

基于生态足迹的浙江省生态安全动态研究

张晶¹, 刘耀林¹, 陈新明²

(1. 武汉大学 资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079; 2. 浙江省土地整理中心, 浙江 杭州 310007)

摘要: 应用生态足迹的方法, 从时间序列来研究区域的可持续发展, 引入生态压力指数、生态占用指数和生态经济协调指数模型, 构建了新的生态安全评价指标体系。以浙江省为例, 通过计算人均生态足迹和生态承载力的变化率和剪刀差, 对浙江省 2000—2006 年的生态足迹和生态安全指标体系进行了定量研究。结果表明, 浙江省 2000—2006 年的人均生态足迹与生态承载力呈反向发展趋势, 人均生态赤字持续增加; 生态压力指数从 2000 年的 2.34 增至 2006 年的 3.22, 同期的生态占用指数从 0.67 增至 0.90, 生态经济协调指数由 0.286 降低为 0.277。说明浙江省现有的可持续发展模式面临严重考验, 生态安全的发展趋势不容乐观, 社会经济发展与生态环境的承受能力不相协调。

关键词: 生态足迹; 生态安全; 变化率; 剪刀差; 生态压力指数; 浙江省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)04-0185-06

中图分类号: F062.2, X22

Dynamics of Ecological Security Based on Ecological Footprint in Zhejiang Province

ZHANG Jing¹, LIU Yao-lin¹, CHEN Xin-ming²

(1. School of Resources and Environment Science, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430079, China;

2. Land Consolidation Center of Zhejiang Province, Hangzhou, Zhejiang 310007, China)

Abstract: The authors apply ecological footprint method to evaluate the sustainable development and ecological security of Zhejiang Province by the time series. The paper constructs the new evaluation index system of ecological security and introduces the model of ecological tension index, ecological occupancy index, and ecological economic coordination index. Taking Zhejiang Province as a case study area, the paper introduces the concepts of change rates and the scissors difference to quantitatively analyze the trends of ecological footprint and index system of ecological security in the province from 2000 to 2006. Results show that the per capita ecological footprint of Zhejiang Province increased reversely with ecological carrying capacity and the per capita ecological deficit increased steadily. Ecological tension index increased from 2.34 in 2000 to 3.22 in 2006. In the same period, ecological occupancy index increased from 0.67 to 0.90 and ecological economic coordination index declined from 0.286 to 0.277. The sustainable development model of Zhejiang Province is not optimistic, its ecological environment is at risk, and its social economic development does not go well with ecological environment.

Keywords: ecological footprint; ecological security; change rate; scissors difference; ecological tension index; Zhejiang Province

随着人类社会的发展, 环境污染, 森林植被退化, 水土流失, 土地荒漠化, 酸雨以及生物多样性减少等不断加剧, 对人类现在和未来的社会经济发展构成威胁^[1], 而且影响人类社会的进步, 迫使人们开始关注生态安全问题。生态安全是指一个国家或人类社会

生存和发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态。生态安全与人类未来生存安全密切相关, 它已与军事安全、经济安全、政治安全等同等重要^[2]。它围绕人类社会可持续发展的目的, 促进经济、社会和生态三者之间和谐统一^[3]。区域生态安全

收稿日期: 2007-11-14

修回日期: 2007-12-05

资助项目: “863”项目“面向土地利用的时空多尺度数据挖掘研究”(2007AA2Z225); “十一五”支持计划项目“区域利用耦合与规划关键技术”(2006BAB15804)

作者简介: 张晶(1980—), 女(汉族), 山西省长治市人, 博士, 主要从事土地资源管理研究。E-mail: zj1016@163.com。

通信作者: 刘耀林(1960—), 男(汉族), 湖北省黄冈市人, 教授, 长江学者主要从事土地资源管理、地理信息系统等方面的研究。E-mail: yaolin610@163.com。

是区域可持续发展的前提和基础。生态安全是构建和谐社会的保障,是实现科学发展的重要保障,是国家安全和稳定的一个重要组成部分。因此,生态安全问题已成为近年来研究的热点^[4-7]。

就目前国内外生态安全的评价方法来看,还没有一套广泛应用于判断生态安全与否的严格标准^[1-6]。现有的生态安全的评价方法主要有综合指数法、景观生态学的方法、生态系统安全的综合评价法和生态安全承载力的评价方法等 4 种^[4]。这些方法牵涉的环境与生物方面的指标因素众多,具体操作比较困难。因此,在较大范围和较大程度上采用一种便于理解、便于计算的方法,就成为可行的、必要的方法。为此,本文应用目前比较流行的生态足迹方法从目前人类对自然资源的开发利用和释放废物的速度是否超过了自然的再生能力和自净能力的角度来研究区域的发展是否处于可持续的状态^[8-10]。

近些年来,生态足迹相关应用不再局限于不同尺度区域单时相静态研究,时间序列研究在国内外得到一定发展,重点探讨区域可持续发展状态演变与生态足迹随时间变化的对应耦合关系。Dongxia Yue 等人采用的分析生态足迹与生态承载力变化趋势差异的定量方法增强了生态足迹时间序列研究的应用性^[13-17]。

本文以生态足迹的原理为基础,利用生态压力指数、生态占用指数和生态经济协调指数对浙江省生态安全进行初步研究,试图实现通过区域生态安全在承载力与压力方面的现状分析来反映区域生态安全的程度。

1 研究区概述

浙江省地处中国东南沿海长江三角洲南翼,东临东海,南接福建,西与江西、安徽相连,北与上海、江苏接壤。境内最大的河流钱塘江,因江流曲折,称之江,又称浙江,省会杭州市。浙江省东西和南北的直线距离均为 451 km 左右,陆域面积 $1.016 \times 10^5 \text{ km}^2$,为全国的 1.06%,是中国面积最小的省份之一。浙江地形复杂,山地和丘陵占 70.4%,平原和盆地占 23.%,河流和湖泊占 6.4%,耕地仅有 $2.08 \times 10^6 \text{ hm}^2$,故有“七山一水两分田”之说。地势由西南向东北倾斜。浙江省属典型的亚热带季风气候区,平均气温 $15 \sim 18$,极端最高气温 $33 \sim 43$,极端最低气温 $-2.2 \sim -17.4$;全省年平均雨量 $980 \sim 2000 \text{ mm}$,年平均日照时数 $1710 \sim 2100 \text{ h}$ 。2006 年全省总人口 4 629.43 万人,其中农业人口 3 317.26 万人,非农业人口 1 312.17 万人。

2 研究方法

2.1 生态足迹和生态承载力模型

生态足迹方法主要通过对研究区域生态足迹、生态承载力、生态赤字的测算,来测评区域可持续发展状况。任何已知人口的国家或地区的生态足迹表述为生产这些人口所消费的所有资源和吸纳这些人口所产生的所有废物所需要的生物生产面积^[8-10]。生物生产面积分为耕地、草地、林地、水域、建筑用地和化石燃料用地 6 大类。生态承载力是指一个区域实际提供给人类的所有生物生产土地面积(包括水域)的总和^[11-13]。如果区域的生态足迹超过了区域所能提供的生态承载力,就出现生态赤字;如果小于区域的生态承载力,则表现为生态盈余^[14-15]。

(1) 生态足迹法的计算模型

$$E_f = N \times e_f = N \sum_{i=1}^n a_i = N \sum_{i=1}^n (c_i / p_i) \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

(2) 生态承载力计算模型

$$E_c = N \sum_{j=1}^6 e_c = N \sum_{j=1}^6 (a_{jj} \times r_j \times y_j) \quad (j=1, 2, 3, \dots, 6) \quad (2)$$

(3) 生态赤字模型

$$E_D = E_f - E_c = N(e_f - e_c) \quad (3)$$

(1) —(3) 式中: E_f ——区域生态足迹; E_c ——区域生态承载力; E_D ——生态赤字; e_f ——人均生态足迹; e_c ——人均生态承载力; N ——人口数; a_i —— i 种物质人均占用的生物生产面积; r_j ——均衡因子; c_i —— i 种物质的人均消费量; p_i —— i 种物质的世界平均生产能力; i ——消费的物质种类; j ——生物生产面积类型; a_j ——人均实际占有的生物生产面积; r_j ——均衡因子; y_j ——产量因子。

目前采用的均衡因子分别为:林地和化石能源用地为 1.14,耕地和建筑用地为 2.82,草地为 0.54,水域为 0.22。“产量因子”是一个将其转化为可比面积的参数,某个国家或地区某类土地的产量因子是其平均生产力与世界同类土地的平均生产力的比率^[18-19]。本研究的耕地和果园地的产量因子分别为浙江省每年粮食、水果平均产量与全球平均产量的比值^[18]。建筑用地大都来自产出率高的耕地,因而采用产量因子与耕地相同。其余土地类型的产出因子按参考文献中对中国生态足迹的计算取值,草地为 0.19,林地为 0.91,水域为 1^[16-17]。

2.2 生态足迹和生态承载力变化分析

2.2.1 变化率分析 生态足迹模型主要反映区域某一时刻的生态状况。然而,人们消费水平、消费模式、

生产能力以及人口与经济增长是一个连续渐变过程,因此生态足迹与生态承载力也随诸因素的变化而变化。这种变化宏观地反映在土地利用变化以及人类日渐累积的生产对生态环境的破坏上;就消费与人口、经济增长的关系,生态足迹事实上是一个时间变量^[15]。基于以往时间序列数据,多项式回归曲线能够模拟数据变化趋势,变化率可反映生态足迹与生态承载力随时间变化趋势及速度。

本研究通过多项式回归模型式(4) —(5)拟合生态足迹与生态承载力变化趋势,式中: y_{ef} , y_{lc} 分别表示因变量生态足迹与生态承载力, t 为自变量(时间)。

$$y_{ef} = y_{ef}(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n \quad (4)$$

$$y_{lc} = y_{lc}(t) = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_n t^n \quad (5)$$

某时刻 t 生态足迹与生态承载力的变化率,通过生态足迹及生态承载力变化曲线在 t 时刻的切线斜率,即 t 时刻 y_{ef} , y_{lc} 相应自变量 t 的偏微分值 $y'_{ef}(t)$, $y'_{lc}(t)$ 表示。在给定时刻 t_0 ($t = t_0$),如果 $y'_{ef}(t_0) > 0$,表明生态足迹随时间推移而增加;如果 $y'_{ef}(t_0) < 0$,则表明生态足迹随时间推移而减小;而当 $y'_{ef}(t_0) = 0$ 时,则表示生态足迹大小不变。 $y'_{ef}(t_0)$ 绝对值大小表明生态足迹变化速度,绝对值越大,生态足迹增大(或减小)的速度越快。以上规则同样适用于生态承载力变化分析。

2.2.2 剪刀差分析 剪刀差一般反映工农业产品价格差距日益扩大的趋势。本研究采用剪刀差来反映某时刻 t_0 ($t = t_0$) 生态足迹与生态承载力发展趋势差异,通过 $y_{ef} = y_{ef}(t)$ 与 $y_{lc} = y_{lc}(t)$ 曲线在给定时刻 t_0 ($t = t_0$) 的两切线夹角 θ 表示,采用式(6)计算获得。

$$\theta = \arccos \frac{1 + y'_{ef}(t_0) y'_{lc}(t_0)}{\sqrt{1 + [y'_{ef}(t_0)]^2} \sqrt{1 + [y'_{lc}(t_0)]^2}} \quad (6)$$

式中: θ ——生态足迹与生态承载力变化趋势剪刀差; $y'_{ef}(t_0)$, $y'_{lc}(t_0)$ —— t_0 时刻生态足迹与生态承载力变化率。越大,在 t_0 时刻生态足迹与生态承载力变化趋势差异越大。

2.3 生态安全的计算模型

生态压力指数(ETI)模型是在生态足迹原理的基础上提出来的。生态足迹分为可更新资源的生态足迹和不可更新资源(能源)的生态足迹。考虑到生态足迹方法中没有对应能源的生态承载力,加之化石能源的贸易流通和所排放气体的扩散性,某一国或地区所消费的化石能源足迹所带来的生态压力不可能只由消费国或地区所承担,更多的是由全球来负担,所以将生态压力指数定义为某一国家或地区可更新资源的人均生态足迹与生态承载力的比率,该指数代

表了区域生态环境的承压程度,其模型(7)为

$$ETI = \frac{E_f}{E_c} \quad \text{或} \quad t = \frac{e_f}{e_c} \quad (7)$$

生态占用指数(EOI)定义为某一国家或地区人均生态足迹与全球人均生态的比率,该指数反映了一个国家和地区占全球生态足迹的份额,代表了社会经济发展和人均消费水平,其模型(8)为

$$EOI = \frac{e_f}{\bar{e}_f} \quad (8)$$

式中: \bar{e}_f ——同期全球人均生态足迹。

生态经济协调指数(EECI)定义为生态占用指数与生态压力指数的比率,该指数代表了区域社会经济发展与生态环境的协调性,其模型(9)为

$$EECI = EOI / ETI \quad (9)$$

此种生态安全评价模型实现了区域生态安全在承载力与压力两方面的现状分析,基于时间序列的生态安全足迹法的区域生态安全评价的流程图(图1)所示。

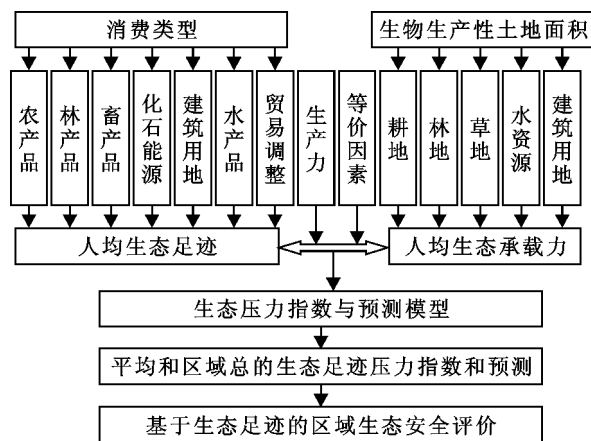


图 1 基于生态足迹分析法的区域生态安全评价的流程图

3 生态安全评价指标与等级

为了确定科学的评价指标及等级划分,根据世界野生动物基金会(WWF)2004年提供的2001年全球147个国家或地区的生态足迹和生态承载力数据^[13],利用模型(7) —(9)计算了其生态压力指数(变化范围0.04~4.00)、生态占用指数(0.14~4.5)、生态经济协调指数(0.17~22.4)。通过对所获得的数据进行扫描、聚类分析,结合考虑世界各国的生态环境和社会经济发展状况,制定了生态安全可持续发展评价指标和等级划分标准(表1所示)。

4 结论和分析

4.1 区域生态足迹和生态承载力动态变化分析

相比较区域总生态足迹与生态承载力,人均生态足迹与人均生态承载力更能放映区域生态可持续发展

能力,且容易进行区域间的时空对比。因此,本研究主要分析人均生态足迹与生态承载力变化趋势及差异。

4.1.1 2000—2006 年生态足迹和生态承载力计算

根据浙江省 2000—2006 年统计年鉴数据^[19],构造浙江省 2000—2006 年土地利用消费与生物生产面积矩阵,根据生态承载力与生态足迹计算模式(1),(2)与式(3),计算 2000—2006 年浙江省人均生态足迹与生态承载力(如表 2)。

从表 2 中可以看出人类活动对自然的占用状态与自然提供的生态服务状况之间的相互关系。从 2000—2006 年浙江省的人均生态呈现持续增长趋势,由 2000 年的 1.474 hm² 增至 2006 年 1.965 hm²,人均承载力持续减少,由 2000 年的 0.629 hm² 减少到 2006 年 0.61 hm²,从而造成了生态赤字逐年增大,呈现出与人均生态足迹基本相同的变化趋势,到 2006 年生态足迹是生态承载力的 3.22 倍。变化趋势表明,浙江省资源消费量已大大超过了当地的生态承载力,人类负荷超过了其生态容量,对外来资源的依赖性越来越大,生态环境处于一种不安全的状态。

4.1.2 2000—2006 年生态足迹与生态承载力变化趋势

以表 1 中的 2000—2006 年浙江省人均生态足迹和生态承载力为样本,采用式(10)和(11)拟合浙江省人均生态足迹和生态承载力变化趋势(拟合度分别为 0.996 和 0.992)。式(10),式(11)的切线方程即

为人均生态足迹与生态承载力变化率表达式,用式(12),(13)表示;进而根据式(6)得到人均生态足迹和生态承载力变化趋势剪刀差表达式,用式(14)表示。各式中,*t*代表年份序列号。

$$Y_{ef} = 0.009\ 8\ x^2 + 0.011\ 3\ x + 1.444\ 5 \quad (10)$$

$$Y_{bc} = 0.000\ 5\ x^2 + 0.007\ 5\ x - 0.637\ 4 \quad (11)$$

$$Y'_{ef} = 0.018\ 6\ x + 0.011\ 3 \quad (12)$$

$$Y'_{bc} = 0.001\ 0\ x - 0.007\ 5 \quad (13)$$

表 1 及图 2 数据表明,2000—2006 年浙江省生态足迹与生态承载力呈反方向变化趋势,可通过变化率与剪刀差定量分析,图 3 反映 2000—2006 年人均生态足迹与生态承载力变化率及剪刀差变化情况。表 1 中的 2000—2006 年人均生态足迹变化率数值为正值,并逐渐增大(2006 年较 2000 年增加了 33.3%),表明在此期间浙江省人均生态足迹在持续增加,且增长速度在逐渐增大。而人均生态承载力变化率数值均为负,表明 2000—2006 年浙江省人均生态承载力在持续减小,并且人均生态承载力变化率绝对值也呈现减小的趋势,反映出人均生态承载力减小速度逐步减少,人均承载力变化绝对值 2006 年较 2000 年减少了 3.91%,小于同期人均生态足迹增长率减小幅度。与之相应,2000—2006 年浙江省人均生态足迹与生态承载力变化差异逐渐增大,2006 年的剪刀差为 2000 年的 2.48 倍。

$$a = \arccos \frac{1 + (0.018\ 6x + 0.011\ 3)(0.001\ x - 0.007\ 5)}{[1 + (0.018\ 6x - 0.011\ 3)^2]^{1/2} [1 + (0.001\ x - 0.007\ 5)^2]^{1/2}} \quad (0 < a < \pi) \quad (14)$$

表 1 生态压力指数、生态占用指数和生态经济协调指数的等级划分标准

等级	ETI	表征状态	EOI	表征状态	EECI	表征状态
1	<0.500 00	很安全	<0.500 00	很贫穷	<1.000 00	协调性很差
2	0.510 80	较安全	0.511 00	较贫穷	1.012 00	协调性较差
3	0.811 00	稍不安全	1.012 00	稍富裕	2.003 00	协调性稍好
4	1.011 50	较不安全	2.013 00	较富裕	3.014 00	协调性较好
5	1.512 00	很不安全	>3.014 00	很富裕	4.018 00	协调性很好
6	>2.000 00	极不安全	>4.000 00	极富裕	>8.000 00	协调性极好

表 2 2000—2006 年浙江省人均生态足迹、生态承载力及变化率、剪刀差

序号	年份	人均生态足迹 (hm ² /人)	生态承载力 (hm ² /人)	生态赤字 (hm ² /人)	生态足迹 变化率	生态承载 力变化率	剪刀差 (弧度)
1	2000	1.473 912	0.628 696	-0.845 216	0.029 9	-0.006 5	0.064
2	2001	1.498 595	0.626 681	-0.871 914	0.048 5	-0.005 5	0.073
3	2002	1.558 487	0.620 570	-0.937 921	0.067 1	-0.004 5	0.097
4	2003	1.609 818	0.613 830	-0.995 985	0.085 7	-0.003 5	0.115
5	2004	1.766 124	0.611 450	-1.154 674	0.104 3	-0.002 5	0.132
6	2005	1.857 565	0.610 530	-1.247 035	0.122 9	-0.001 5	0.147
7	2006	1.964 727	0.610 05	-1.354 673	0.141 5	-0.000 5	0.159

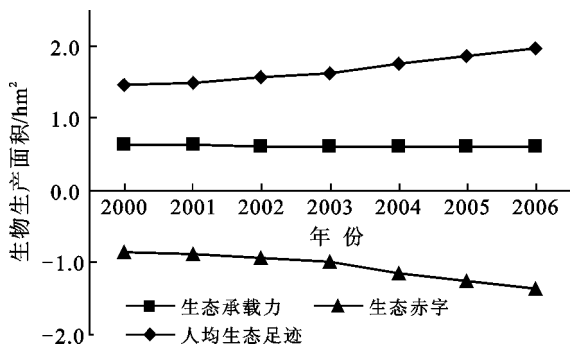


图 2 2000—2006 年浙江省人均生态足迹和生态承载力变化趋势图

分析结果反映,浙江省 2000—2006 年生态赤字在逐年增大,以及人均生态承载力呈现逐步递减的趋势,表明在现有生产技术水平和消费模式下,浙江省发展与资源环境的矛盾已越发尖锐;并且从人均生态足迹与生态承载力变化趋势剪刀差增大的趋势看,人类对生态环境的压力增加幅度有所加剧。

4.2 生态压力指数动态变化分析

生态压力指数模型从生态容量和压力两个方面来分析当前浙江省的生态安全情况。图 4 显示,浙江省的生态压力指数从 2000 年的 2.346 增至 2006 年的 3.220,同期的生态占用指数从 0.67 增至 0.90,生态经济协调指数由 0.286 降低为 0.277。

可以看出,6 a 来浙江省的社会经济发展较快,生态占用指数提高了 1.33 倍;而同期的生态压力指数也增加了 1.37 倍,生态环境处于极不安全的状态。

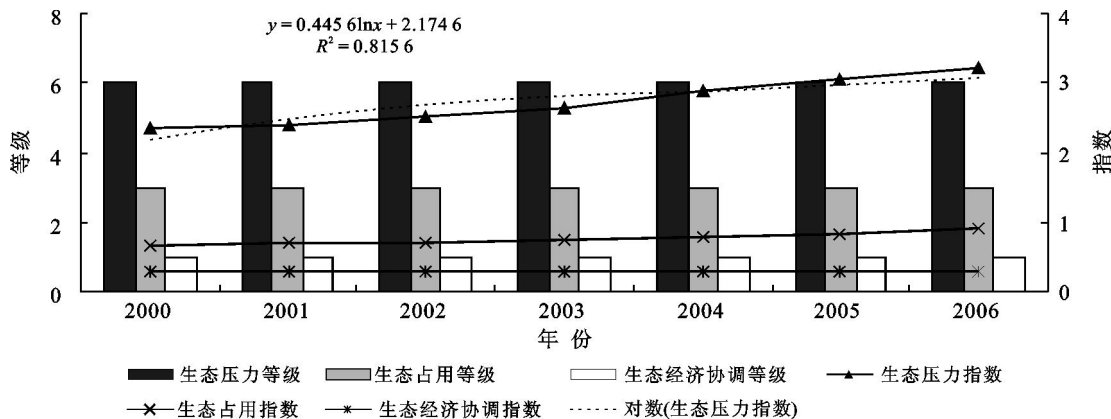


图 4 浙江省生态压力指数、生态占用指数和生态经济协调指数

5 讨论

(1) 变化率和剪刀差是测度生态足迹与生态承载力发展趋势的有效量化指标。对变化率与剪刀差的讨论是建立在时间序列生态足迹与生态承载力基础上的。生态盈亏主要反映某一点生态可持续状态;而变化率反映时间序列生态足迹与生态承载力变化

从生态经济协调指数看,该指数为生态占用指数与生态压力指数的比值,其中生态压力指数反映区域生态环境的承压程度,生态占用指数反映区域社会发展程度和人民消费水平的高低,因此生态经济协调指数反映区域社会经济发展与生态环境的协调性。

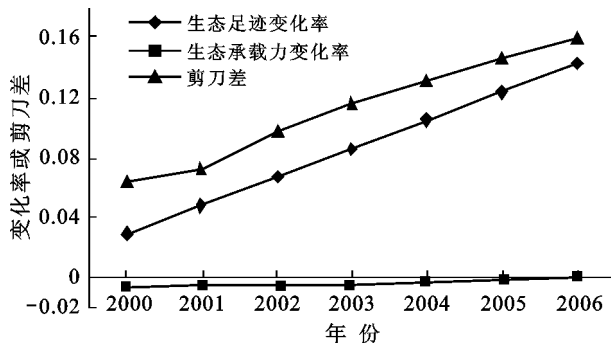


图 3 2000—2006 年浙江省人均生态足迹与生态承载力变化率及剪刀差

尽管浙江省近年来的社会经济水平提高了很多,但对环境的影响也在加大,从生态和经济两方面综合评价,浙江省 2000—2006 年的生态经济协调指数均小于 1,表明生态环境与经济发展间的协调性一直处于很差的水平。

从构建人与生态和谐及期社会可持续发展的观点来看,浙江省今后应该注意降低生态压力,扩大进口,增加占用全球生态足迹的份额,以便使生态经济协调指数能够增加,使该省的生态环境与社会经济能够协调发展。

趋势,剪刀差反映两者变化趋势的差异^[15],单纯讨论某一点变化率或剪刀差没有实际意义,不能通过上一时刻变化率推算下一时刻结果(要考虑平均变化率)。生态盈余与变化率和剪刀差可相互映证,反映区域时间序列生态可持续发展状态和变化趋势。

(2) 本文提出的生态压力指数反映了区域可更新资源的人均生态足迹需求与生态承载力的比例关系,

该指数越大,说明区域的生态压力越大,生态安全性越差;可持续发展水平还应考虑社会的富裕程度,生态占用指数反映了区域人均消费的资源总量(包括可更新资源和不可更新资源)占全球人均消费总量的比例,该指数代表经济发展水平高低;而生态经济协调指数反映经济发展与生态的协调性^[4]。可见本文拟提出的生态压力评价指标体系,符合以人为本,全面、协调、可持续发展的科学发展观和构建和谐社会的思想,是一种应用前景很好的生态安全评价的方法,应用此方法对浙江省生态安全进行初步研究,其结果表明,浙江省的生态压力处于极不安全的状态。从生态经济协调指数看,尽管该省几年来的社会经济水平提高了很多,但对环境的影响也在加大,从生态和经济两方面综合评价,浙江省的生态环境与经济发展间的协调性很差。

(3) 现有的生态安全指标体系的评价等级标准不统一,等级标准的划分随意性很大,导致不同地区、不同评价者的研究结果之间缺乏可比性。本文提出的生态压力指数、生态占用指数、生态经济协调指数是基于生态足迹模型的,涉及的评价因子和计算方法是全球统一的,评价指标的等级也是通过对全球 147 个国家 3 项指数的计算结果进行聚类分析,结合不同国家和地区的生态环境状况和社会经济发展水平制定出来的^[5]。并且该评价体系可以对国家、省、市和县进行评价,该等级标准不仅能在不同时空条件下进行可持续发展等级划分,而且其评价结果可在较大的时空范围内相互比较。

(4) 研究表明,越是经济发达的地区,其生态足迹需求越大。随着经济的发展,浙江省生态足迹还会进一步提高。要在不降低人们生活水平的前提下,减少对生态足迹需求的途径,需采取以下几种措施。采用高新技术,提高单位面积自然生态系统的生产率,同时高效利用现有资源。控制人口增长,减少人均消费。改变人们的生产和生活消费的方式,建立资源节约型的社会生产和消费体系。发展循环经济,千方百计实现废物及某些中间产物再循环利用,以挖掘资源和能源的使用潜力。对于面积和资源有限,人口负担重的浙江省来说,只有从上述几方面采取有效措施,减轻人类对自然的压力,才能实现可持续发展^[4-5]。

[参 考 文 献]

[1] 王根绪,程国栋,钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1551—1556.
 [2] 肖笃宁,陈文波. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354—358.
 [3] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 861—868.
 [4] 赵先贵,韦良焕,马彩虹. 西安市生态足迹与生态安全

的动态研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 1—5.
 [5] 韦良焕,赵先贵,高利峰. 基于生态足迹的青海省生态安全初步研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(1): 155—158.
 [6] 杨京平,卢剑波. 生态安全的系统分析[M]. 北京:化学工业出版社, 2002.
 [7] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective[J]. Ecological Economics, 1997, 20: 3—24.
 [8] Wackernagel M, Monfreda C, Erb K H, et al. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961—1999: comparing the conventional approach to an ‘actual land area’ approach[J]. Land Use Policy, 2004, 21: 261—269.
 [9] Haberl H, Erb K H, Krausmann F. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926—1995[J]. Ecological Economics, 2001, 38(1): 25—45.
 [10] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, et al. Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges[J]. Land Use Policy, 2004, 21(3): 271—278.
 [11] Wackernagel M, Monfreda C, Karl-Heinz E, et al. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961—1999: comparing the conventional approach to “an actual land area” approach[J]. Land Use Policy, 2004, 21: 261—269.
 [12] Lenzen M, Lundie S, Bransgrove G, et al. Assessing the ecological footprint of a large metropolitan water supplier: lessons for water management and planning towards sustainability[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2003, 46(1): 113—141.
 [13] WWF. Living planet report [OL]. http://www.panda.org/news_facts/publications/general/living_planet/index.cfm. 20071108.
 [14] Wackernagel M. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method [OL]. <http://www.footprintnetwork.org>. 20070910.
 [15] 符海月,李满春,毛亮,等. 基于生态足迹的土地利用规划生态成效定量分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 225—230.
 [16] 赵先贵,肖玲,马彩虹,等. 可持续发展研究: 进展与趋向[J]. 地球科学, 1999, 14(6): 589—595.
 [17] Dongxia Yue, Xiaofeng Xu, Zizhen Li, et al. Spatio-temporal analysis of ecological footprint and biological capacity of Gansu, China 1991—2015: Down from the environmental cliff[J]. Ecological Economics, 2006, 58(2): 393—406.
 [18] 中国统计局. 中国统计年鉴 2000—2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000—2006.
 [19] 浙江省统计局. 浙江省统计年鉴 1999—2006[M]. 南京: 浙江出版社, 2000—2006.