

中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析^{*}

徐中民^{1**} 张志强² 程国栋¹ 陈东景¹

¹ 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室,兰州 730000;

² 中国科学院资源环境科学信息中心,兰州 730000)

【摘要】 可持续发展的定量评估是可持续发展研究的关键领域,其核心是确定人类的生存是否处于生态系统的承载力范围之内。新近提出和发展起来的生态足迹指标是一种测算人类对自然利用程度的新的综合指标,该方法通过将区域的资源和能源消费转化为提供这种物质流所必需的各种生物生产土地的面积(生态足迹),并同区域能提供的生物生产土地面积(生态承载力)进行比较,能定量判断一个区域的发展是否处于生态承载力的范围内。以中国和部分省(区市)1999年的统计数据为基础,对中国和部分省(区市)1999年的生态足迹计算结果表明,1999年中国的人均生态足迹为1.326 hm²,而人均生态承载力为0.681 hm²,人均生态赤字为0.645 hm²;分省的计算结果也表明大部分省(区市)的生态足迹超过了当地的生态承载力。生态赤字的存在表明,区域的经济社会发展处于一种不可持续的发展状态。同时,将生态足迹计算中得到的不同土地类型面积作为测算生态经济系统多样性的指标,测算了中国及部分省(区市)1999年生态足迹的多样性,并采用 Ulanowicz 的发展能力公式分析了各省的发展能力。发展能力是一个较好的预测产出的指标,增加多样性是增加发展能力的有效途径。另外,还分析了生态足迹的多样性与资源利用效益的关系,讨论了生态足迹及其多样性的政策含义。

关键词 生态足迹 生态承载力 多样性 发展能力 可持续发展

文章编号 1001-9332(2003)02-0280-06 **中图分类号** P967 **文献标识码** A

Ecological footprint calculation and development capacity analysis of China in 1999. XU Zhongmin¹, ZHANG Zhiqiang², CHENG Guodong¹, CHEN Dongjing¹ (¹ State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; ² Scientific Information Center for Resources and Environment, Chinese Academy Sciences, Lanzhou 730000, China). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 14(2): 280 ~ 285.

The ecological footprint method put forward and improved by William Rees and Mathis Wackernagel presents a methodologically simple but integrated framework for national natural capital accounting, which is capable of measuring the impact of Human's consumption on ecosystem. Based on the ecological footprint theory and calculation method, a flow network analysis method was introduced to illuminate the structure of complex ecological economic system, and the relationship among ecological footprint, diversity and development capacity was analyzed. In this paper, the ecological footprints of China and its provinces was calculated and compared with the national and local ecological carrying capacity. The results showed that the ecological footprints of China and most of its provinces were beyond the available ecological capacity, and China and its most provinces run 'national or regional ecological deficit'. In case of China, the national ecological deficit was 0.645 hm² per cap in 1999. Secondly, we introduced a flow network analysis method, taking various ecological productive area as note, and adopted Ulanowicz's development capacity formula to analyze the relationship among ecological footprint diversity, development capacity and output. The results demonstrated that Ulanowicz's development capacity was a good predictor of economic system output. At the same time, two distinct ways to change development capacity were produced. Increasing ecological footprint or increasing ecological footprint's diversity would both increase development capacity. Due to the fact that the ecological footprints had already been beyond bio-capacities, the only way to increase development capacity was to increase ecological footprint's diversity. The positive relationship between ecological footprint diversity and resources utilization efficiency demonstrated that there was no conflict between increasing ecological footprint's diversity and reducing footprints while not comprising our quality of life.

Key words Ecological footprint, Ecological carrying capacity, Diversity, Development capacity, Sustainable development.

1 引 言

自可持续发展概念提出以来,科学家们一直在研究衡量可持续发展状态的指标和方法,以便为可持续发展的科学决策提供定量工具。William Rees

等从 1992 年以来提出和发展的生态足迹(ecological

* 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-09-04, KZCX1-10-03, KZCX1-10-07)和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程资助项目(210018)。

** 通讯联系人。

2001-06-14 收稿, 2001-08-24 接受。

footprint)理论和指标,就是依据人类社会对土地连续依赖性^[4],而定量测度区域可持续发展状态的一种新的理论和方法.生态足迹的定义是,任何已知人口(某个个人、一个城市或一个国家)的生态足迹是生产这些人口所消费的所有资源和消纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产土地面积^[13].该概念用直观的“生态足迹”(支持一定数量的人口消费和废弃物消纳所需要的生物生产土地面积)来反映人类消费对自然系统的影响.生态足迹理论自提出以来,受到了生态经济学家的高度重视,正在得到广泛应用和不断完善.生态足迹的概念突出了几个与可持续发展紧密相关的主题^[15]:1)人类消费的增加及其后果;2)可持续发展所依赖的关键资源——生物生产陆地和海洋;3)可获得资源的分布状况;4)贸易对可持续发展的影响和在环境压力下区域资源的重新分配问题.生态足迹分析提供了一种核算人类社会消费对自然环境影响的简单而综合的账户体系,将一个国家或地区的生态足迹同区域的生态承载力进行比较可以定量的判断一个国家或地区的生产消费活动是否处于区域可持续发展的范围内.存在生态赤字时,可通过下述 3 条途径来减少生态足迹^[16,17]:1)增加土地的产出率;2)提高资源的利用效益;3)改变人们的生活消费方式.

无论是生态系统还是经济系统,多样性理论都广泛地用来探讨系统结构与系统所表现出来的特征之间的关系^[9,11].生态系统的多样性是近年来生物学和生态学中研究的热点问题之一,而多样性对生态系统进化演替的作用,生产力、资源的利用效益与多样性的关系是研究的焦点之一.达尔文^[3]的研究首先表明了生态系统的多样性与生产力密切相关.Tilman^[12]对牧草地生态系统的研究发现,多样性与生产能力和有限资源的利用效率之间存在显著的正相关关系.Ulanowicz^[13]认为,多样性与发展能力(development capacity)相关,并利用能源流、信息理论和投入产出技术提出了一个增长与发展之间的一般理论.采用系统产出的大小(用能量产出表征)和组织(与多样性、系统结构之间信息的交流等相关)来定义系统的发展.系统的发展首先是指发展能力,它定义了系统发展的上限.经济多样性也是区域经济学家研究的热点问题之一,从事区域研究的科学家们迄今已经给出了多种经济多样性的概念,并提出了多种研究方法(熵指数法、组合情景分析方法、投入产出方法等)^[5,9],就不同地区的发展提出了针对性的对策建议.但这些研究存在一定的局限性,表

现在多样性研究主要集中在分析多样性与稳定性之间的关系,而稳定性分析仅采用失业或收入指标作为工具. Templet^[10]首先意识到生态系统和经济系统存在“类质同像”现象,并利用 Ulanowicz 的发展能力公式,以能源消费为网络流量介质,分析了能源多样性与发展能力的关系,结果表明,能源多样性与人均 GDP 呈显著正相关.

无论是生态系统,还是经济系统,多样性都与效益改进、生产力和产出密切相关,而且反映系统的进化演替过程,因而具有重要的研究意义.由于指标的局限性,以前的研究都仅局限于独立的生态系统和经济系统,没有考虑人类活动对生态系统的影响.在人类对自然的影响日益加剧的今天,研究的背景系统应该扩展到生态经济系统.

生态足迹将人类社会消费活动对自然的影响转化为提供这种消费所需要的资源流量和消纳废弃物排放所需要的土地面积,因此是一种较好的测量人类社会活动对自然环境影响的定量分析指标.本文在测算中国及各省(区市)1999 年生态足迹的基础上,对生态足迹指标理论作了一定的发展和完善,将生态足迹计算中采用的不同土地类型面积作为测算生态经济系统多样性的指标,并采用 Ulanowicz 的发展能力公式分析了各省(区市)的发展能力.在此基础上,分析了多样性与资源利用效益的关系,讨论了生态足迹及其多样性的政策含义.

2 研究方法

2.1 生态足迹的计算

生态足迹是在一定的经济规模条件下,维持特定人口的资源消费和废弃物消纳所必需的生物生产土地面积.生态足迹计算的一般公式可表示为^[4,15,17]:

$$E_F = N [e_f = (a a_i) = (c_i / p_i)] \quad (1)$$

式中, i 为消费商品的类别, P_i 为第 i 种消费商品的平均生产能力, c_i 为第 i 种商品的人均消费量, aa_i 为种消费商品折算的人均生产土地面积, N 为人口数, e_f 为人均生态足迹, E_F 为总的生态足迹.

生态足迹是人口数和人均物质消费的一个函数.在生态足迹核算中主要计算生物资源的消费和能源的消费.生物资源消费主要包括农产品、动物产品、林产品、水果和木材等类别及细类.能源消费主要考虑煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等几种能源.各省(区市)生物资源和能源的消费量在统计年鉴中都有详细的统计数据.同时,在生物资源和能源的消费额中应该考虑贸易调整,以计算净消费额.由于人类对资源的利用是动态变化的,因而生态足迹也是一个动态变化的指标.

目前,有关生态足迹的应用研究已有不少案例^[2, 14~17]. Wackernagel 等^[17]对 52 个国家的生态足迹计算与分析是该方面研究的典型代表. 该研究的结果表明,所计算的 52 个国家和地区中的 35 个国家和地区存在生态赤字,只有 12 个国家和地区的人均生态足迹低于全球人均生态承载力. 这 52 个国家和地区的人类消费已超过了这些国家和地区生态承载力总和的 35%. 需要指出的是,据 Wackernagel 等^[17]计算,中国 1997 年的人均生态足迹为 1.12 hm²,而人均生态承载力为 0.8 hm²,人均生态赤字为 0.4 hm². 本文作者曾以甘肃省为例,测算了甘肃省 1998 年的生态足迹.

2.2 生态足迹多样性的计算

生态足迹的多样性指数可用 Shannon-Weaver^[8]公式计算:

$$H = - \sum [P_i \ln P_i] \quad (2)$$

式中, H 是多样性指数, P_i 是 i 种土地类型在总生态足迹中的比例. 从(2)式中计算的生态足迹多样性由两个部分构成: 1) 丰裕度(不同土地类型利用的数量); 2) 公平度(测量生态足迹的分配状况). Shannon-Weaver^[17]公式不是一个单调函数,意味着生态经济系统中生态足迹的分配越接近平等,对给定系统组分的生态经济系统来说,多样性就越高.

2.3 生态经济系统的发展能力

发展能力(development capacity)可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. 按 Ulanowicz^[13]的方法,意味着按公式(2)计算的多样性同组织的术语相类似,当研究生态经济复合系统的结构和现象的关系时,数据的可获得性需要简化 Ulanowicz 的方法. 假设一个多部门的模型,每个部门都只有单一类型的土地需求,而且产出之间没有相互的联系. 这样就可以采用(2)式计算多样性指数的变化,但对一般性情况的忽略意味着发展能力和多样性之间的关系不是那么直接.

按 Ulanowicz 的公式,发展能力可以用以下公式描述:

$$C = E_F \times (- \sum [P_i \ln P_i]) \quad (3)$$

式中, C 为发展能力,为国家或地区的生态足迹.

3 结果与分析

3.1 1999 年生态足迹计算与分析

表 1 中国 1999 年生态足迹计算汇总表

Table 1 Footprint summary of China in 1999

人均生态足迹 Ecological footprint (per capita)				人均生态承载力 Ecologica; carrying capacity(percapita)			
土地类型 Category	人均面积 Total area (hm ²)	均衡因子 Equivalence factor	均衡面积 Equivalence area(hm ²)	土地类型 Category	人均面积 National area(hm ²)	产量因子 Yield factor	均衡面积 Equivalence area(hm ²)
耕地 Arable land	0.1008	2.8	0.2823	耕地 Arable land	0.103	1.66	0.480
草地 Pasture	0.6276	0.5	0.3138	草地 Pasture	0.318	0.19	0.030
森林 Forest	0.0206	1.1	0.0226	森林 Forest	0.209	0.91	0.209
化石能源 Fossil energy	0.5752	1.1	0.6328	CO ₂ 吸收 CO ₂ absorption	0.000	0.00	0.000
建筑用地 Building land	0.0109	2.8	0.0306	建筑用地 Building land	0.010	1.66	0.047
海洋 Sea	0.2172	0.2	0.0434	海洋 Sea	0.037	1.00	0.007
生态足迹 Ecological footprint			1.3255	ECC			0.774
				BD			0.093
				AEC			0.681

建筑用地面积的供给、产量因子取自文献[16, 17]中的中国平均值; ECC:生态承载力 Ecological carrying capacity; BD:生物多样性保护面积(-12%) Minus - 12% for biodiversity; AEC:可利用生态承载力 Utilizable ecological carrying capacity.

3.1.1 中国生态足迹计算与分析 运用上述生态足迹的计算方法,利用《中国统计年鉴——2000》的数据^[7],对中国 1999 年的生态足迹进行了计算. 在生物资源消费的计算中,采用联合国粮农组织(FAO)的 1993 年世界平均产量资料来处理生物资源生产面积的折算. 考虑到增加大气中 CO₂ 的浓度将是不可持续发展,在我们的计算中采用的是估计吸收 CO₂ 排放所需要的土地面积来处理能源用地,具体详细的计算过程可参考文献^[17]. 中国 1999 年生态足迹的计算结果见表 1.

从全球的平均生产能力来看,按 1999 年中国 12.59 亿人计算,中国人均生态足迹为 1.326 hm²,而人均生态承载力为 0.681 hm²,人均赤字为 0.645 hm². 中国的生态足迹已经超出其生态承载力的 94%. 与世界 1997 年人均生态承载力 2 hm²(已扣除 12% 的生物多样性保护面积)相比^[16, 17],中国的人均生态足迹占全球人均生态承载力的 66%. 1999 年中国的生态承载力仅相当于其足迹的 51%. 从资源利用的角度来看,能源用地占整个足迹的 48%. 生态足迹分析中的能源用地代表了在可持续方式下支持当前的能源消费所需要的土地面积,反映在中国的经济结构中工业生产已经占据较高的比例. 由于目前还没有证据表明,有哪个国家拿出专门土地用于 CO₂ 的吸收,因此高的能源消费通常意味着高的生态赤字,这也是中国高生态赤字的原因之一.

尽管中国人均生态足迹比较小,但由于人口总量大,因而总的足迹很大,对环境的影响也大. 中国人的总生态足迹为 1 668.87 hm²,为现有国土面积的 1.74 倍,人均超支了 0.64 hm²,这表明我国的人地关系已经十分紧张. 同 Wackernagel^[16]计算的中国 1997 年的人均生态足迹 1.12 hm² 相比(与本文

表 2 中国及分省(区市)的 1999 年的生态足迹与生态承载力

Table 2 Summary on ecological footprint, ecological capacity in China and its provinces in 1999

国家或地区 State or province	生态足迹 Ecological footprint (hm^2 per cap.)	生态承载力 Eco-capacity (hm^2 per cap.)	生态赤字/ 盈余 Ecological deficit/ surplus (hm^2 per cap.)	GDP 足迹 GDP's E_F ($\text{hm}^2 \cdot 10^4$ yuan $^{-1}$)	国家或地区 State or province	生态足迹 Ecological footprint (hm^2 per cap.)	生态承载力 Eco-capacity (hm^2 per cap.)	生态赤字/ 盈余 Ecological deficit/ surplus (hm^2 per cap.)	GDP 足迹 GDP's E_F ($\text{hm}^2 \cdot 10^4$ yuan $^{-1}$)
中国 China	1.325	0.681	- 0.645	2.037	湖北 Hubei	1.595	0.395	- 1.200	2.455
北京 Beijing	2.682	0.934	- 1.748	1.550	湖南 Hunan	1.006	0.432	- 0.575	1.975
天津 Tianjin	0.895	0.385	- 0.510	0.592	广东 GD ³⁾	1.332	0.462	- 0.770	1.058
河北 Hebei	0.947	0.626	- 0.321	1.371	海南 Hainan	0.891	0.336	- 0.555	1.441
山西 Shanxi	2.555	0.741	- 1.741	5.443	广西 Guangxi	1.022	0.425	- 0.597	2.466
辽宁 Liaoning	2.571	0.700	- 1.871	2.571	四川 Sichuan	0.951	0.385	- 0.566	2.141
吉林 Jilin	1.789	1.054	- 0.734	2.848	重庆 Chongqing	1.042	0.303	- 0.738	2.163
黑龙江 HLJ ¹⁾	2.387	1.625	- 0.761	3.124	贵州 Guizhou	1.228	0.352	- 0.876	4.998
上海 Shanghai	2.242	0.256	- 1.987	0.819	云南 Yunnan	0.477	0.755	0.277	1.078
江苏 Jiangsu	1.568	0.459	- 1.109	1.469	陕西 Shaanxi	1.086	0.742	- 0.344	2.641
浙江 Zhejiang	0.529	0.4205	- 0.108	0.441	甘肃 Gansu	1.337	0.806	- 0.531	2.641
安徽 Anhui	1.382	0.502	- 0.880	2.963	青海 Qinghai	1.573	1.173	- 0.401	2.365
福建 Fujian	1.447	0.482	- 0.760	2.094	宁夏 Ningxia	1.278	1.100	- 0.178	2.875
江西 Jiangxi	1.058	1.288	0.229	2.280	新疆 Xinjiang	2.413	1.152	- 1.261	3.665
山东 SD ²⁾	1.447	0.497	- 0.951	1.667	内蒙 IM ⁴⁾	2.371	2.353	- 0.018	4.415
河南 Henan	1.478	0.481	- 0.997	3.032	西藏 Tibet	2.153	7.584	5.431	5.208

资料来源:《中国统计年鉴—2000》及各省(区市)2000 年统计年鉴。因资料原因在表 2 的计算结果中,河北的足迹计算中未进行能源平衡,浙江的生态足迹计算中未包含能源用地,上海、贵州、广西生态承载力计算中未包括草地;省(区市)计算中未包括台湾、香港和澳门。1) HLJ: Heilongjiang; 2) SD: Shandong; 3) GD: Guangdong; 4) IM: Inner Mongolia.

采用的是同一计算方法),我国的人均生态足迹增加了 0.125 hm^2 ,生态承载力减少了 0.119 hm^2 。本研究中得出的中国人均生态足迹增加的原因可以归结为:1)人口的增加;2)可利用土地资源的减少;3)消费商品数量的增加。

3.1.2 各省(区市)生态足迹计算与分析 按照同样的方法,计算了各省(区市)1999 年的生态足迹,计算结果见表 2。从表 2 第 1 列的生态足迹数值可以看出,北京市人均生态足迹最高,为人均 2.682 hm^2 ;云南省的人均足迹最低,为 0.477 hm^2 。全国人均均为 1.326 hm^2 。将生态足迹与当地的生态承载力相比较可以看出,在所计算的 31 个省(区市)中,除江西、云南、西藏外,其余 28 个都存在不同程度的生态赤字,因此中国及其大部分省(区市)都是在生态赤字的状态下运行。如以 1997 年全球人均 2 hm^2 ^[16,17]的生态承载力为生态阈值的话,则北京、山西、内蒙古、辽宁、黑龙江、上海和新疆的资源消费状况已经超过了全球尺度承载力的范围,而且超过了本地的生态承载力,是属于全球和地方尺度均不可持续的发展类型;在所计算的省份中,除江西、云南、西藏属于全球和地方尺度可持续的发展省份外,其余的省份都属于地方尺度不可持续而全球尺度可持续的发展省份。也就是说,目前全球不可持续省份的消费已经超过了全球平均的自然再生产能力。由于进出口所携带的足迹比例不大,以中国为例,1999 年进出口所携带的足迹分别占总生态足迹的 8.9% 和 10.5%,在进行贸易平衡后,贸易对生态赤字的影响仅为总生态足迹的 1.6%。因此可以认为当前

的消费是以耗竭自身的自然资源为基础的。

3.1.3 万元 GDP 的生态足迹与资源的利用效益 为反映资源的利用效益,计算了万元 GDP 的生态足迹(表 2),显然万元 GDP 的足迹需求大,反映资源的利用效益低,反之,则资源利用效益高。从表 2 可以看出,1999 年我国平均万元 GDP 所占有的足迹为 2.037 hm^2 ,高于发达国家的平均水平,这反映我国的资源利用效益比较低。中国各地区万元 GDP 的足迹需求普遍很大,且存在较大差异。如山西省和辽宁省的足迹需求都比较大,人均分别为 2.555 和 2.571 hm^2 ,这主要是因为二者都是能源消费大省,能源用地占生态足迹需求的比例高达 83% 和 63%。但两省万元 GDP 的足迹却相差 2.11 倍,这说明在资源利用效益方面两省有比较明显的差别。对东西部地区的分析结果进行对比表明,东部地区(未包括浙江)人均足迹 1.370 hm^2 ,人均生态赤字 0.867 hm^2 ,万元 GDP 足迹 1.291 hm^2 ;西部地区(12 省)人均足迹 1.172 hm^2 ,人均生态赤字 0.45 hm^2 ,万元 GDP 足迹 2.721 hm^2 。东部的人均生态足迹比西部高 0.198 hm^2 ,人均生态赤字高出 0.417 hm^2 ,这说明东部地区由于其人口密度远远高于西部地区,因而其地关系比西部地区还要紧张。西部地区万元 GDP 的足迹是东部地区的 2.1 倍,说明西部地区资源的利用效益要远低于东部地区。

3.2 生态足迹计算的准确性与政策含义

生态足迹研究方法提出后,就受到生态经济学家的广泛关注,进行了广泛深入的讨论^[1,6,16~18]。关于生态足迹方法的优缺点,我们已做过初步讨

论^[19]. 这里仅对本研究中遇到的一些问题及其政策含义进行简单讨论.

在计算生态承载力时,各种生物生产土地面积的统计数据相当重要. 由于在各土地类型的核算中缺乏一些标准的定义,容易导致计算结果偏差较大^[6],如将产出率极低的荒漠草原与产出率较高的湿地草原相提并论并简单相加,会导致计算结果偏大. 这些差异主要来自:1) 缺乏对用地类型的定义标准;2) 计算过程中消费商品对应单一土地利用类型的假设,显然忽略了人类对消费商品的间接利用.

生态赤字与盈余用来判断一个国家或地区的可持续发展状态合适与否,这里有一个尺度问题. 在全球的尺度上,自给自足和可持续是同义语. 在其它尺度上生态赤字和盈余是人口密度的函数. 国家或地区尺度的生态足迹的信息对我们来说利用的程度有限,因为不能确定一个面积辽阔、人口稀少、能自给自足、并有很大的人均足迹的国家或地区是否比一个面积小、人口密度大、但人均生态足迹小的国家或地区更可持续^[6],如实例计算中的北京和西藏之间的比较.

当前生态足迹的计算主要基于人均国民消费和世界平均土地产出量. 这是一个促进国与国或地区与地区之间比较的实用方法. 但是土地产出率受人类的管理模式和自然条件影响较大,以全球平均的产出率数据为基础计算生态足迹忽略了各地区之间真正的生态比较优势,计算的生态足迹结果不能反映各地区真实的生态生产型面积需求的大小. 因此,使用当地的生产能力意味着计算的面积是当地消费所需要的真实的土地面积. 对国家和地方政府来说,基于当地生产能力的土地利用可能与自身利益关系

更密切一些,将生态足迹的计算程序建立在当地的消费、生产和统计的基础上,可以揭示自身消费、生产和管理模式的变化对生态足迹大小的影响,增加净消费额调整的准确度,同时有助于减少和辨明生态足迹计算中数据方面的一些误差.

3.3 生态足迹的多样性与发展能力分析

3.3.1 生态足迹多样性与发展能力计算 在中国 1999 年生态足迹多样性计算中,土地利用类型划分为 5 个类型:耕地,草地,林地,化石燃料用地和建筑用地. 利用 1999 年中国及分省(区市)生态足迹计算的结果,采用公式(2)计算了我国及部分省区的生态足迹多样性指数,并采用公式(3)计算了生态经济系统的发展能力(表 3).

3.3.2 生态足迹多样性与发展能力的关系 在排除生态足迹中未进行能源平衡的河北省和浙江省后,将其余 29 个省生态经济系统发展能力(表 3)同 1999 年各省(区市)人均 GDP(万元)进行相关分析发现,二者呈较大的正相关($r = 0.63$),这说明以生态足迹为指标,采用 Ulanowicz 的发展能力公式计算的生态经济系统的发展能力是一个很好的反映生态经济系统发展状况的指标. 计算的误差可归因于在生态足迹和发展能力的计算中都没有考虑到各系统组分之间的相互影响和上述的生态足迹方法本身的一些问题. 在此基础上,从公式(3)可以得出提高生态经济系统发展能力的几种不同途径:1) 增加生态足迹;2) 提高生态足迹的多样性;3) 同时提高生态足迹的多样性和增加生态足迹. 但从前面我国生态足迹的计算结果和 Wackernagel 关于世界上 52 个国家生态足迹的计算结果来看,当前大部分国家和地区人类对环境的影响已经超过了全球或当地的生态

表 3 中国及部分省(区市)1999 年的生态足迹多样性和发展能力

Table 3 Ecological footprint's diversity, capacity and intensity in China and provinces

国家或地区 State or province	生态足迹的多样性 Ecological foot- print's diversity	发展能力 Development capacity	人均 GDP GDP/capita (10 ⁴ yuan)	国家或地区 State or province	生态足迹的多样性 Ecological foot- print's diversity	发展能力 Development capacity	人均 GDP GDP/capita (10 ⁴ yuan)
中国 China	1.29	1.71	0.65	湖北 Hubei	1.14	1.82	0.65
北京 Beijing	1.05	2.82	1.73	湖南 Hunan	1.09	1.10	0.51
天津 Tianjin	1.25	1.12	1.51	广东 Guangdong	1.34	1.65	1.16
山西 Shanxi	0.68	1.74	0.47	广西 Guangxi	0.94	0.96	0.41
内蒙 Monoglia	0.82	1.94	0.54	海南 Hainan	1.19	1.06	0.62
辽宁 Liaoning	0.89	2.29	1.00	四川 Sichuan	1.08	1.03	0.43
吉林 Jilin	1.08	1.93	0.63	重庆 Chongqin	1.17	1.22	0.48
黑龙江 Heilongjiang	0.89	2.12	0.76	贵州 Guizhou	1.09	1.34	0.25
上海 Shanghai	1.22	2.74	2.74	云南 Yunnan	0.96	0.46	0.44
江苏 Jiangsu	1.28	2.01	1.07	陕西 Shanxi	1.23	1.33	0.41
安徽 Anhui	1.09	1.51	0.47	甘肃 Gansu	0.98	1.31	0.37
福建 Fujian	1.16	1.68	1.07	青海 Qinghai	0.86	1.35	0.47
江西 Jiangxi	1.19	1.26	0.46	宁夏 Ningxia	0.85	1.09	0.44
山东 Shandong	1.26	1.82	0.86	新疆 Xinjiang	0.93	2.24	0.66
河南 Henan	1.11	1.64	0.49	西藏 Tibet	0.73	1.57	0.41

承载力,为保护人类赖以生存的生命支持系统,人类应该减少自己的生态足迹.因此,提高生态经济系统发展能力的手段只有提高生态足迹的多样性,也就是应该增加土地类型利用的多样化,均等的利用各种不同类型的土地资源.

值得注意的是,增加生态足迹的多样性与减少生态足迹并不矛盾,提高资源的利用效益是人类减少生态足迹的一种有效手段,利用表 2 中万元 GDP 的生态足迹占用和表 3 中的生态足迹多样性指数进行相关分析发现,二者呈现明显的负相关关系($r = -0.72$),表明生态足迹的多样性越高,万元 GDP 的生态足迹需求越小,资源利用的效益也越高.尽管关于提高生态足迹的多样性和提高资源利用效益之间的机理关系并不十分清楚,但二者呈正相关关系说明在提高生态足迹多样性的同时,能提高资源的利用效益.

4 结 论

4.1 应用生态足迹指标理论及计算方法,依据《中国统计年鉴——2000》及各省(区市)2000 年统计年鉴的数据,对 1999 年中国和各省(区市)的生态足迹进行了计算与分析.结果表明,中国 1999 年的人均生态足迹为 1.3255 hm^2 ,而人均生态承载力为 0.681 hm^2 ,人均生态赤字为 0.645 hm^2 ,处于一种不可持续的发展状态.同时分省(区市)的计算结果也表明,绝大部分省(区市)的生态足迹超过了当地的生态承载力,处于不可持续的发展状态.生态足迹指标是可持续发展评估的一种综合而直观的指标,但在具体计算中存在一些影响其准确性的因素,特别是涉及时空尺度转换问题和进行政策分析时,采用生态足迹方法衡量一个地区的可持续发展状态需要基于当地的生产力,采用全球平均生产力数据对某个地区进行评价时其结果与实际情况会有一定的出入.

4.2 采用 Ulanowicz 的发展能力公式,以生态足迹为指标测算了中国及各省 1999 年的发展能力,而且相关分析发现发展能力与 GDP 呈显著正相关,表明本文采用的发展能力测算方法得出的结果能较好反映一个地区的发展状况.提高发展能力有两条途径:增加生态足迹,或者提高生态足迹的多样性.由于当

前人类活动对自然的影响已经超过了地区的生态承载能力,因此,提高发展能力的途径应该是提高生态足迹的多样性,减少生态足迹的措施(如提高资源的利用效益)和提高生态足迹的多样性并不矛盾.

参考文献

- 1 Ayres U. 2000. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. *Ecol Econ*, **32**:347 ~ 349
- 2 Bicknell K, Ball R, Cullen R, *et al.* 1998. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecol Econ*, **27**:149 ~ 160
- 3 Darwin C. 1859. *The Origin of Species by Natural Selection*. Murray, London.
- 4 Hardi P, Barg S, Hodge T, *et al.* 1997. *Measuring Sustainable Development: Review of Current Practice*. Occasional Paper Number 17(IISD). 1 ~ 2, 49 ~ 51
- 5 Kort JR. 1981. Regional economic instability and industrial diversification in the US. *Land Econ*, **57**:596 ~ 608
- 6 Kooten G, Bulte E. 2000. The ecological footprint: Useful science or politics. *Ecol Econ*, **32**:385 ~ 389
- 7 National Bureau of Statistics, People's Republic of China. 2001. *China Statistical Yearbook—2000*. Beijing: China Statistics Press.
- 8 Shannon CE, Weaver W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- 9 Siegel PB, Johnson TG, Alwang J. 1995. Regional economic diversity and diversification: Seeking a framework for analysis. *Growth Change*, **26**(2), 261 ~ 284
- 10 Templet PH. 1999. Energy, diversity and development in economic systems: An empirical analysis. *Ecol Econ*, **30**:223 ~ 233
- 11 Tilman D. 1996. Biodiversity: Population versus ecosystem stability. *Ecology*, **77**(2): 350 ~ 363
- 12 Tilman D, Wedin D, Knops J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, **379**: 718 ~ 720
- 13 Ulanowicz RE. 1986. *Growth and development*. In: *Ecosystems Phenomenology*. New York: Springer-Verlag.
- 14 Vuuren DP, Smeets EMW. 2000. Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands. *Ecol Econ*, **34**:115 ~ 130
- 15 Wackernagel M, Rees W. 1996. *Our Ecological Footprint—Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers. 61 ~ 83
- 16 Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al.* 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecol Econ*, **29**:375 ~ 390
- 17 Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al.* 1997. *Ecological Footprints of Nations*. Commissioned by the Earth Council for the Rio +5 Forum. International Council for Local Environmental Initiatives, Toronto.
- 18 Wackernagel M, Silverstein J. 2000. Big things first: Focusing on the scale imperative with the ecological footprint. *Ecol Econ*, **32**: 391 ~ 394
- 19 Xu ZM(徐中民), Zhang ZQ(张志强), Cheng GD(程国栋). 2000. The calculation & analysis of ecological footprints of Gansu province in 1998. *Acta Geogr Sin*(地理学报), **55**(5): 607 ~ 616 (in Chinese)

作者简介 徐中民,1973 年生,男,博士,副研究员,主要从事生态经济的研究. E-mail: xzmin@ns.lzb.ac.cn