

基于能值—生态足迹修正模型的区域可持续发展研究 ——以江苏省南通市为例

盛业旭¹, 刘琼¹, 欧名豪¹, 佘伶俐²

(1. 南京农业大学 土地管理学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省土地勘测规划院, 江苏 南京 210024)

摘要: 在系统分析能值—生态足迹模型缺陷的基础上, 通过增加人工投入指标, 统一能值密度以及引入折能/折标系数对其进行了修正, 并采用修正后的模型对江苏省南通市 1996—2010 年的可持续发展水平进行了测算。结果表明: (1) 1996—2010 年间南通市人均生态足迹由 0.65 hm² 增长到 0.90 hm², 主要是由能源消费量的增加引起的; (2) 同期南通市人均生态承载力由 0.51 hm² 增长到 0.81 hm², 这主要是由农、畜产品产量提高和水电开发力度加大引起的, 而通过劳务和资金投入提高承载力的空间很大; (3) 1996—2010 年南通市一直处于生态赤字状态, 可持续性评价指数也都在 0.5 以上, 区域发展处于不可持续状态。为进一步缩小生态承载力与生态足迹之间的差距, 应采取以下措施: 引导重点行业和企业节能降耗, 大力发展新能源; 加大农业科技投入, 继续提高农产品产量; 重视人力资源的投入, 促使经济发展方式向技术密集型和资本密集型转变。

关键词: 能值—生态足迹模型; 生态承载力; 生态足迹; 可持续发展; 南通市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)03-0211-07

中图分类号: X22

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.042

A Study of Regional Sustainable Development Based on Modified Model of Energetic Ecological Footprint —A Case Study of Nantong City, Jiangsu Province

SHENG Ye-xu¹, LIU Qiong¹, OU Ming-hao¹, ER Ling-li²

(1. College of Land Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China;

2. Jiangsu Institute of Land Surveying and Planning, Nanjing, Jiangsu 210024, China)

Abstract: A traditional model of energetic ecological footprint was modified through adding artificial input indexes, unifying energy density and introducing energy-releasing/standard-coal coefficient, based on the assessment of the traditional model. Then, the sustainable development level of Nantong City, Jiangsu Province from 1996 to 2010 was measured with the modified model. Results show that: (1) The ecological footprint of Nantong City increased from 0.65 to 0.90 hm² per capita from 1996 to 2010, caused by the rapid energy consumption. (2) The ecological carrying capacity of Nantong City increased from 0.51 to 0.81 hm² per capita during the period, supported by the growth of agricultural and hydropower production, with a large potential of labor and capital input. (3) Nantong City has been in a state of ecological deficit, and the sustainability evaluation index was always larger than 0.5 from 1996 to 2010, which means that Nantong City was in an unsustainable state. In order to narrow the gap between ecological footprint and ecological carrying capacity, some measures can be put forward: guiding major industries and enterprises to save energy and exploiting new energy actively; increasing the investment in agricultural technology to improve agricultural production; and paying attention to investment in human resources and promoting technology and capital intensified economy.

Keywords: energetic ecological footprint model; ecological carrying capacity; ecological footprint; sustainable development; Nantong City

收稿日期: 2013-02-04

修回日期: 2013-07-15

资助项目: 国家自然科学基金青年项目“基于利益相关者的土地利用规划与城市规划冲突治理研究”(71103090); 教育部哲学社会科学重大项目“我国建设用地总量控制与差别化管理政策研究”(11JZD031)

作者简介: 盛业旭(1986—), 男(汉族), 山东省淄博市人, 博士研究生, 研究方向为土地利用规划与管理。E-mail: shengyexu@126.com。

通信作者: 刘琼(1980—), 女(汉族), 湖南省隆回市人, 博士, 讲师, 主要从事土地利用规划、土地资源可持续利用研究。E-mail: liuqiong@njau.edu.cn。

区域可持续发展作为一种崭新的发展模式,是可持续发展思想在特定区域的具体体现,代表了区域发展的高级阶段^[1]。区域可持续发展的基础是自然环境的永续再生和自然资源的持续利用^[2]。然而,随着经济社会的快速发展,资源耗竭和环境破坏等引发的区域发展可持续性下降的问题日益突显,因此定量测度区域发展可持续性,促进区域经济社会的持续和健康发展成为亟需解决的问题。2005 年赵晟等^[3]利用能值分析理论^[4]对生态足迹方法^[5-6]进行改进后所提出的能值—生态足迹模型便是其中的一种定量测度方法。随后陈斌等^[7],张芳怡等^[8]应用该模型对不同尺度和不同类型区域的可持续发展水平进行了测度,并将结果与传统的生态足迹分析方法进行比较,验证了这一方法的合理性。同时,一些研究对能值—生态足迹模型进行了改进,如 Raúl Siche^[9], Lucas Pereira 等^[10]将净初级生产力引入到自然生态承载力的计算中,并在测算生态足迹时考虑到了人类活动的影响;张雪花等^[11]将人类活动的影响延伸到了生态承载力的计算中,构建了基于开放系统的能值—生态足迹模型;王国刚等^[12],赵晟等^[13]分别从不同尺度对能值密度的选择进行了调整。这些改进无疑提高了模型的合理性和可靠性,但却比较零散,有必要在现有研究的基础上对能值—生态足迹模型进行全面审视并做进一步改进。

本文在全面分析能值—生态足迹模型缺陷的基础上,通过增加人工投入指标,统一能值密度以及引入折能/折标系数对其进行了修正,并以江苏省南通市为例,对其 1996—2010 年的可持续发展状况进行分析,以期对区域可持续发展评价提供参考和借鉴。

1 能值—生态足迹模型

1.1 能值—生态足迹模型的计算方法

能值—生态足迹模型是将能值分析方法与生态足迹理论相结合,首先把各种不同类型和等级的能量流通过能值转换率,换算成可以直接进行加减的太阳能值,然后引入能值密度,将各消费项目的太阳能值换算成相对应的生物生产性土地面积,从而计算出研究区域的生态足迹和承载力,再进行生态盈亏分析,由此确定区域的可持续发展状况,具体方法为:

$$\begin{cases} E_f = \sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n c_i / p_1 \\ E_c = e / p_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中: E_f ——生态足迹 (hm^2); E_c ——生态承载力 (hm^2); i ——消费项目类型,分为生物消费品和能源消费品两类; a_i ——第 i 种消费项目折算的生物生产

性土地面积 (hm^2); c_i ——第 i 种消费品的能值 (sej); e ——可更新自然资源的能值 (sej); P_1 ——区域能值密度 (sej/hm^2); P_2 ——全球平均能值密度 (sej/hm^2)。

1.2 能值—生态足迹模型的主要缺陷

尽管能值—生态足迹模型可以弥补传统生态足迹计算分析方法的部分缺陷,更全面的测度区域资源的损耗程度^[7-8],但仍存在以下问题需要讨论和完善:

(1) 未充分考虑人工投入在区域生态承载力中的作用。在能值—生态足迹模型中,生态承载力主要用可更新自然资源来表示,但可更新自然资源却无法体现物质、劳动、资金等人类活动对生态系统的投入^[11]。而依据系统间物质能量流动的“最大功率原则”,物质、劳动、资金等人工投入是生态系统提高生态承载力、保持自身活力而不被竞争者淘汰的必要条件^[14]。因此,弱化人工投入的作用会导致生态承载力被低估,降低对区域资源环境利用可持续性的预期,进而影响对区域可持续发展水平的判断。

(2) 能值密度不统一,计算结果难以反映区域实际情况及不同年份间差异。生态赤字/盈余是评价区域可持续发展与否的重要指标。但在能值—生态足迹模型中生态足迹的测算采用了 P_1 区域能值密度,生态承载力的测算采用了 P_2 全球平均能值密度,二者标准不一致。这样二者对比得到的生态赤字/盈余,体现的是某区域生态足迹在全球平均生态承载力水平背景下所处的位置,而非某区域可持续发展的真实状况^[12-13];另外,模型中所用的全球平均能值密度是依据奥德姆 2000 年的研究得出的^[15],这一固定数值的沿用难免会使研究结果具有一定的滞后性,无法体现不同年份间的差异。

(3) 消费项目能值测算不够准确。能值—生态足迹模型开始于能量流,即各系统间能量的流动和转化,这是能值测算和分析的基础^[4]。依据能量转化过程中遵循的热力学第一定律的要求,能值—生态足迹模型中各类消费品所含能量应采用焦耳的能量单位进行计算,应当以标准燃烧值来确定^[16]。然而,现有研究多是直接用各类消费品的质量代替其能量来进行消费项目能值的测算^[11,17],这从能量转化和流动的角度看是不合适的,可能会影响评价结果的准确性。

2 能值—生态足迹修正模型

根据以上分析,本文拟从以下几方面对能值—生态足迹模型进行修正:(1) 生态承载力计算中引入人工投入指标,将生态承载力划分为自然生态承载力

和人工生态承载力,并按照投入物品性质的不同将后者划分为实体和虚拟人工生态承载力两部分;(2) 统一使用区域能值密度 P_1 计算生态足迹和生态承载力;(3) 引入折能/折标系数,用各类产品及消费品所含热能代替其质量计算能值。具体计算方法如下:

(1) 自然生态承载力。

$$NE_c = \sum_{i=1}^n e/p_1 \quad (2)$$

式中: NE_c ——区域自然生态承载力(hm^2); e ——区域内可更新自然资源的能值(sej),包括太阳辐射能、风能、雨水化学能、雨水势能、地热能、潮汐能等可更新资源; P_1 ——区域能值密度(sej/hm^2)。为避免重复,同一性质的可更新自然资源资源只取其最大值。

(2) 人工生态承载力。人工生态承载力包括实体人工生态承载力和虚拟人工生态承载力。

$$AE_c = \sum_{i=1}^n [(y_i \times z \times T)/p_1] \quad (3)$$

式中: AE_c ——实体人工生态承载力(hm^2); i ——实体产品类型,包括农产品(粮食、蔬菜、棉花、油料、糖类、蚕茧、水果)、畜产品(肉类、禽蛋、奶类)、水产品和水电4个部分; y_i ——第*i*种实体产品的总产量(t); z ——折能/折标系数; T ——太阳能值转换率; P_1 ——区域能值密度(sej/hm^2)。

$$AE_c' = \sum_{i=1}^n [(y_i' \times Z)/p_1] \quad (4)$$

式中: AE_c' ——虚拟人工生态承载力(hm^2); i ——虚拟产品类型,包括劳务和资金两类,分别用分行业人员工资额和区域固定资产投资额来表示; y_i' ——第*i*种虚拟产品总量(万元); Z ——能值/货币比率($sej/万元$),依据蓝盛芳等^[16]和陈国谦等^[18]的研究,能值/货币比率用区域可更新自然资源的能值总量与区域国内生产总值的比值来表示; P_1 ——区域能值密度(sej/hm^2)。

(3) 生态足迹。

$$E_f = \sum_{i=1}^n (a_i \times z \times T)/p_1 \quad (5)$$

式中: E_f ——生态足迹(hm^2); i ——生物产品类型,包括生物产品消费总量和能源产品消费总量,其中生物消费品包括农产品(粮食、蔬菜、棉花、油料、糖类、烟草、水果)、畜产品(肉类、禽蛋、奶类)、水产品;能源消费品包括煤(原煤、精洗煤、焦炭)、石油(汽油、柴油、煤油、燃料油)、气(液化石油气、液化天然气); a_i ——第*i*种生物产品的消费总量(t); z ——折能/折标系数; T ——太阳能值转换率; P_1 ——区域能值密度(sej/hm^2)。

(4) 生态盈亏及可持续性分析。将生态承载力和生态足迹的计算结果汇总,可以对区域生态盈亏以

及发展可持续性^[19]进行分析:

$$BC = E_c - E_f = (NE_c + AE_c + AE_c') - E_f \quad (6)$$

$$SEI = E_f / (E_c + E_f) = E_f / (NE_c + AE_c + AE_c' + E_f) \quad (7)$$

式中: BC ——生态盈亏状况(hm^2),用生态盈余或生态赤字来描述,生态盈余说明区域发展具有可持续性,生态赤字则说明区域环境资源负担过重,发展模式应该进行调整; SEI ——可持续性评价指数,取值大小与区域发展的可持续性成反比; E_c ——生态承载力(hm^2); E_f ——生态足迹(hm^2); NE_c ——区域自然生态承载力(hm^2); AE_c ——实体人工生态承载力(hm^2); AE_c' ——虚拟人工生态承载力(hm^2)。

3 实证研究

本文以南通市为例,运用能值—生态足迹修正模型对其1996—2010年的可持续发展状况进行研究。为方便统计和观察,文章结合南通市历年总人口数,从人均生态承载力和人均生态足迹的角度进行比较和分析。

3.1 研究区域

南通地处长江中下游平原,长江口北翼,东濒黄海、南倚长江,与上海、苏州市隔江相望,西和泰州市接壤,北同盐城市接壤,地理坐标为 $120^{\circ}12'—121^{\circ}55'E$, $31^{\circ}41'—32^{\circ}43'N$ 。近年来,随着苏通长江大桥、通沪铁路、沿江高等级公路等基础设施项目相继建成,地处沿海经济带和长江经济带T型结构的交汇点的南通市区位条件迅速优化,区域间产业转移加速,经济社会实现了跨越式发展。

1996—2010年,南通市地区生产总值从524.87亿元增长到3465.67亿元,按可比价计算年均增长率达17.33%。由此可见,对南通市这一经济社会快速发展的区域而言,定量测度其区域可持续发展状况可以对经济社会发展战略制定、产业政策调整等提供借鉴。

3.2 数据来源

研究数据包括:(1) 自然地理数据,包括南通市的土地总面积、海拔、海岸线长度、年降水量、日照时间以及风速等;(2) 经济社会统计数据,包括1996—2010年南通市能源消耗总量及构成、居民生活生产年消费总量及构成、主要农产品产量及构成、人口总量、分行业人员工资额总量以及固定资产投资额等;(3) 标准转换数据,主要包括各类物质的折能/折标系数、太阳能值转换率、区域能值密度等。自然地理、经济社会统计数据来源于1997—2011年南通统计年鉴和江苏统计年鉴,标准转换数据中的折能/折标系

数和太阳能值转换率来源于蓝盛芳等^[16,20]的研究;区域能值密度依据赵晟^[3]的研究进行测算,结果如表 1 所示。

3.3 结果测算

按照能值生态足迹修正模型的要求,对 1996—2010 年南通市的各类人均生态承载力、人均生态足迹进行计算,结果如表 2—4 所示。其中,生物类消费品的人均生态足迹按城镇居民和农村居民的消费统计分别进行计算。

表 1 1996—2010 年南通市区域能值密度 sej/hm^2

年份	区域能值密度	年份	区域能值密度
1996	1.09E+16	2004	1.13E+16
1997	1.10E+16	2005	9.58E+15
1998	1.23E+16	2006	1.28E+16
1999	1.28E+16	2007	1.11E+16
2000	1.22E+16	2008	1.13E+16
2001	1.31E+16	2009	1.21E+16
2002	1.26E+16	2010	1.08E+16
2003	1.03E+16		

表 2 1996—2010 年南通市各类人均自然生态承载力

hm^2

年份	雨水势能	雨水化学能	太阳辐射能	风能	潮汐能	地热能
1996	5.64E-07	7.10E-02	6.12E-04	4.03E-05	2.99E-02	9.83E-04
1997	5.64E-07	7.11E-02	5.63E-04	4.26E-05	2.97E-02	9.77E-04
1998	5.91E-07	7.44E-02	5.75E-04	3.87E-05	2.63E-02	8.65E-04
1999	5.99E-07	7.55E-02	5.09E-04	4.14E-05	2.54E-02	8.37E-04
2000	5.91E-07	7.44E-02	6.10E-04	3.54E-05	2.67E-02	8.79E-04
2001	6.07E-07	7.65E-02	5.76E-04	3.67E-05	2.49E-02	8.20E-04
2002	6.00E-07	7.56E-02	5.75E-04	3.45E-05	2.61E-02	8.58E-04
2003	5.54E-07	6.98E-02	6.73E-04	4.24E-05	3.20E-02	1.05E-03
2004	5.81E-07	7.32E-02	7.26E-04	3.47E-05	2.92E-02	9.62E-04
2005	5.40E-07	6.80E-02	8.36E-04	5.10E-05	3.46E-02	1.14E-03
2006	6.12E-07	7.71E-02	5.42E-04	1.67E-05	2.59E-02	8.54E-04
2007	5.83E-07	7.35E-02	6.38E-04	6.10E-06	2.99E-02	9.86E-04
2008	5.23E-07	6.60E-02	1.01E-03	5.26E-05	2.92E-02	9.77E-04
2009	5.11E-07	6.44E-02	1.09E-03	5.53E-05	3.13E-02	9.77E-04
2010	4.99E-07	6.28E-02	1.18E-03	5.82E-05	3.13E-02	1.46E-03

表 3 1996—2010 年南通市各类人均人工生态承载力

hm^2

年份	实体人工生态承载力				虚拟人工生态承载力	
	农产品	畜产品	水产品	水电	劳务	资金
1996	1.84E-01	2.32E-01	1.32E-02	2.30E-02	1.00E-02	1.33E-02
1997	1.69E-01	1.97E-01	1.34E-02	2.49E-02	9.67E-03	3.97E-02
1998	1.23E-01	1.81E-01	1.18E-02	2.14E-02	8.61E-03	4.24E-02
1999	1.56E-01	1.85E-01	1.21E-02	2.16E-02	8.54E-03	3.29E-02
2000	1.89E-01	2.08E-01	1.28E-02	2.93E-02	8.78E-03	3.39E-02
2001	1.70E-01	2.01E-01	1.23E-02	3.12E-02	8.07E-03	3.34E-02
2002	1.73E-01	2.20E-01	1.32E-02	3.51E-02	7.65E-03	3.67E-02
2003	2.38E-01	2.76E-01	1.66E-02	4.62E-02	7.27E-03	4.71E-02
2004	2.28E-01	2.70E-01	1.60E-02	4.75E-02	7.38E-03	5.23E-02
2005	2.56E-01	3.31E-01	1.97E-02	6.33E-02	7.13E-03	5.75E-02
2006	1.87E-01	2.94E-01	1.54E-02	4.96E-02	7.22E-03	6.20E-02
2007	2.07E-01	3.27E-01	1.86E-02	5.41E-02	7.59E-03	6.26E-02
2008	2.69E-01	3.28E-01	1.82E-02	7.51E-02	6.00E-03	5.30E-02
2009	2.82E-01	3.44E-01	1.88E-02	8.36E-02	5.69E-03	5.45E-02
2010	2.95E-01	3.59E-01	1.93E-02	9.31E-02	5.41E-03	5.60E-02

表 4 1996—2010 年南通市各类人均生态足迹 hm²

年份	生物消费品			能源消费品		
	农产品	畜产品	水产品	煤	石油	燃气
1996	3.82E-01	2.17E-01	7.38E-03	3.64E-02	3.12E-03	6.03E-05
1997	3.85E-01	2.23E-01	7.55E-03	4.15E-02	3.18E-03	1.07E-04
1998	3.57E-01	2.02E-01	7.10E-03	4.14E-02	2.90E-03	1.36E-04
1999	3.60E-01	1.99E-01	6.75E-03	4.14E-02	2.81E-03	1.72E-04
2000	3.80E-01	2.25E-01	6.62E-03	4.82E-02	3.04E-03	2.23E-04
2001	3.42E-01	2.09E-01	6.63E-03	5.64E-02	2.99E-03	2.87E-04
2002	3.67E-01	2.21E-01	7.29E-03	6.29E-02	3.35E-03	8.11E-04
2003	4.76E-01	3.32E-01	9.03E-03	8.60E-02	1.32E-02	8.97E-04
2004	4.75E-01	2.84E-01	8.41E-03	8.33E-02	1.01E-02	1.02E-03
2005	4.63E-01	3.72E-01	1.05E-02	1.24E-01	7.17E-03	1.56E-03
2006	3.61E-01	2.65E-01	7.99E-03	9.97E-02	5.38E-03	9.70E-04
2007	3.94E-01	3.06E-01	9.50E-03	1.21E-01	7.38E-03	1.14E-03
2008	3.91E-01	3.26E-01	8.32E-03	1.45E-01	1.50E-02	3.70E-03
2009	3.77E-01	2.79E-01	8.50E-03	1.63E-01	1.74E-02	4.89E-03
2010	3.62E-01	3.17E-01	8.69E-03	1.83E-01	2.03E-02	6.47E-03

3.4 结果分析

根据以上计算结果,可以得到南通市人均生态承载力、人均生态足迹(图 1)。遵照世界环境与发展委员会(WCED)的建议,在人均生态承载力中扣除 12%的生物生产性土地面积来保护生物多样性。根据人均生态承载力和人均生态足迹可以计算生态盈亏及可持续发展指数。

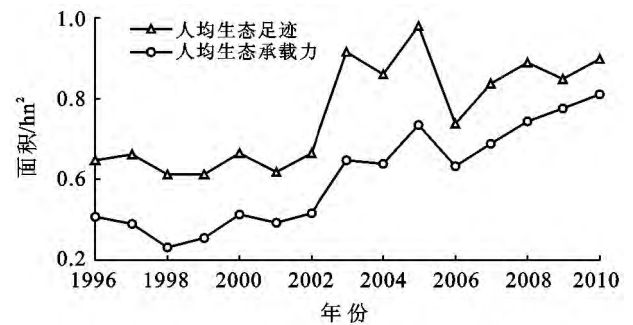


图 1 1996—2010 年南通市人均生态足迹
与人均生态承载力的变化趋势

(1) 人均生态足迹与人均生态承载力的变化分析。从图 1 可以看出:1996—2010 年,南通市人均生态足迹、人均生态承载力总体呈上升趋势,且前者一直高于后者。主要是由于生态足迹总能值、生态承载力总能值一直呈缓步上升趋势(图 2),且同期总人口逐年下降导致的(图 3)。2002—2006 年,南通市人均生态足迹、生态承载力均呈显著的“M”形波动。同期区域生态足迹和生态承载力总能值变化相对平稳,总人口呈稳步下降的趋势,说明人均生态足迹、生态承载力的“M”形波动是由于同期区域能值密度的“W”形波动

导致的(图 3)。1996—2010 年南通市生态足迹总能值一直高于生态承载力总能值,说明区域能值密度的年际变化虽然会导致人均生态足迹和人均生态承载力的数值波动,但并未改变二者对比关系。

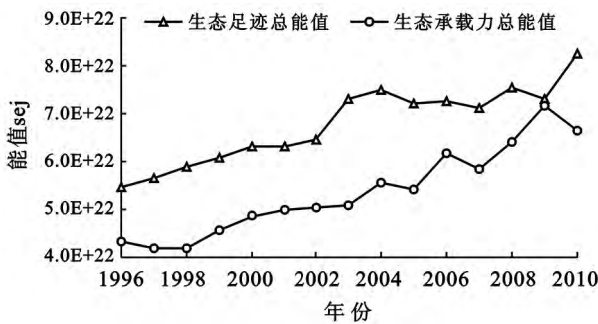


图 2 1996—2010 年南通市生态足迹
与生态承载力总能值的变化趋势

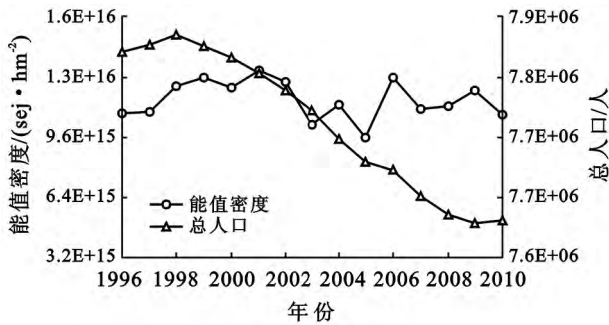


图 3 1996—2010 年南通市总人口与区域能值密度的变化趋势

(2) 人均生态足迹与人均生态承载力的结构变化分析。从人均生态足迹的构成来看(图 4):农、畜产品消费的生态足迹一直占较大比重,但无明显上升

趋势;煤炭、石油消费的生态足迹上升势头较为明显,特别是煤炭消费所代表的生态足迹呈直线上升趋势;水产品及燃气消费的生态足迹比重较小且保持稳定。说明不断增长的能源消耗是人均生态足迹总体走高的直接原因。这主要是由于近年来重工业的快速增

长导致的,1996—2010 年南通市第二产业 GDP 比重从 48.36% 增长到 55.27%,而化工、钢铁、有色金属、机电、船舶为代表的重工业产值从 33.54% 增长到 61.35%。可见,以高耗能工业增长为主的经济增长方式是导致南通人均生态足迹升高的根本原因。

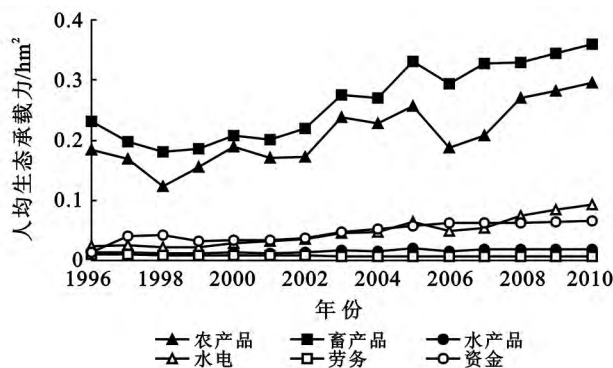
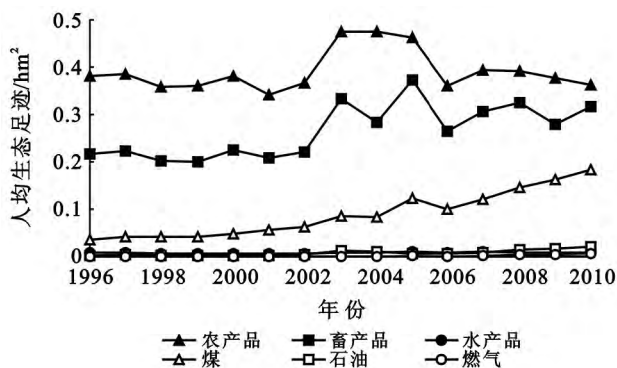


图 4 1996—2010 年南通市人均生态足迹与人均生态承载力的结构及其变化趋势

从人均生态承载力的构成来看(图 4):农、畜产品生产一直占较大比重且在后期快速上升;水电所占比重较小但有明显上升,尤其是 2007 年后增速明显加快;自然可更新资源、水产品生产的比重保持稳定;而虚拟产品(劳务、资金)的比重保持平缓上升态势但在后期略有下降;可见,人均生态承载力的增长是由农、畜产品产量提高和水电开发力度加大支撑的。这主要得益于近年来南通市对农业生产及新能源发展的大力扶持。特别是 2006 年《南通市农业综合开发“十一五”规划》、2007 年《南通市农业机械化发展“十一五”规划》发布后,南通农业机械化、标准化水平不断提高;2006 年《南通市能源节约与新能源发展“十一五”规划》的获批立项更是为水电等新能源的开发提供了良好契机。

(3) 生态盈亏及可持续发展水平分析。依据以上结果,对南通市生态盈亏及可持续发展状况进行分析:①1996—2010 年南通市基本处于生态赤字状态,大约在 $0.1 \sim 0.3 \text{ hm}^2$ 内波动,可持续性评价指数也大于 0.5。②2007—2010 年南通市生态赤字下降显著,基本维持在 0.2 hm^2 以上,可持续性评价指数也相应向 0.5 靠拢。这表明:1996—2010 年 15 a 间南通市社会经济发展已超出其环境资源的承载范围,总体处于不可持续发展状态,但 2007 年以后逐渐向可持续发展状态靠拢。

4 结论

(1) 1996—2010 年间南通市人均生态足迹由 0.65 hm^2 增长到 0.90 hm^2 ,主要是由能源消费量的

增加导致的。

(2) 同期南通市人均生态承载力由 0.51 hm^2 增长到 0.81 hm^2 ,这主要是由农、畜产品产量提高和水电开发力度加大支撑的,而通过劳务、资金投入提高承载力的空间很大。

(3) 1996—2010 年南通市一直处于生态赤字状态,可持续性评价指数也都在 0.5 以上,区域发展处于不可持续状态,但 2007 年后有向可持续发展状态转变的趋势。为进一步缩小生态承载力与生态足迹之间的差距,实现区域可持续发展,应采取以下措施:① 引导重点行业和企业节能降耗,大力发展新能源;② 加大农业科技投入,继续提高农产品产量;③ 重视人力资源的投入,促使经济发展方式向技术密集型、资本密集型转变。

修正后的能值—生态足迹模型因在生态承载力的测算中增加了人工投入指标,使生态承载力账户同时覆盖自然与人类社会两个层面,比修正前模型的账户覆盖面更广。其研究结果与修正前模型相比^[13],生态赤字明显偏小且不再呈现出不断上升的趋势,可以更好地反映出区域资源环境利用的真实状况,更具有现实指导意义。但是由于低于国家层面区域尺度的经贸往来具有复杂性,无法对所有贸易类型及数量进行详细统计,修正后的模型未考虑区域间贸易对区域可持续发展的影响,这难免会对研究结果的准确性产生影响。另外,修正后的能值—生态足迹模型在生态足迹和生态承载力的测算中统一采用了区域能值密度,虽然解决了区内生态足迹和生态承载力可比性的问题,但无法开展区域间比较。

[参 考 文 献]

- [1] 周国华. 区域规划教程[M]. 北京:科学出版社,2011:52-53.
- [2] 冯年华. 区域可持续发展创新:理论与实证分析[M]. 北京:工商出版社,2004:100-101.
- [3] Zhao Sheng, Li Zizhen, Li Wenlong. A modified method of ecological footprint calculation and its application[J]. Ecological Modeling, 2005,185(1):65-75.
- [4] Odum H T. Self-organization, transformity, and information[J]. Science, 1988,242(25):1132-1139.
- [5] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992,4(2):121-130.
- [6] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999,29(3):375-39.
- [7] Chen Bin, Chen Guoqian. Ecological footprint accounting based on emergy: A case study of the Chinese society[J]. Ecological Modeling, 2006,198(1/2):101-114.
- [8] 张芳怡,濮励杰,张健. 基于能值分析理论的生态足迹模型及其应用:以江苏省为例[J]. 自然资源学报,2006,21(4):653-659.
- [9] Siche R, Agostinho F, Ortega E. Emergy net primary production(ENPP) as basis for calculation of ecological footprint[J]. Ecological Indicators, 2010,10(2):475-483.
- [10] Pereira L, Ortega E. A modified footprint method: The case study of Brazil[J]. Ecological Indicators, 2012,16:113-127.
- [11] 张雪花,李建,张宏伟. 基于能值生态足迹整合模型的城市生态型评价方法研究[J]. 北京大学学报:自然科学版,2011,47(2):344-352.
- [12] 王国刚,杨德刚,张新焕,等. 基于能值理论的生态足迹改进模型及其应用[J]. 中国科学院研究生院报,2012,29(3):352-358.
- [13] Zhao Sheng, Song Ke, Gui Feng, et al. The emergy ecological footprint for small fish farm in China[J]. Ecological Indicators, 2013,29:62-67.
- [14] 赵桂慎. 生态经济学[M]. 北京:化学工业出版社,2009:93-94.
- [15] Odum H T, Brown M T, Williams S B. Handbook of Emergy Evaluations Folios[M]. Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.
- [16] 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,2002:5-77.
- [17] 赵志强,李双成,高阳. 基于能值改进的开放系统生态足迹模型及其应用:以深圳市为例[J]. 生态学报,2008,28(5):2220-2230.
- [18] Chen Guoqian, Chen Bin. Extended-exergy analysis of the Chinese society[J]. Energy, 2009,34(9):1127-1144.
- [19] 金丹,卞正富. 基于能值的生态足迹模型及其在资源型城市的应用[J]. 生态学报,2010,30(7):1725-1733.
- [20] 严茂超,李海涛,程鸿,等. 中国农林牧渔业主要产品的能值分析与评估[J]. 北京林业大学学报,2001,23(6):66-69.

(上接第210页)

[参 考 文 献]

- [1] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等. 长期施氮、磷、钾化肥对玉米产量及土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5):789-794.
- [2] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water-stable aggregates[J]. Journal of Soil Science, 1982,33(2):141-163.
- [3] 高静,马常宝,徐明岗,等. 我国东北黑土区耕地施肥和玉米产量的变化特征[J]. 中国土壤与肥料,2009(6):28-31.
- [4] 徐阳春,沈其荣. 有机肥和化肥长期配合施用对土壤及不同粒级供氮特征的影响[J]. 土壤学报,2004,41(1):87-92.
- [5] 尹云锋,蔡祖聪. 不同施肥措施对潮土有机碳平衡及固碳潜力的影响[J]. 土壤,2006,38(6):745-749.
- [6] 黄健,张惠琳,傅文玉,等. 东北黑土区土壤肥力变化特征的分析[J]. 土壤通报,2005,36(5):659-663.
- [7] 崔明,蔡强国,范昊明. 典型黑土区小流域秸秆直接还田技术在土壤改良中的应用[J]. 中国水土保持科学,2006,4(5):56-59.
- [8] 王旭东,陈鲜妮,王彩霞,等. 农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果[J]. 农业工程学报,2009,25(10):252-257.
- [9] 许仁良,王建峰,张国良,等. 秸秆、有机肥及氮肥配合使用对水稻土微生物和有机质含量的影响[J]. 生态学报,2010,30(13):3584-3590.
- [10] 邱学礼,高福宏,方波,等. 不同土壤改良措施对植烟土壤理化性状的影响[J]. 西南农业学报,2011,24(6):2270-2273.