

文章编号: 0375-5444 (2001) 05-0599-12

中国西部 12 省 (区市) 的生态足迹

张志强^{1, 2}, 徐中民¹, 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, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院资源环境科学信息中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 在介绍生态足迹的概念和计算方法及目前的研究成果的基础上, 以西部 12 个省 (区市) 2000 年统计年鉴的数据为依据, 对中国西部地区 12 个省 (区市) 1999 年的生态足迹进行了计算和分析, 结果表明, 除云南、西藏 2 个省 (区) 的生态足迹为盈余外, 其余 10 个省 (区市) 的生态足迹均为赤字。西部地区 12 个省 (区市) 总人口的生态足迹赤字达 $162.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 该数据相当于新疆自治区的国土面积。反映出人类的生产、生活强度超过了生态系统的承载能力, 区域生态系统处于人类的过度开发利用和压力之下。

关键词: 可持续发展衡量; 生态足迹; 生物生产面积; 生态承载力; 生态盈余; 生态赤字; 西部地区

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

定量测度发展的可持续发展评估是可持续发展研究的重要内容之一^[1]。人类社会要取得发展的可持续性, 就必须维持自然资产的存量及其可持续利用。只要人类对自然系统的压力处于地球生态系统的承载力范围内, 地球生态系统就是安全的, 人类经济社会的发展就处于可持续的范围内。因此, 可持续发展评估研究的核心是定量了解人类对自然的利用状况, 定量测量人类的需求是否处于自然的再生产能力之内。

自 20 世纪 60 年代以来, 科学家们就一直在努力发展并改进一些旨在测度人类对地球生态系统所产生的压力的方法, 以量化人类资源的利用, 如 Meadows 等 (1972, 1992) 的世界资源动态模型^[2, 3]、Holdren 等 (1974) 的 IPAT 公式^[4]、Whittaker (1975) 对全球生态系统净初级生产力的计算^[5, 6]、Vitousek 等 (1986) 对净初级生产力的人类占用研究^[7]、Odum (1994) 的能值分析理论^[8], 等等。1992 年联合国环境与发展大会后, 可持续发展指标体系更成为国际上可持续发展研究的热点和前沿, 随着研究的深入, 各种指标体系不断提出, 比较有影响的研究成果如, Christian 等 (1996) 的可持续性的社会—生态指标^[9]、Constanza 等 (1997) 的生态系统服务价值的评估研究^[10]、Rees (1992)、Wackernagel 等 (1996) 的生态足迹指标^[11~14], 等等。虽然这些指标的应用和表示方法不同, 但它们的出发点和目标是相同的, 即定量表示人类对自然的利用, 使人类了解自身的生存和发展对自然

收稿日期: 2001-05-10; 修订日期: 2001-07-10

基金项目: 中科院知识创新工程重大项目“ (编号: KZCX1-09-04, KZCX1-10-07); 中科院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目 (编号: 210018) 资助 [Foundation Item: The Key Innovation Projects of CAS, No. KZCX 1-09-04 and No. KZCX 1-10-07; the Innovation Project of CAREER I of CAS, No. 210018]

作者简介: 张志强 (1964-), 男, 研究员, 在职博士生, 研究方向为生态经济学与区域可持续发展。

E-mail: zhangzq@ns.lzb.ac.cn

的胁迫状况,以促进和实现人类减少对自然的负面影响。

Rees 和 Wackernagel 等 1992 年以来提出和发展的生态足迹 (ecological footprint) 指标提供了一个核算地区、国家和全球自然资本利用的简明框架,通过测量人类对自然生态服务的需求与自然所能提供的生态服务之间的差距,就可以知道人类对生态系统的利用状况,可以在地区、国家和全球尺度上比较人类对自然的消费量与自然资本的承载量。

1 生态足迹指标研究成果概述

Wackernagel 等在提出生态足迹的概念、指标及计算方法的同时,应用生态足迹指标对世界上 52 个国家和地区 1997 年的生态足迹进行了实证计算研究^[11~13],这 52 个国家和地区中包括了世界经济论坛全球竞争力报告中所涉及的 47 个国家,拥有世界 80% 的人口和 95% 的世界国内生产总值^[11],它们对全球的可持续发展举足轻重。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%。这些数据可能仍然低估了这些国家的人口维持其现今的生活水平所实际需要的生物生产土地和海洋总面积。需要指出的是,在 Wackernagel 等的计算中,中国 1997 年的人均生态足迹为 1.2 hm^2 ,而其人均生态承载力仅为 0.8 hm^2 ,人均生态赤字为 0.4 hm^2 。

就全球平均而言,1997 年人均生态足迹为 2.8 hm^2 。而全球人均现有 0.25 hm^2 耕地、 0.6 hm^2 牧草地、 0.9 hm^2 林地、 0.06 hm^2 建筑用地、 0.5 hm^2 生产性海洋,进行均衡换算可得全球人均可利用生物生产面积(人均生态承载力)仅为 2.3 hm^2 ,若按世界环境与发展委员会(WCED)的报告《我们共同的未来》所建议的,留出 12% 的生物生产土地面积以保护生物多样性即保护地球上的其他 3 000 万个物种的话,则全球实际人均生物生产面积仅为 2.0 hm^2 。因此,1997 年全球人均生态赤字为 0.8 hm^2 。所以人均 2 hm^2 的生物生产面积就是 1997 年全球人均生态承载力的底线(bottom-line)或生态阈值(ecological benchmark)^[11~13]。因此,从全球范围而言,人类的生态足迹已超过了全球生态承载力的 30%,人类现今的消费量已超出自然系统的再生产能力,即人类正在耗尽全球的自然资产存量。

Folke 等(1997)计算得出,欧洲波罗的海流域 29 个大城市的生态足迹至少是这些城市面积的 565~1 130 倍;全球 744 座大城市中生活的占全球 20% 的人口的海产品消费占用了全球 25% 的生产性海洋生态系统,要消纳这些城市排除的 CO_2 需要全球森林全部碳汇能力再增加 10%^[15]。Wackernagel 等(1999)将生态足迹指标应用于瑞典及其亚区,改进了生态足迹与生物承载力的计算方法^[14]。Vuuren 等(2000 年)计算与分析了贝宁、不丹、哥斯达黎加和荷兰等国家的生态足迹^[16]。生态足迹概念的提出及指标计算在国际可持续发展研究领域引起了极大的反响,《Ecological Economics》杂志 2000 年出版专集,对生态足迹指标理论及其优缺点进行了深入的讨论。正如 van den Bergh 等(1999)所指出的,尽管生态足迹指标在判定目前全球发展的可持续状况方面具有一定的价值,但在国家层次上它仍难以作为政策制定的充分依据^[17]。

生态足迹的概念 1999 年引入国内,生态足迹指标的有关应用研究也同时展开。张志强等(2000)介绍了生态足迹的概念及计算模型^[18],徐中民等(2000)计算了甘肃省 1998 年的生态足迹^[19],在国内最早开展了生态足迹指标的实证应用研究。

2 生态足迹指标理论及计算方法

人类对生态系统的影响与人类生存所使用的自然的量有关。生态足迹指标就是通过测定现今人类为了维持自身生存而利用自然的量来评估人类对生态系统的影响。生态足迹的计算是基于以下基本事实: 人类可以确定自身消费的绝大多数资源、能源及其所产生的废弃物的数量: 这些资源和废弃物流能折算成生产和消纳这些资源和废弃物流的生物生产面积或生态生产面积。因此, 任何已知人口(某个个人、一个城市或一个国家)的生态足迹就是其占用的生产这些人口所消费的资源 and 消纳这些人口所产生的废弃物所需要的生物生产土地和海洋的总面积。

2.1 生态足迹指标计算中的生物生产面积类型及其均衡化处理

在生态足迹指标计算中, 各种资源和能源消费项目被折算为耕地、草场、林地、建筑用地、化石能源土地和海洋(水域)等 6 种生物生产面积类型^[11, 12]。耕地是最有生产能力的土地面积类型, 提供了人类所利用的大部分生物量。草场的生产能力比耕地要低得多, 而从植物转化为动物生物量使人类损失了大约 10% 的生物量。由于人类对森林资源的过度开发, 全世界除了一些不能接近的热带丛林外, 现有林地的生物量生产能力大多较低。化石能源土地是人类应该留出用于吸收 CO_2 的土地, 但目前事实上人类并未留出这类土地, 出于生态经济研究的谨慎性考虑, 在生态足迹的计算中, 考虑了 CO_2 吸收所需要的化石能源土地面积。由于人类定居在最肥沃的土壤上, 因此建筑用地面积的增加意味着生物生产量的损失。海洋生物生产量的 95% 以上主要集中在约占全球海洋面积 8% 的海岸带, 并且目前海洋的生物生产量已接近最大。

由于这 6 类生物生产面积的生态生产力不同, 要将这些具有不同生态生产力的生物生产面积转化为具有相同生态生产力的面积, 以加总计算生态足迹和生态承载力, 需要对计算得到的各类生物生产面积乘以一个均衡因子(equivalence factor), 某类生物生产面积的均衡因子等于全球该类生物生产面积的平均生态生产力除全球所有各类生物生产面积的平均生态生产力。现采用的均衡因子分别为: 耕地、建筑用地为 2.8, 森林、化石能源土地为 1.1, 草地为 0.5, 海洋为 0.2^[11~14]。均衡因子为 2.8 表明生物生产面积的生物生产力是全球生态系统平均生产力的 2.8 倍, 取后者为 1。均衡处理后的 6 类生态系统的面积即为具有全球平均生态生产力的、可以相加的世界平均生物生产面积。

2.2 生态足迹的计算与分析

生态足迹指标的计算与分析步骤如下:

(1) 各种消费项目的人均生态足迹分量计算

计算公式为:

$$A_i = C_i/Y_i = (P_i + I_i - E_i)/(Y_i \times N) \quad (2-1)$$

式中 i 为消费项目的类型; Y_i 为生物生产土地生产第 i 种消费项目的年(世界)平均产量(kg/hm^2); C_i 为 i 种消费项目的人均消费量; A_i 为第 i 种消费项目折算的人均占有的生物生产面积(人均生态足迹分量)($\text{hm}^2/\text{人}$)。 P_i 为第 i 种消费项目的年生产量, I_i 为第 i 种消费项目年进口量, E_i 为第 i 种消费项目的年出口量, N 为人口数。

在计算煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等能源消费项目的生态足迹时, 将

这些能源消费转化为化石能源土地面积^[11~13]。将化石能源的利用转化为相应的土地面积,也就是估计以化石能源的消费同样的速率来构建自然资产所需要的土地面积。Wackernagel等^[11~13]所确定的煤、石油、天然气和水电的全球平均土地产出率分别为 55、71、93、1 000 GJ/hm²a, 据此可以将能源消费所消耗的热量折算成一定的化石能源土地面积。

(2) 生态足迹的计算

人均生态足迹为:

$$ef = r_j A_i = r_j (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 6) \quad (2-2)$$

式中 ef 为人均生态足迹 (hm²/人), r_j 为均衡因子。

区域总人口的生态足迹为:

$$EF = N \times (ef) \quad (2-3)$$

式中 EF 为总人口的生态足迹 (hm²/人), N 为人口数。

(3) 生态承载力 (生物承载力) 的计算

在生态承载力 (ecological capacity) 或生物承载力 (bio-capacity)^[11~14] 的计算中, 由于不同国家或地区的资源禀赋不同, 不仅单位面积耕地、草地、林地、建筑用地、海洋 (水域) 等的生态生产能力差异很大, 而且单位面积同类型生物生产面积的生态生产力也差异很大。因此, 不同国家和地区同类生物生产土地的实际面积是不能进行直接对比的, 需要对不同类型的面积进行调整。不同国家或地区的某类生物生产面积所代表的局地产量与世界平均产量的差异可用“产量因子” (yield factor)^[11~14] 表示。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, 如耕地面积的产量因子取为 1.66, 表明耕地的生物产出率是世界耕地平均产出水平的 1.66 倍。将现有的耕地、牧地、林地、建筑地、海洋等物理空间的面积乘以相应的均衡因子和当地的产量因子, 就可以得到带有世界平均产量的世界平均生态空间面积——生态承载力^[14]。同时出于谨慎性考虑, 在生态承载力计算时应扣除 12% 的生物多样性保护面积^[11~14]。

人均生态承载力:

$$ec = a_j \times r_j \times y_j \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 6) \quad (2-4)$$

式中 ec 为人均生态承载力 (hm²/人), a_j 为人均生物生产面积, r_j 为均衡因子, y_j 为产量因子。

区域生态承载力:

$$EC = N \times (ec) \quad (2-5)$$

式中 EC 为区域总人口的生态承载力 (hm²/人), N 为人口数。

(4) 生态赤字与生态盈余

生态足迹指标主要用来计算在一定的人口和经济规模条件下, 维持资源消费和废弃物消纳所必需的生物生产面积。生态足迹是每种消费资源的生物生产面积的总和, 是人口数和人均物质消费的函数。生态足迹测量了人类维持一定的消费水平所必需的生物生产面积, 将其同国家或区域范围所能提供的生物生产面积 (生物承载力) 进行比较, 就能为判断一个国家或区域的生产消费活动是否处于当地生态系统承载力范围内提供定量的依据。

生态足迹指标将人类消费的资源 and 能源折算成全球统一的、具有同等生态生产力的地域面积, 就可以进行不同区域的比较。区域的生态足迹如果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。区域的生态赤字或生态盈余, 反映了区域人口对自然资源的利用状况。

3 西部 12 个省 (区市) 1999 年的生态足迹计算

中国西部地区地域广阔, 西部地区 12 个省 (区市) 的总面积为 $688 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国陆地面积的 71.67%。其中, 西北地区 (包括内蒙古) 总面积 $427.77 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国的 44.56%; 西南地区 (包括广西) 总面积为 $260.27 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国的 27.11%。

西部地区是中国自然资源的富集区, 人口密度较低, 有较东部地区广阔的发展空间, 1999 年末西部地区 12 省个 (区市) 总人口为 3.57×10^8 人, 占全国总人口的 28.3%, 人口密度为 52 人/ km^2 。但西部地区经济发展明显滞后, 1999 年国内生产总值为 $15\,349.47 \times 10^8$ 元, 只占全国国内生产总值 (GDP) $82\,054 \times 10^8$ 元的 18.7%。

更重要的是, 西部地区是中国自然生态的极端脆弱区, 人地关系之间的矛盾十分突出, 面临着一系列的生态破坏及退化问题, 对全国的生态环境具有重要的跨区域性影响。研究西部地区的自然资源的利用状况、人类生存对区域生态系统的压力, 定量衡量西部地区发展的可持续性状况, 对西部地区乃至全国的可持续发展决策都具有重要意义。

3.1 陕西省 1999 年的生态足迹计算

3.1.1 陕西省 1999 年生态足迹 应用生态足迹指标的计算方法, 根据《陕西统计年鉴——2000 年》, 对陕西省 1999 年的生态足迹进行实际计算和分析。生态足迹计算主要由 2 部分组成: 生物资源的消费; 能源的消费。同时, 在生物资源的消费量、能源的消费量的足迹计算中, 均需考虑贸易调整部分。

生物资源消费部分包括农产品、动物产品、林产品、水果和木材等。生物资源生产面积折算的具体计算中采用联合国粮农组织 1993 年计算的有关生物资源的世界平均产量资料^[12, 13] (采用这一公共标准主要是使计算结果可以进行国与国、地区和地区之间的比较)。

能源消费部分根据资料计算煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等几种能源的足迹, 计算时将能源消费转化为化石能源土地面积。采用世界上单位化石能源土地面积的平均发热量为标准^[12, 13], 将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石能源土地面积。由于生态足迹指标的计算要求计算净消费量, 所以在生物资源和能源的消费额中考虑了贸易部分, 即应计算区

域人口的生物资源消费、能源消费的净消费额的生态足迹。

将以上对陕西省 1999 年的各种生物资源和能源的消费计算得到的各种生物生产面积类型进行汇总, 并对各种生物生

产面积乘以相应的均衡因子, 就得到了按世界平均生态空间计算的陕西省 1999 年的生态足迹 (表 1)。从表 1 可知, 要维持陕西省人口 1999 年的现状生活水平, 陕西省的人均生态足

表 1 陕西省 1999 年的生态足迹计算结果

Tab. 1 Ecological footprint of Shaanxi Province in 1999				
生产面积类型	人均面积 / (hm^2/cap)	均衡因子	人均均衡面积 / (hm^2/cap)	
耕 地	0.1089	2.8	0.3050	
草 地	0.4040	0.5	0.2020	
森 林	0.0381	1.1	0.0419	
化石能源	0.4645	1.1	0.5110	
建筑用地	0.0089	2.8	0.0251	
海洋 (水域)	0.0031	0.2	0.0006	
人均生态足迹			1.0856	

注: 计算所用的生物资源和能源消费项目数据来自《陕西统计年鉴——2000》。因计算表格太大无法列出, 这里只汇总列出了各类生物生产面积的计算结果。

迹为 1.0856 hm²。

3.1.2 陕西省 1999 年的生态承载力 陕西省 1999 年现状拥有耕地 504.4 × 10⁴ hm², 森林 497.35 × 10⁴ hm², 草地 318.1 × 10⁴ hm², 水域 40.4 × 10⁴ hm², 各类生物生产面积的人均拥有量数据见表 2, 这是 1999 年陕西省能够供给的生物生产面积。对人均拥有的各类生物生产面积乘以均衡因子和产量因子, 就可以转化为按世界平均生态空间计算的陕西省 1999 年人均生态承载力 (表 3)。产量因子依据 Wackernagel 等 (1997, 1999) 对中国生态足迹计算时的取值^[12, 13]。

表 2 陕西省 1999 年可利用的生物生产面积及人均生物生产面积

Tab. 2 The biologically productive area of Shaanxi Province in 1999			
生产面积类型	面积 / (10 ⁴ hm ²)	占全省 总面积/%	人均生产面积 / (hm ² /cap)
耕 地	504.40	24.50	0.1394
森 林	497.30	524.10	0.1375
草 地	318.10	15.50	0.0879
水 域	40.40	1.96	0.0112

注: 资料来自《陕西统计年鉴—2000》, 中国统计出版社, 2000。

(为 0.1011 hm²), 则可利用的人均生态承载力为 0.7416 hm²。因此, 陕西省 1999 年人均生态足迹赤字为 0.344 hm²。

表 3 陕西省 1999 年生态足迹与生态承载力计算结果汇总表

Tab. 3 Ecological footprint and ecological capacity of Shaanxi province in 1999							
人均生态足迹				人均生态承载力			
土地类型	人均面积 / (hm ² /cap)	均衡因子	均衡面积 / (hm ² /cap)	土地类型	人均面积 / (hm ² /cap)	均衡因子	均衡面积 / (hm ² /cap)
耕 地	0.1089	2.8	0.3050	耕 地	0.1394	1.66	0.6480
草 地	0.4040	0.5	0.2020	草 地	0.0879	0.19	0.0084
森 林	0.0381	1.1	0.0419	森 林	0.1375	0.91	0.1376
化石能源	0.4645	1.1	0.5110	CO ₂ 吸收	0.0000	0.00	0.0000
建筑用地	0.0089	2.8	0.0251	建筑用地	0.0100	1.66	0.0465
海洋 (水域)	0.0031	0.2	0.0006	海洋 (水域)	0.0112	1.00	0.0022
人均生态足迹			1.0856	人均生态承载力			0.8427
				减去生物多样性保护面积 (12%)			0.1011
				可利用的人均生态承载力			0.7416

* 建筑用地面积的供给、产量因子取自文献 [12, 13] 中的中国平均值。

3.2 西部 12 省 (区市) 1999 年的生态足迹计算结果与分析

根据生态足迹指标的计算方法和上述对陕西省 1999 年的生态足迹的计算过程, 依据西部地区 12 省 (区市) 2000 年统计年鉴的数据, 对西部地区 12 省 (区市) 1999 年的生态足迹进行实际计算 (表 4, 图 1、2、3)。由计算结果 (表 4) 可知, 1999 年西部地区 12 省 (区市) 中只有云南和西藏的人均生态足迹为盈余, 云南人均生态足迹盈余为 0.145 hm²、西藏为 5.431 hm²; 其余 10 省 (区市) 的人均生态足迹均为赤字。生态赤字最大的新疆和贵州的人均生态赤字分别为 1.261 hm² 和 0.876 hm²。

表 4 中国西部 12 省 (区市) 1999 年的生态足迹与生态承载力

Tab. 4 The ecological footprints and ecological capacities of the 12 provinces of West China (up-dated Dec , 1999)

省 (区市)	1999 年末 总人口 / (10 ⁴ 人)	人 均 生态足迹 / (hm ² /cap)	人 均 生态承载力 / (hm ² /cap)	人均生态 盈余/赤字 / (hm ² /cap)	总的生态 盈余/赤字 / (万 hm ²)	万元 GDP 的 生态足迹 / (hm ² /万元 GDP)
陕西	3 618.00	1.086	0.742	- 0.344	- 1 244.60	2.641
甘肃	2 542.58	1.337	0.806	- 0.531	- 1 350.49	3.596
青海	509.80	1.573	1.173	- 0.401	- 204.21	3.365
宁夏	543.29	1.278	1.099	- 0.179	- 97.00	2.875
新疆	1 775.00	2.413	1.152	- 1.261	- 2 238.93	3.665
四川	8 358.60	0.951	0.385	- 0.566	- 4 731.22	2.141
重庆	3 072.34	1.042	0.303	- 0.738	- 2 268.77	2.163
贵州	3 710.06	1.228	0.352	- 0.876	- 3 251.48	4.998
云南	4 192.40	0.477	0.622	0.145	607.31	1.078
西藏	255.51	2.153	7.584	5.431	1 387.75	5.208
内蒙古	2 361.92	2.371	2.353	- 0.018	- 41.28	4.415
广西	4 713.00	1.022	0.425	- 0.597	- 2 814.06	2.466
合计	35 652.50	1.172	0.703	- 0.469	- 16 246.99	2.721

注: 计算中所用的人口、生物资源和能源消费项目数据、生物生产面积、GDP 数据均来自各省 (区市) 2000 年统计年鉴。因资料原因, 在生态承载力计算中贵州、广西未包括草地, 重庆、贵州和西藏未包括水域。

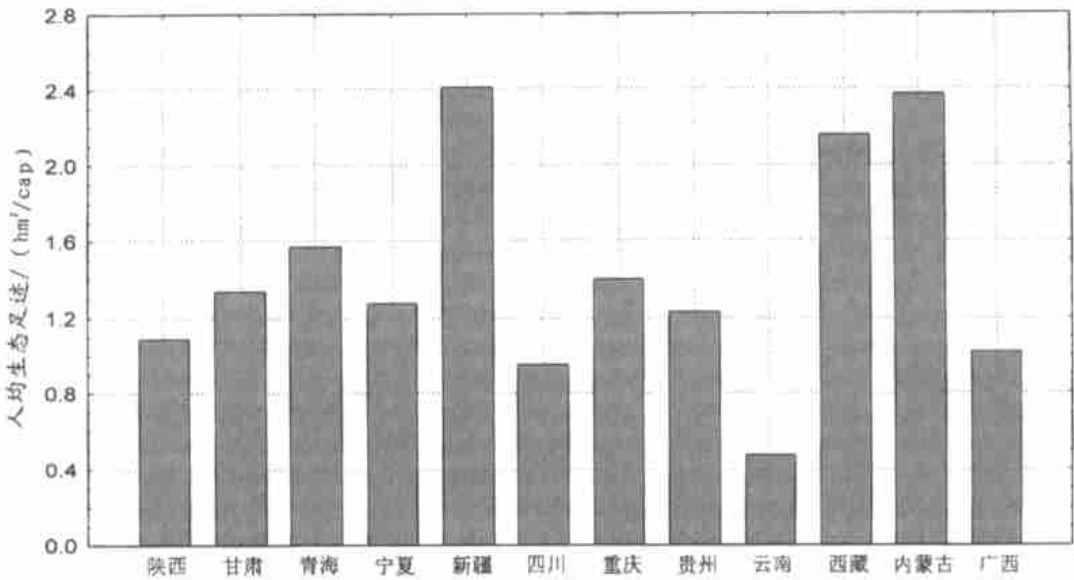


图 1 西部 12 省 (区市) 1999 年的人均生态足迹

Fig. 1 The ecological footprints per capita of the 12 provinces of West China (up-dated Dec , 1999)

3. 2. 1 西部 12 省 (区市) 的生态足迹与可持续性状况 分析西部地区 12 省 (区市) 的生态足迹的计算结果, 可以得出西部 12 个省 (区市) 发展的可持续性状况的以下结论:

(1) 在西部地区 12 省 (区市) 中, 人均生态足迹云南为 0.477 hm², 低于其 0.622 hm² 的人均生态承载力; 西藏为 2.153 hm², 低于其 7.584 hm² 的人均生态承载力, 在省 (区市) 尺度上处于可持续状况。其他 10 省 (区市) 的人均生态足迹均高于其相应的人均生态承载力, 因此在省 (区市) 尺度上均处于不可持续状况。

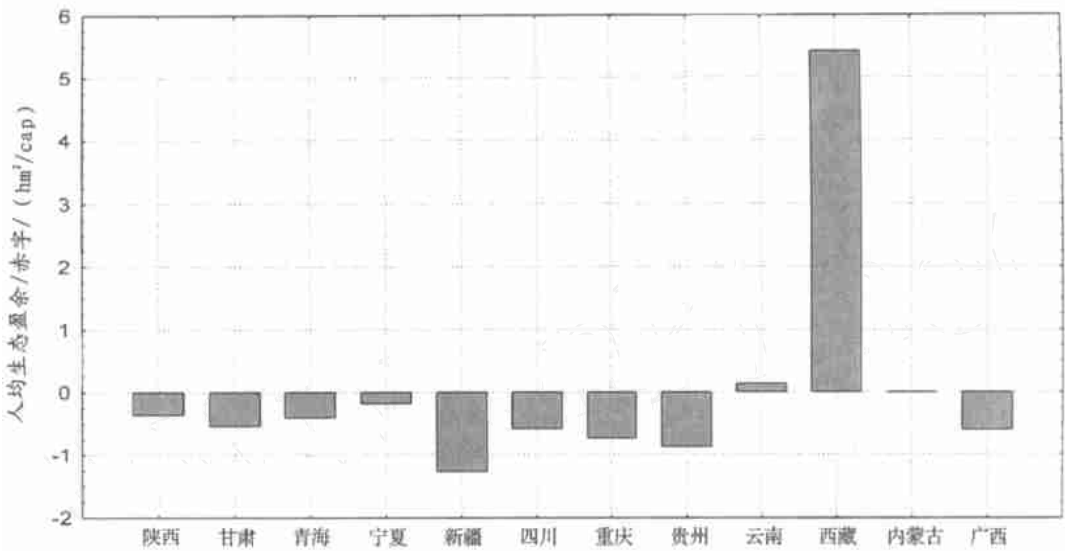


图 2 西部 12 个省 (区市) 1999 年人均生态赤字/盈余

Fig. 2 The ecological deficit / ecological surplus per capita of the 12 provinces of West China (up-dated Dec , 1999)

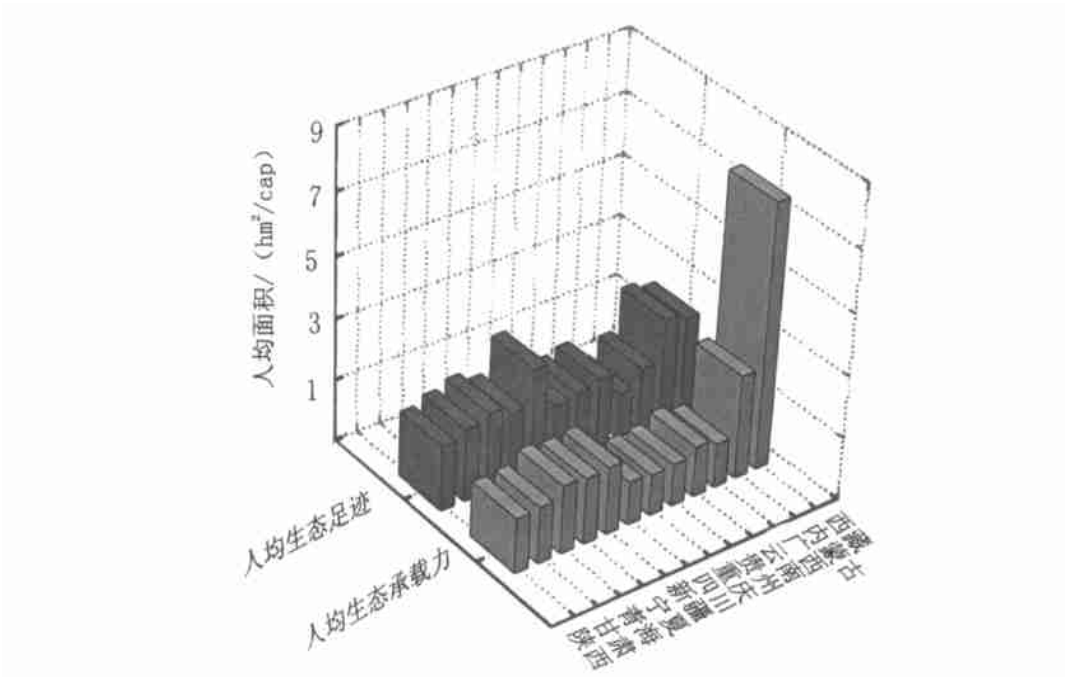


图 3 西部 12 省 (区市) 1999 年的人均生态承载力与人均生态足迹

Fig. 3 The ecological footprints and ecological capacities per capita of the 12 provinces of West China (up-dated Dec , 1999)

(2) 从 1997 年中国人均 0.8 hm^2 生物生产面积的生态阈值的角度看, 西部地区中云南

的人均生态足迹为 0.477 hm^2 , 低于全国人均生态阈值, 在国家尺度上处于可持续状况; 其余的 11 省(区市)的人均生态足迹均超过了全国人均生态阈值, 在国家尺度上均处于不可持续状况。

(3) 从 1997 年全球人均 2 hm^2 生物生产面积的生态阈值的角度看, 西部地区中新疆的人均生态足迹为 2.413 hm^2 , 西藏为 2.153 hm^2 , 内蒙古为 2.371 hm^2 , 超过了全球人均生态阈值, 在全球尺度上处于不可持续状况; 其余的 9 省(区市)的人均生态足迹低于全球人均生态阈值, 在全球尺度上处于可持续状况。

(4) 西部地区 12 省(区市)的人均生态足迹为 1.172 hm^2 , 人均生态赤字为 0.469 hm^2 。西部地区 12 省(区市)总人口的生态足迹赤字达 $162.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 该数据相当于新疆自治区的国土面积。这表明, 要维持西部地区 12 省(区市)人口的现有消费水平, 至少还需要 $162.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的全球平均空间的生物生产面积才能基本维持西部地区的生态平衡和实现弱可持续发展。

3.2.2 西部 12 省(区市)万元 GDP 的生态足迹与资源利用效率 人类的任何生产、生活活动都离不开生态系统, 生态足迹指标衡量在一定的经济技术条件下区域人口的消费和废弃物处理所占用的生物生产面积。特定区域的生物生产面积的生产潜力的大小, 决定着在一定的经济技术条件(特别是一定的消费水平和生活质量)下区域可支撑的人口数量。区域生物生产面积的生产潜力的大小可以反映区域生物生产面积的利用效率的高低。

为反映区域生物生产面积的利用效率, 本文将 1999 年各省(区市)总人口的生态足迹除以其国内生产总值(GDP), 从而计算得到了各省(区市)万元 GDP 的足迹需求(见表 4)。从表 4 可以看出, 西部地区 12 省(区市)的万元 GDP 的足迹需求差别较大, 从大到小依次为: 西藏为 5.208 hm^2 、贵州为 4.998 hm^2 、内蒙古为 4.415 hm^2 、新疆为 3.665 hm^2 、甘肃为 3.596 hm^2 、青海为 3.365 hm^2 、宁夏为 2.875 hm^2 、陕西为 2.641 hm^2 、广西为 2.466 hm^2 、重庆为 2.163 hm^2 、四川为 2.141 hm^2 、云南为 1.078 hm^2 。万元 GDP 的生态足迹越大, 表明生物生产面积的产出率越低。各省(区市)万元 GDP 的生态足迹的差异反映了各省(区市)在自然资源利用效益方面的明显差别, 而且很好地反映出各省(区市)的万元 GDP 的生态足迹与自然条件状况、土地生产潜力和区域经济发展水平密切相关。从各省(区市)生态足迹的计算结果可以看出, 区域经济发展水平越低的省份(如西藏、贵州等), 越是依赖农牧业经济, 工业经济不发达, 万元 GDP 的生态足迹需求越大; 自然生态环境严酷和自然资源条件越差(高寒环境, 戈壁沙漠, 山地丘陵等难以利用的土地分布面积广)的省份, 土地生产潜力越低, 万元 GDP 的生态足迹需求也越大。除了对区域生物生产面积的利用效率进行横向对比外, 还应进行纵向对比, 但目前尚无可资比较的公开发表的研究案例。

由表 4 可知, 1999 年西部 12 省(区市)万元 GDP 的生态足迹平均为 2.721 hm^2 , 而东部地区万元 GDP 的生态足迹为 1.291 hm^2 , 西部地区万元 GDP 的生态足迹是东部地区的 2.1 倍, 说明西部地区资源的利用效率要远低于东部地区。

4 结语与讨论

对中国西部地区 12 省(区市) 1999 年的生态足迹的计算结果表明, 除云南、西藏 2 个省(区) 的人均生态足迹为盈余外, 其余 10 个省(区市) 的人均生态足迹均为赤字。生态赤字的存在表明人类的消费需求超过了自然系统的再生能力, 反映出人类的生产、生活强度超过了生态系统的承载能力, 区域生态系统处于人类的过度开发利用和压力之下。由于西部地区进出口贸易量不大, 因而进出口贸易对生态足迹的影响不大, 因此主要是通过消耗自然资本存量来弥补生态承载力的不足。西部地区 12 个省(区市) 中除云南、西藏外的其余 10 个省(区市) 在省(区) 尺度上处于不可持续状况; 除云南外的其余 11 个省(区市) 在国家尺度上处于不可持续状况; 新疆、西藏、内蒙古 3 个省(区) 在全球尺度上处于不可持续状况。西部地区 12 个省(区市) 总人口的生态足迹赤字达 $162.5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 该数据相当于新疆自治区的国土面积。

通过本文的实证研究, 以下几个方面的因素会影响生态足迹指标的计算和评价结果:

(1) 生态足迹计算的数据基础是统计资料, 统计资料的准确与否直接决定着计算结果的正确与否和可信度。如各地区生态承载力的计算, 要求各地区各种生物生产面积的统计数据必须十分准确, 否则生态承载力的计算结果就会不正确。因此, 准确的统计资料不仅是生态足迹指标评估的关键, 也是可持续发展的其他指标评估研究的关键。

(2) 不同类型生物生产面积的均衡因子和产量因子对生态足迹的最终计算结果影响很大, 均衡因子国际上有统一的取值, 各地区不同类型生物生产面积的产量因子的确定需要有各地区各类生物生产面积的准确产量数据。缺乏各地区各类生物生产面积的产量因子数据而使用国家的统一产量因子, 会使区域的生态承载力计算出现误差。

(3) 在计算国家的生态足迹时, 进行贸易调整可以确定国家的净消费量。但在将国家的生态足迹核算应用到区域和地区级时, 只进行国际贸易的调整不能确定区域的净消费量, 因为国内贸易也影响区域的净消费量。因此, 在区域和地区级的生态足迹核算中, 需要更全面、更详细的关于区域和地区人类消费方面的统计资料。

生态足迹指标是一种基于现状静态数据的分析方法, 其计算结果不能反映未来的发展趋势, 其所得结论具有瞬时性。同时, 生态足迹指标基于各国或地区人口的现有消费水平计算各国或地区人口所占有的生态足迹, 而忽略了各国或地区人口的消费水平和生活质量的差异, 因而缺乏对发展的公平性的周密考虑。这些问题, 都需要生态足迹指标核算的不断完善予以解决。

参考文献(References):

- [1] Zhang Zhiqiang, Sun Chengquan, Cheng Guodong et al. Progresses and trends of sustainable development research[J]. *A dvance in Earth Sciences*, 1999, 14(6): 589-595 (in Chinese) [张志强, 孙成权, 程国栋等. 可持续发展研究: 进展与趋向[J]. 地球科学进展, 1999, 14(6): 589-595]
- [2] Meadow s D, Meadow s D, Randers J et al *L in its to Growth* [M] New York: Universe Books, 1972
- [3] Meadow D, Meadow s D, Randers J. *Beyond the L in its* [M] Toronto: McClelland & Stewart Inc, 1992
- [4] Holdren J, Ehrlich P. Human population and the global environment[J] *Am Sci*, 1974, 62: 282-292

- [5] Whittaker R H. Communities and Ecosystems[M]. New York: Macmillan Publishing, 1975
- [6] Lieth H, Whittaker R H, eds. The Primary Productivity of the Biosphere[M]. New York: Springer, 1975
- [7] Vitousek P M, Ehrlich P R, Ehrlich A H et al. Human appropriation of the products of photosynthesis[J]. *Bioscience*, 1986, **34**(6): 368-373
- [8] Odum H T. Ecological and General Systems[M]. Revised edition. Boulder: University of Colorado Press, 1994
- [9] Christian A C, Holmberg J, Lindgren K. Socio-ecological indicators for sustainability[J]. *Ecological Economics*, 1996, **18**: 89-112
- [10] Costanza R, d'Arge R, Rudolf de Groot et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, **387**: 253-260
- [11] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996
- [12] Wackernagel M, Onisto L, Bello P et al. Ecological Footprints of Nations: How much nature do they use? How much nature do they have? [R]. Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. International Council for Local Environmental Initiatives, Toronto, 1997
- [13] Wackernagel M, Onisto L, Bello P et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. *Ecological Economics*, 1999, **29**(3): 375-390
- [14] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: applications in Sweden and subregions[J]. *Ambio*, 1999, **28**(7): 604-612
- [15] Folke C, Jansson A, Larsson J et al. Ecosystem appropriation by cities[J]. *Ambio*, 1997, **26**(3): 167-172
- [16] Van Vuren D P, Smeets E M W. Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands[J]. *Ecological Economics*, 2000, **34**: 115-130
- [17] Van den Bergh J C J M, Verbruggen H. Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint[J]. *Ecological Economics*, 1999, **29**(1): 61-72.
- [18] Zhang Zhiqiang, Xu Zhongmin, Cheng Guodong. Review on the concept and computable model of ecological footprints[J]. *Ecological Economics*, 2000, (10): 8-10 (in Chinese) [张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型评介[J]. 生态经济, 2000, (10): 8-10]
- [19] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Cheng Guodong. The calculation & analysis of ecological footprints of Gansu province in 1998[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(5): 607-616 (in Chinese) [徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析. 地理学报, 2000, **55**(5): 607-616]

The Ecological Footprints of the 12 Provinces of West China in 1999

ZHANG Zhi-qiang^{1,2}, XU Zhong-min¹, CHENG Guo-dong¹, CHEN Dong-jing¹

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. Scientific Information Center for Resources and Environment, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The quantitative measurement of sustainable development has become one of the frontiers of sustainable development research since the sustainable development concept was put forward. The ecological footprint indicator, put forward and developed by W. E. Rees and M. Wackernagel since the early 1990s, is to measure the human impact on the earth and judge whether the human load stays within global carrying capacity. The ecological footprint of any defined population (from a single individual to that of a whole

city or country) is the total area of ecologically productive land and sea occupied to produce all the resources and services consumed and to assimilate all the wastes generated by that population.

With an area of about $6.88 \times 10^6 \text{ km}^2$ which accounts for 71.67% of the total land area of China and 3.57×10^8 people accounting for 28.3% of the total population of China, the 12 provinces of West China have relatively low population density, and are abundant in natural resources but backward in economic development. It is important to study the usage status of natural resources and sustainability of the 12 provinces of West China.

Based on the introduction to the concept and calculation method of ecological footprint indicator, the authors calculate and analyze the ecological footprints of the 12 provinces of West China in 1999 according to the data of the statistical yearbooks of these provinces. According to this calculation, Yunnan Province and the Tibet Autonomous Region were the two provinces with ecological surplus, the other 10 provinces were all with ecological deficit. The ecological surplus of Yunnan and Tibet were 0.145 hm^2 and 5.431 hm^2 per capita, respectively. The Xinjiang Uygur Autonomous Region and Guizhou Province were the two provinces that have the largest ecological deficit, 1.261 hm^2 and 0.876 hm^2 per capita, respectively.

The ecological footprint and ecological deficit per capita of the 12 provinces of West China in 1999 were 1.172 hm^2 and 0.469 hm^2 , respectively. The total ecological footprint deficit of the 12 provinces of West China in 1999 is $1.625 \times 10^6 \text{ km}^2$, which is equivalent to the area of the Xinjiang Uygur Autonomous Region. The ecological footprint deficit shows that the human load has already stayed beyond the regional bio-capacity, and the regional natural ecosystem is under great pressure of human activities.

We also point out the sustainability of the 12 provinces of West China according to the results of ecological footprints, and analyze the use efficiency of natural resources by calculating the ecological footprint needs of gross domestic product (GDP), the result was 2.721 hm^2 per 10^4 RMB yuan GDP. In the end, the paper also analyses some problems in the calculation of the ecological footprint indicator.

Key words: measurement of sustainable development; ecological footprint; ecologically productive area; bio-capacity; ecological surplus; ecological deficit; West China