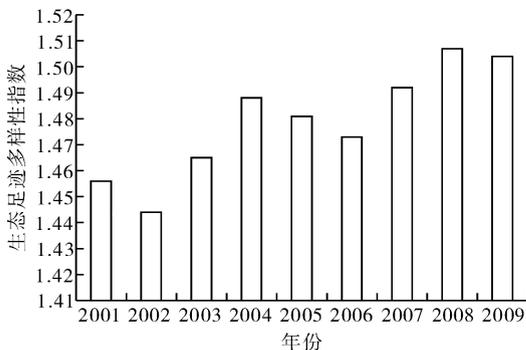
2. 湖北省生态环境可持续性动态分析

(1)生态足迹多样性指数。将2001—2009年各项土地类型占总生态足迹的比例导入公式(5),计算可得湖北省9年内生态足迹多样性指数,依据此指数可得2001—2009年湖北省生态足迹多样性趋势图,如图1(a)。

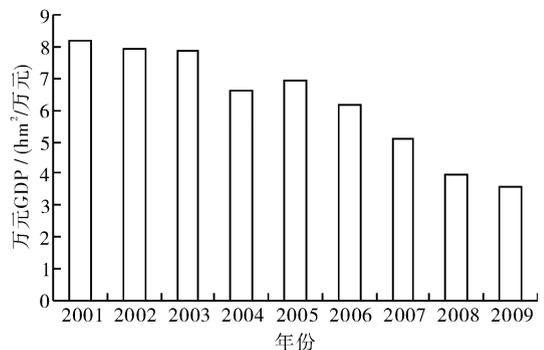
元GDP生态足迹动态趋势图如图1(b)。从图1可知,湖北省9年内的万元GDP变化呈现下降趋势,数值在3.574~8.178 hm²/万元之间波动,依据世界环境与发展委员会的报告,该项指标整体趋势偏高,这表明湖北省9年内的资源利用效率均比较低。

结合湖北省能源资源利用战略规划可知,在2001—2009年,资源利用率是在不断提高的。尤其是2008—2009年,资源利用效率已经发生了显著的变化。2009年资源利用率比2001年下降了43.7%,降幅明显。由此可见,湖北省资源利用有效程度正在逐步提高。

(3)生态经济系统发展能力。利用公式(7)得到湖北省近年生态经济系统发展能力,从表4中可见,虽然湖北省生态经济系统能力总体呈现上升趋势,数值在8.970~11.881之间波动,但从不同类别的生产性土地类型来看,变化趋势则不尽相同。



(a) 生态足迹多样性



(b) 万元GDP生态足迹

图1 2001—2009年湖北省生态足迹多样性与万元GDP的动态分析

如表 4 所示,构成生态经济系统发展能力的各项生产性土地类型的变化趋势中;2009 年牧草地和化石燃料用地总量与 2001 年相比增幅分别高达 47%、103%。但两者的变化趋势又不尽相同。其中,牧草地成稳定上升趋势,表明消费者的生活水平在不断上涨,解决温饱的基础上,对于禽类、蛋类的需求、营养均衡的意识正在不断增长,这也比较符合湖北省现有生态经济发展状况。化石燃料土地的增长则是分 2 个阶段,2001—2005 年上升趋势明显,湖北省在这 5 年内依靠能源等资源

的消耗大力推动了湖北省产业经济与整体实力的提升。直到 2009 年,增长趋势变缓,也表明湖北省在追求经济快速平稳发展的同时不再过分依赖能源,特别是不可再生能源,而是不断革新技术,改进生产工艺,努力提高能源资源的利用率,减少碳消耗,实现绿色产业的转型与发展。建筑用地和水域的变化趋势相对比较平稳,增长幅度并不明显;而耕地和林地虽有小范围的上调,但耕地在 2004 年和 2008 年、水域在 2007 年之后均有下降,所以两者整体呈下滑趋势。

表 4 2001—2009 年湖北省生态经济系统发展能力

生产性土地类型	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
耕地	3.152	3.171	3.203	2.870	2.916	3.102	3.150	2.897	2.874
牧草地	1.292	1.200	1.473	1.451	1.625	1.594	1.732	1.846	1.901
水域	2.473	2.580	2.818	2.567	3.014	3.037	3.076	2.603	2.691
林地	0.128	0.095	0.119	0.118	0.126	0.128	0.139	0.125	0.120
化石燃料土地	1.756	1.973	2.170	2.635	3.430	3.522	3.462	3.440	3.580
建筑用地	0.169	0.178	0.193	0.247	0.283	0.268	0.322	0.374	0.365
合计	8.970	9.197	9.976	9.887	11.394	11.651	11.881	11.285	11.531

上述分析结果显示,湖北省生态经济系统发展能力整体呈现上升趋势,表明湖北省经济、生态状况等处于较强的发展势态中,具有较强的韧性和发展能力。也表明湖北省在均衡各项生产性土地类型的比例、调整能源的利用效率、保证经济稳定持久发展、坚持生态环境的改善和能源需求结构的调整等方面卓有成效,这必将有利于生态环境的进一步改善。

三、结论与讨论

1. 结论

全文在生态足迹框架上借鉴能值分析理论,同时还增加生态足迹多样性指数、万元 GDP 生态足迹和生态经济系统发展能力 3 项指标来改进生态足迹模型,尽量全面考虑人类的需求活动带给生态环境特别是不可再生资源的生态影响。通过土地利用类型之间的差异变化来揭示湖北省生态环境的真实状况,并借助 2001—2009 年的湖北省各项能源资源的统计资料来对湖北省可持续发展能力予以动态的分析,主要得出以下结论:

(1)自然资源的供需不合理。湖北省 2001—2009 年人均生态足迹的平均增长率高达 19.06%;人均生态承载力在区域面积固定和各项辐射能量变化并不显著时,浮动表现为 0;根本原因在于自然资源结构不合理,人均生态足迹的增长速率过快,从而

导致 2001—2009 年间湖北省生态环境一直处于生态赤字状态,其中经济发展速率不断加快、居民消费水平不断上升以及能源需求量的不断增加是湖北省生态赤字逐年拉大最主要的原因。

(2)自然资源的组分结构变化显著。在 2001—2009 年间,湖北省 6 种主要土地类型的变化趋势中,牧草地、化石燃料用地的总量在逐年上升,年平均涨幅为 6.7%、20.2%;耕地、林地面积小范围的下降达 3.08%、0.08%;建筑用地和水域总量平稳上升,涨幅为 2.42%、2.17%,均相对平稳。从耕地比重的下降和其他能源需求总量的上升可知,湖北省自然资源的组分结构已从根本上发生了变化,说明随着经济的不断增长和居民生活水平的提升,发展需求是从根本上增加对能源的需求,同时能源需求也是导致化石燃料用地面积显著增加的主要原因。

(3)生态足迹整体分配不均。湖北省 2001—2009 年间的生态足迹多样性指数是在动态变化中不断增长的,同时也在能源与食品消费需求中不断调整得以改善,虽然总体资源分配上尚不合理,但 9 年内的持续增长也表明湖北省在注重经济发展的同时,更加注重生态环境的多样性发展与资源的可持续性均衡消费。

(4)万元 GDP 生态足迹下降趋势明显。湖北省 9 年内的万元 GDP 的变化呈现下降趋势,由 2001

年的 8.178 hm² 下降到 2009 年的 3.574 hm², 表明湖北省万元 GDP 整体呈现偏高的趋势, 资源利用效率较低, 但下降趋势也真切地反应了湖北省就资源利用效率方面采取措施与政策所取得的显著效果。

(5) 生态经济系统发展能力现状欠佳。湖北省生态经济系统发展能力总体呈现上升趋势。从各项生产性土地类型的变化趋势来看, 牧草地、化石燃料用地总量在不断上升, 耕地、林地小范围的下降, 建筑用地和水域总量变化趋势相对平稳, 湖北省在逐年均衡各项生产性土地类型的比例, 调整能源的利用效率, 保证经济稳定持久发展的同时, 坚固生态环境的改善和能源需求结构的调整, 这将有利于生态环境的进一步改善。

2. 讨 论

分析运用能值方法对湖北省 2001—2009 年的生态足迹进行了时间序列的测算, 主要选择了生态资源和能源资源 2 个方面, 20 项指标来反映湖北省 9 年内生态足迹的动态变化情况, 选择的指标和实际情况相结合。但对于能值分析方法的运用, 会因选择的因子不同、指标选择偏向差异、参数的确定和各种侧重而使湖北省生态足迹的强弱程度出现一定程度上的差异。所以在对能值分析运用和指标的选取上仍值得继续研究。

在运用生态足迹多样性指数、万元 GDP 生态足迹、生态经济系统发展能力 3 项指标来核算湖北省 2001—2009 年的生态可持续发展能力的时候, 所选用的数据均为相关统计数据, 因年份较长, 对同一指标的统计口径并不完全一致, 需要对部分年份数据进行折算, 这同样也会导致结果存有一定的差异。

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] 杨开忠, 杨咏, 陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630-636.
- [3] WACKERNAGEL M, REES W. Our ecological footprint: reducing human import on the earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [4] 李利峰, 成升魁. 生态占用——衡量可持续发展的新指标[J]. 资源科学, 2000, 15(4): 375-382.
- [5] WILLIAM E R. Revisiting carrying-capacity: Area-based indicators of sustainability[EB/OL]. (1997-03-04)[2011-04-28]. <http://www.dieoff.Com/page/110.htm>.
- [6] 张芳怡, 濮励杰, 张健. 基于能值分析理论的生态足迹模型及应用[J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 653-659.
- [7] 谢鸿宇, 王伶俐, 陈贤生. 生态足迹评价模型的改进与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 58-60.
- [8] 徐中民, 程国栋. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年为例[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1484-1493.
- [9] 蓝盛芳, 钦佩. 生态经济系统能值分析. 应用生态学报[J]. 2001, 12(1): 129-131.
- [10] 刘冬梅. 可持续发展理论框架下的生态足迹研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 183-185.
- [11] 蓝盛芳, ODUM H T, 刘新茂. Energy flow and emergy analysis of the agroecosystems of China[J]. 生态科学, 1998(1): 32-39.
- [12] 杜博洋. 湖北省耕地系统能值分析[D]. 河北: 河北农业大学农学院, 2008.
- [13] 中国自然资源丛书编撰委员会. 中国自然资源丛书: 湖北卷[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 80-82.
- [14] 中国自然资源丛书编撰委员会. 中国自然资源丛书: 气候卷[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 209-219.
- [15] 张延安, 郑昭佩, 张文岚. 基于能值改进的生态足迹模型在济南市的应用分析[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(2): 134-138, 157.
- [16] 陈春锋, 王宏燕, 肖笃宁, 等. 基于传统生态足迹方法和能值生态足迹方法的黑龙江省可持续发展状态比较[J]. 应用生态学报, 2008(11): 2544-2549.
- [17] 刘志辉. 武汉经济社会发展报告(2009)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2009, 30.
- [18] 王闰平. 基于能值的山西省农业生态系统动态分析[D]. 长沙: 湖南农业大学经济管理学院, 2009.
- [19] LI X M, XIAO R B, YUAN S H, et al. Urban total ecological footprint forecasting by using radial basis function neural network: a case study of Wuhan city, China[J]. Ecological Indicators, 2010, 10(2): 241-248.
- [20] NIE Y, JI C Y, YANG H Q. The forest ecological footprint distribution of Chinese logimports[J]. Forest Policy and Economics, 2010, 12(3): 231-235.
- [21] CHAPAGAINA K, HOEKSTRA A Y, SAVENIJE H H, et al. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries[J]. Ecological Economics, 2006, 60(1): 186-203.
- [22] ADJO A A, JOTIN K C, KHAYESI M. Using the sustainability footprint model to assess development impacts of transportation systems[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2009, 43(4): 339-348.
- [23] ANDREW K J, THOMAS J B. The political-economic causes of change in the ecological footprints of nations, 1991—2001: a quantitative investigation[J]. Social Science Research, 2007, 36(2): 834-853.
- [24] RAUL S, FENI A, ENRIQUE O. Emery net primary production (ENPP) as basis for calculation of ecological footprint[J].

Ecological Indicators, 2010, 10(2): 475-483.

[25] MOHAMED M M. Clustering the ecological footprint of nations using Kohonen's self-organizing maps[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(4): 2747-2755.

[26] HONG X N, RYOICHI Y. Modification of ecological footprint evaluation method to include non-renewable resource consumption using thermodynamic approach[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, 51(4): 870-884.

Dynamic Analysis on Ecological Environment Sustainability in Hubei Province

LI Hai-yan, CAI Yin-ying

(College of Land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei, 430070)

Abstract Under the framework of ecological footprint, energy theory is applied to analyze sustainable development of ecological environment in Hubei province with the integration of ecological footprint diversity index, ecological footprint of ten thousands yuan GDP and development capacity of ecological economic system based on the 2001—2009 time-series data. The result shows that the efficiency of natural resource use, distribution of ecological footprint and economic development of Hubei province have increased in various degrees after comprehensive improvement and planning for nine years. However, there are still many problems: such as unreasonable supply and demand chain as well as increasing ecological deficit in Hubei province; obvious changes in the structure of natural resource and fast land expansion rate of pasture and fossil fuels; in spite of significant increase in ecological footprint diversity index, the balance of distribution of ecological footprint is lost as a whole; the tendency of ecological footprint of ten thousand yuan GDP decreases obviously under the inefficient use of overall resources and the development of eco-economic system is on the rise and the economic and ecological condition of Hubei province will gain a strong increasing tendency in the future, but it is poor now. Therefore, it is the key point to adjust the structure of energy consumption and the allocation pattern of natural resources in order to promote the sustainable development of ecological environment in Hubei province.

Key words energy analysis; ecological footprint; ecological environment; sustainable development; Hubei Province

(责任编辑:陈万红)