

# 动态生态足迹的测度与分析\*

## ——陕西省可持续发展研究

王伟, 韦苇

(西北大学, 陕西 西安 710127)

**摘要:**生态足迹模型是一个很好的测度可持续发展的工具,能非常直观地表现可持续发展状况。比较陕西省1999—2005年人均生态足迹和人均生态承载力,陕西省的经济发展存在生态赤字,说明其发展是对资源的过度开发为代价的,特别是对可再生资源(主要是草场)和不可再生资源(煤、石油、天然气)的过度开发程度已经相当严重。

**关键词:**生态足迹;生态承载力;可持续发展;生态赤字;陕西

**中图分类号:**F224.9

**文献标识码:**A

**文章编号:**1008-6439(2007)04-0052-05

## Measurement and analysis of dynamic ecological footprint

—Research into sustainable development of Shaanxi Province

WANG Wei, WEI Wei

(Northwest University, Shaanxi Xi'an 710127, China)

**Abstracts:** The ecological footprint model is a good tool to measure sustainable development and can objectively show the status quo of sustainable development. Comparison of per capita ecological footprint and per capita ecological bearing capacity of Shaanxi Province during 1999-2005 finds that the economic and social development of Shaanxi Province has ecological deficit and that the development of Shaanxi is at the price of excessive exploitation of resources and, especially, that the excessive exploitation of reproducing resources such as grassland and non-reproducing resources such as coal, petroleum and natural gas is worse.

**Key words:** ecological footprint; ecological bearing capacity; sustainable development; ecological deficit; Shaanxi

可持续发展要求在经济增长的同时必须考虑生态因素,在这种背景下,加拿大经济学家 William Rees 和他的学生 Wackernagel 于 1992 年提出生态足迹模型,并于 1996 年由 Wackernagel 等人进一步完善。生态足迹(Ecological Footprint,缩写为 EF,也称生态空间占用)模型通过估算特定区域内的消费及吸收废弃物排放所需要的生态生产性面积,并与该区域能够提供的生态生产性面积进行比较,来衡量区域经济发展的可持续状况。最近 Wackernagel 等人采用一种改进的动态方法对奥地利、菲律宾和韩国三个国家从 1961 年到 1999 年的生态足迹进行

了动态分析,该方法考虑了生产能力的变化,在计算过程中使用了动态均衡因子(Equivalence factor)和产量因子(Yield factor),弥补了此前模型的不足。生态足迹模型于 1999 年被引入我国,生态足迹指标的应用研究由此展开,张志强等人率先对我国西部地区 1998 年生态足迹进行了实证分析。本文应用生态足迹方法的最新研究成果,对陕西省进行动态生态足迹分析。

### 一、研究方法

#### (一)生态足迹和生态足迹模型

生态足迹是指在现有技术条件下,按空间面积

\* 收稿日期:2007-05-27

作者简介:王伟(1979—),男,河北保定人,西北大学经济管理学院,研究生。

韦苇(1948—),女,陕西户县人,西北大学中国西部经济发展研究中心,教授,博士生导师。

计量的支持一个特定地区的经济和人口的物质、能源消费和废弃物处理所要求的土地和水等自然资源的数量。生态足迹的计算是基于以下2个基本假设: 第一, 人类可以确定自身消费的绝大多数资源及其所产生的废物的数量; 第二, 这些资源和废弃物能转换成相应的生物生产性面积。生物生产性面积是指具有一定生态生产能力的土地及水体, 一旦采用生态生产能力来衡量土地时, 不同地域间的土地可以用相同的单位——全球性公顷(hm<sup>2</sup>)来表示。也就是说, 每单位不同地区的土地面积, 根据产出能力的不同, 都可以转化为全球均衡面积比较。这也就意味着, 每单位的全球均衡面积代表着相同的生态生产能力(全球平均生态生产力)。因此, 任何已知人口(某地区、某个城市或某个国家)的生态足迹可根据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弃物所需要的生物生产性总面积来计算, 其中生物生产性土地面积分为6种类型: 化石燃料土地、可耕地、林地、草场、建筑用地和水域。考虑到各类土地之间生产力的差异, 分别赋予它们1.1、2.8、1.1、0.5、2.8、0.2的权重。根据上述理论和概念, 生态足迹计算方法的主要步骤如下: (1) 划分消费项目, 计算各主要消费项目的消费量。(2) 利用平均产量数据, 将各消费量折算为生态生产性土地面积。(3) 通过当量因子把各类生态生产性土地面积转换为等价生产力的土地面积, 将其汇总加和, 进行贸易调整, 计算出生态足迹的大小。(4) 通过产量因子计算生态承载力, 与生态足迹比较, 分析可持续发展的程度。

生态足迹的一般模型为:

$$EF = Nef = N \sum (aa_i) = N \sum (c_i/p_i) \quad (i = 1, 2 \dots n)$$

式中:  $i$  为消费资源的类别;  $p_i$  为第  $i$  种消费资源的平均生产能力;  $c_i$  为第  $i$  种资源的人均消费量;  $aa_i$  为第  $i$  种消费资源折算的人均生产性土地面积;  $N$  为人口数;  $ef$  为人均生态足迹;  $EF$  为总的生态足迹。

动态生态足迹的模型为:

$$EF_{ij} = \frac{(DE_{ij} + IM_{ij} - EX_{ij})}{Yglob_{ij}}$$

$$(i = 1, 2 \dots n; j = 1, 2 \dots n)$$

式中:  $EF_{ij}$  为第  $i$  种资源  $j$  年的生态足迹;  $DE_{ij}$  为第  $i$  种资源  $j$  年的生产量;  $IM_{ij}$  为第  $i$  种资源  $j$  年的进口量;  $EX_{ij}$  为第  $i$  种资源  $j$  年的出口量;  $Yglob_{ij}$  为第  $i$  种资源  $j$  年的世界平均生产能力。

生态足迹核算中主要计算生物资源和能源的

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其细类。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。因此总生态足迹为:

$$EF = \sum (EF_{ij} \cdot EQ_{jk}) \quad (k = 1, 2 \dots p)$$

式中:  $EQ_{jk}$  为第  $k$  类土地  $j$  年的均衡因子。

### (二) 生产足迹

生产足迹是 Wackernagel 等人提出的一个新概念, 它是资源生产量和土地平均生产能力的比值, 即不考虑进出口时的生态足迹。其模型为:

$$PF_{ij} = \frac{DE_{ij}}{Yglob_{ij}} \quad (i = 1, 2 \dots n; j = 1, 2 \dots n)$$

式中:  $PF_{ij}$  为第  $i$  种资源  $j$  年的生产足迹。

### (三) 生态承载力

生态承载力为一个地区所能提供给人类的生态生产性土地面积的总和, 用来表征该地区的生态容量。生态承载力模型为:

$$Ecloc_j = \sum 0.88 \left( \frac{Yloc_{jk}}{Yglob_{jk}} \right) \cdot EQ_{jk} \cdot aloc_{jk} \quad (j = 1, 2 \dots n; k = 1, 2 \dots p)$$

式中:  $Ecloc_j$  为国家或地区  $j$  年的生态承载力;  $Yloc_{jk}$  为国家或地区第  $k$  类土地  $j$  年的平均生产能力;  $Yglob_{jk}$  为全球第  $k$  类土地  $j$  年的平均生产能力;  $(Yloc_{jk}/Yglob_{jk})$  为国家或地区第  $k$  类土地  $j$  年的产量因子;  $aloc_{jk}$  为国家或地区第  $k$  类土地  $j$  年的面积; 0.88 为常数项, 按照世界环境与发展委员会(WCED)的报告《我们共同的未来》中的建议, 留出12%的生物生产性土地面积以保护生物的多样性。

以上是生态足迹模型的三个基本指标, 彼此存在内在联系: 如果一个地区的生态足迹大于其生态承载力, 则该地区的生态足迹表现为生态赤字, 说明该地区的发展处在不可持续状态; 相反, 则该地区的生态足迹表现为生态盈余, 该地区的发展是可持续的。如果一个地区的生产足迹大于其生态承载力说明该地区对可再生资源过度开发与利用; 相反, 则该地区的资源仍有开发与利用的潜力。如果一个地区的生态足迹大于其生产足迹, 说明该地区的物质生产量不能满足需求; 相反, 则该地区的物质生产能够满足需求。

## 二、陕西省动态生态足迹计算与分析

基于以上分析, 现利用《2006 陕西统计年鉴》数据, 以陕西省 2005 年生态足迹为例, 进行分析。

### (一) 生物资源足迹

生物资源消费为农产品、动物产品、林产品、水果和木材等大类, 各大类下还有一些细分类。生物资源生产性面积折算的具体计算, 采用联合国粮农组织 1993 年有关生物资源的世界平均产量(主要是为了计算结果可以进行国家之间和地区之间的比较)。生物资源消费的计算方法为:

$$EF_i = (P_i + I_i - E_i) / Y_{average}$$

式中:  $EF_i$  为  $i$  种资源消费的足迹;  $P_i$  为  $i$  种资源消费的总生产量;  $I_i$  为  $i$  种资源消费的进口量;  $E_i$  为  $i$  种资源消费的出口量;  $Y_{average}$  是世界上  $i$  种生物资源的平均产量(由于陕西地处内陆, 为了计算方便, 本文将进出口量忽略不计)。

将陕西省 2005 年的生物资源消费转化为提供这类消费所需要的生态生产性土地面积(见表 1)。

表 1 陕西省 2005 年生态足迹计算中的生物资源账户组分

分类	全球平均产量 / kg · hm <sup>-2</sup>	陕西省产量 /t	总足迹 /hm <sup>2</sup>	人均足迹 /hm <sup>2</sup>	足迹类型
小麦	2 744	4 012 000	1 462 099	0.039 303 74	耕地
稻谷	2 744	793 000	288 994.2	0.007 768 66	耕地
玉米	2 744	4 701 000	1 713 192	0.046 053 56	耕地
高粱	1 000	47 800	47 800	0.001 284 95	耕地
大豆	1 856	317 900	171 282.3	0.004 604 36	耕地
棉花	1 000	77 800	77 800	0.002 091 40	耕地
油菜子	1 856	303 300	163 415.9	0.004 392 90	耕地
花生	1 856	75 800	40 840.52	0.001 097 86	耕地
麻类	1 500	900	600	0.000 016 13	耕地
糖料	18 000	3 000	166.667	0.000 004 48	耕地
烤烟	1 548	58 800	37 984.5	0.001 021 09	耕地
蔬菜	18 000	8 699 300	483 294.4	0.012 991 79	耕地
水果	18 000	7 657 393	425 410.7	0.011 435 77	耕地
茶叶	1 000	11 382	11 382	0.000 305 97	耕地
猪肉	74	996 990	13 472 840	0.362 173 06	草地
牛肉	33	118 784	3 597 394	0.096 704 14	草地
羊肉	33	93 368	2 829 333	0.076 057 35	草地
禽肉	33	131 994	3 999 818	0.107 521 99	草地
奶类	502	1 417 335	2 823 376	0.075 897 22	草地
禽蛋产量	400	487 289	1 218 223	0.032 747 92	草地
油桐籽	3 000	12 562	4 187.33	0.000 112 56	林地
五倍籽	1 000	1 963	1 963	0.000 052 77	林地
核桃	3 000	55 206	18 402	0.000 494 68	林地
板栗	3 000	27 855	9 285	0.000 249 60	林地
花椒	945	28 178	29 817.99	0.000 801 56	林地
纸板	0.53	400 200	755 094.3	0.020 298 23	林地
水产品产量	29	73593	2 537 690	0.068 217 46	水域

(二) 能源生态足迹

能源平衡账户部分根据资料包括如下几种能源: 煤炭、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等项目。计算生态足迹时将能源的消费转化为化石

燃料生产性土地面积, 采用世界上单位化石燃料生产性土地面积的平均发热量为标准, 将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石燃料生产性土地面积(见表2)。

表2 陕西省2005年生态足迹计算中的能源账户组分

能源种类	全球平均能源足迹 GJ/hm <sup>2</sup>	折算系数 GJ/t	消费量 t	人均消费量 GJ/人	人均生态足迹 hm <sup>2</sup> /人	生产面积类型
原煤	55	20.934	55 188 000	24.510 844 01	0.445 651 709	化石燃料用地
焦炭	55	28.47	2 510 999	1.921 724 235	0.034 940 441	化石燃料用地
原油	93	41.868	12 424 199	13.983 235 58	0.150 357 372	化石燃料用地
汽油	93	43.124	1 967 000	2.280 239 462	0.024 518 704	化石燃料用地
煤油	93	43.124	348 100.5	0.403 534 569	0.004 339 081	化石燃料用地
柴油	93	42.705	1 802 801	2.069 586 471	0.022 253 618	化石燃料用地
天然气	93	38.978	2 278 000	2.386 878 602	0.025 665 361	化石燃料用地
电力	1 000	11.84	573 700	0.182 596 989	0.000 182 597	建筑用地

(三) 生态足迹与生态承载力计算结果

根据以上数据, 利用本文第二部分介绍的生态

足迹和生态承载力的模型分别计算陕西省2005年的人均生态足迹和人均生态承载力(见表3)。

表3 陕西省2005年生态足迹与生态承载力计算结果

人均生态足迹			
土地类型	人均面积 hm <sup>2</sup> /人	均衡因子	人均均衡面积 hm <sup>2</sup> /人
耕地	0.132 372 66	2.8	0.370 643 448
林地	0.022 009 39	1.1	0.024 210 329
草地	0.751 101 67	0.5	0.375 550 835
化石燃料	0.707 726 00	1.1	0.778 498 600
建筑用地	0.000 182 60	2.8	0.000 511 272
水域	0.068 217 46	0.2	0.013 643 492
人均生态足迹			1.563 057 976
人均生态承载力			
土地类型	人均面积 hm <sup>2</sup> /人	产出因子	人均均衡面积 hm <sup>2</sup> /人
耕地	0.109 919 35	1.66	0.510 905 14
林地	0.206 333 33	0.91	0.187 763 33
草地	0.084 946 42	0.19	0.008 069 91
建筑用地	0.021 478 49	1.66	0.099 832 02
水域	0.010 806 45	1.00	0.002 161 29
CO <sub>2</sub> 吸收	0	0	0
总生态承载力			0.808 761 69
生物多样性保护 12%			0.097 051 40
总可利用生态承载力			0.711 710 29

(四) 陕西省 1999—2005 年生态足迹

据陕西省历年有关统计年鉴数据, 计算出 1999—2005 年总生态足迹和总可利用生态承载力, 具体数据如表 4:

表 4 陕西省 1999—2005 年生态足迹

时间	总生态足迹	总可利用生态承载力	生态赤字
1999	0.952 573 797	0.794 137 405	0.158 436 392
2000	0.941 802 073	0.761 410 546	0.180 391 527
2001	0.984 798 969	0.768 724 548	0.216 074 421
2002	1.081 063 46	0.746 392 649	0.334 670 811
2003	1.188 459 803	0.714 322 379	0.474 137 424
2004	1.384 425 859	0.701 215 117	0.683 210 742
2005	1.563 057 976	0.711 710 290	0.851 347 676

(五) 生态赤字与陕西省可持续发展分析

由以上计算结果可知, 2005 年陕西省的人均生态足迹为 1.563 057 976  $\text{hm}^2$ , 而实际生态承载力为 0.711 710 296  $\text{hm}^2$ , 人均生态赤字为 0.851 347 676  $\text{hm}^2$ , 人均生态足迹是人均生态承载力的 2.2 倍。从 1999—2005 年的计算结果可以看出, 陕西省的生态赤字呈现不断增大的趋势, 1999 年生态赤字仅为 0.158 436 392, 2002 年为 0.334 670 811。生态赤字的存在表明人类对自然的影响超出了其生态承载能力的范围。可以认为当前陕西省的发展是通过消耗自然资本存量来弥补生态承载力的不足, 其发展模式处于一种不可持续的状态。

从生态足迹成分来看, 各土地类型的人均生态足迹之间存在着较大的差异。各土地类型的生态赤字由大到小的顺序依次为化石燃料用地、草地、水域。人均化石燃料用地生态赤字最大的原因是目前并没有专门的用地来吸收能源消费过程中排放的  $\text{CO}_2$ ; 草地生态足迹为赤字, 则反映了陕西省过度发展畜牧业, 造成草地过度消耗; 水域生态足迹为赤字, 说明了陕西省存在水域过度开发的现象, 是过度索取水资源造成的后果。由于在生态承载力的计算中采用世界平均水平作为参照, 人均耕地

和人均建筑用地表现为生态盈余, 这也恰恰反映了我们在农业生产力、农业开发和农业现代化以及城市基础设施和城市化水平方面与世界的差距。而林地的生态盈余则反映了近几年陕西在实施“山川秀美工程”上取得的巨大成就。

三、结论

从以上分析可以看出, 陕西省的经济社会发展存在生态赤字, 说明其发展是不可持续的。同时, 生态足迹模型也是分析可持续发展的一种很好的工具, 通过实证分析陕西省的具体情况, 可以更好地认清现状和制定今后的可持续发展战略。

(1) 生态足迹模型是一个很好的测度可持续发展的工具, 能非常直观地表现可持续发展状况。通过对陕西省近年来生态足迹的实证分析, 结果接近实际; 但过程复杂、繁琐, 对统计数据的准确性、全面性、统一性有较高的要求, 增加了在较小区域(如市、县)上应用的难度。

(2) 陕西省的社会经济发展处于不可持续状态, 其发展是以对资源的过度开发为代价的, 特别是对可再生资源(主要是草场)和不可再生资源(煤、石油、天然气)的过度开发程度已经相当严重。

参考文献:

- [1] Wackernagel. Our Ecological Footprint Reducing Human Impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [2] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外进展 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776-782.
- [3] 杨开忠, 杨咏, 陈浩. 生态足迹分析与方法 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630-636.
- [4] 徐中民, 陈东景, 张志强, 等. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280-285.
- [5] 王书华, 王忠静. 基于生态足迹模型的山区生态经济协调发展定量评估 [J]. 山地学报, 2003, 21(3): 324-330.
- [6] 王书华, 张义丰, 王忠静, 等. 基于生态足迹模型的城郊经济协调发展定量评估 [J]. 地理与地质学报, 2003, 19(1): 78-82.

(责任编辑: 夏 冬)