

西安生态足迹计算与分析

张新主, 曹明明

(西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069)

摘要: 生态足迹是近来测度生态可持续发展的一种定量方法, 也是一种用来度量人类活动对生态系统压力和影响的一条新途径。对西安市 2001 年的生态足迹进行了计算, 并与一些国家和地区进行了比较。结果表明, 2001 年西安地区的生态足迹为 $1.04 \text{ hm}^2/\text{人}$, 当地的生态承载力为 $0.13 \text{ hm}^2/\text{人}$, 生态足迹是生态承载力的 7.94 倍。而西安市的生态足迹为 $1.28 \text{ hm}^2/\text{人}$, 为西安市域生态足迹的 9.75 倍。西安市的生态足迹略高于中国人均生态足迹 ($1.20 \text{ hm}^2/\text{人}$), 但与其它国家或地区相比较, 西安市的生态足迹比较低, 这与经济越发达则生态足迹越大相一致。这说明西安市的经济仍不太发达, 需要大力发展经济, 同时应积极改善城市生态环境, 实现城市的可持续发展。

关键词: 西安; 生态足迹; 生态承载力; 可持续发展

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2005)02-0092-05 中图分类号: X171.1; F299.21

Calculation and Analysis of Ecological Footprint of Xi'an City

ZHANG Xin-zhu, CAO Ming-ming

(Urban and Resource Department, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China)

Abstract: The concept of the "Ecological Footprint" (EF) is used to quantify the ecological sustainability of human development. It permits estimation of the pressure and impact of human activities on ecosystems. The EF can be applied to urban ecological studies, to determine the impacts of concentrated human settlement. This study calculated the EF of Xi'an in 2001 and compared the result with the EF of a few other countries and regions. The EF of the Xi'an area was estimated at 1.0 ha per person. The ecological carrying capacity of the Xi'an area is calculated to be 0.13 ha per person. Therefore, the EF of the Xi'an area is 7.9 times the area's ecological carrying capacity. The EF of Xi'an City is 1.3 ha per person, which is 9.75 times more than the city's ecological carrying capacity. The EF of Xi'an City is slightly higher than the average EF of China, but it is lower than that of some other countries and regions. The results support an argument that EF increases with higher levels of development. The results similarly support an argument that Xi'an is relatively underdeveloped. The need for further economic development should be balanced with improved ecological conditions and reduced development impact in order to ensure the sustainability of Xi'an city and region.

Keywords: Xi'an city; ecological footprint; ecological carrying capacity; sustainable development

生态足迹分析(ecological footprint analysis, 简称 EF) 是近年来发展起来的测度生态可持续发展的定量方法。同时也是度量人类活动对生态系统压力和影响的一条新途径。生态足迹的概念是由加拿大 William E Rees 教授于 1992 年首先提出^[1], 由他和他的学生 Wackernagel 于 1996 年提出具体的计算方法^[2]。自此以后, 生态足迹受到广泛的关注。我国学者近年来对生态足迹的研究也颇为关注。杨开忠等人系统地介绍了生态足迹分析方法的理论框架、指标体系与计算方法, 并对其应用前景进行了评价^[3]。徐中民、张志强、陈东景等人采用生态足迹的理论

方法对部分区域或省区进行了生态足迹计算与分析, 取得一定的成果^[4-7]。但上述的研究多集中在西部省区, 对单个城市研究较少。本文将生态足迹的理论运用到西安市建成区和西安市域生态系统研究之中, 以生态足迹定量表示城市和区域的经济活动对自然生态系统的压力及程度, 为研究西安地区及西安市可持续发展问题提供了一种新思路与方法。

1 城市生态足迹的概念及内涵

人类从自然生态系统获取本身发展必需的物质和能源, 同时向自然系统排放大量的废弃物, 即通过

自身的活动对其环境施加影响。人类这种对自然生态系统的耗用和影响程度即为生态足迹。更形象地说: 生态足迹是指: “一只负载着人类与人类所创造的城市、工厂等的巨脚踏在地球上留下的脚印”^[8]。生态足迹分析的思路是: 人类要维持生存必须消费所需的原始物质与能源, 但人类每一项最终的消费量都可以追溯到生产该原始物质与能量的生态生产性土地面积上。在一定的技术条件下, 维持某一物质消费水平下单位人的持续生存所必需的生态性土地面积即为生态足迹, 这也是人类对生态足迹的需求; 而自然所能提供的为人类所利用的生态生产性土地面积则为生态足迹的供给 (即为生态承载力)。如果生态足迹的需求小于供给, 则人类社会发展在自然生态系统承受范围内; 否则, 则人类社会发展处于不可持续发展状态。

城市是人类活动集中的地区, 是人类活动对自然生态系统产生压力最大的区域。一个城市的生态足迹, 就是支撑该城市经济和社会发展所需要的生态上具有生产力的土地面积。但城市具有开放性, 与外界存在物质、能量和信息流等交换, 城市不断从其它地方摄入大量的物质与能量, 也就是说, 城市发展不仅仅是依赖内部的生态生产性土地, 还依赖于外部供给。因此, 城市生态足迹生产性土地供给小于城市所需要的生态性生产土地供给。但生态足迹理论对研究城市生态系统, 建设生态城市仍具有指导意义。从生态足迹理论出发, 生态城市就是: 在保证城市各项功能正常运行和维持居民较好的生活质量下, 尽量减少人均生态足迹, 使城市生态足迹面积尽量缩小。因此, 通过城市生态足迹的计算与分析, 可以定量测度城市人类活动对生态系统产生的压力和影响程度, 为城市建设提供新思路 and 方向。

2 生态足迹的计算模型与方法

2.1 生态足迹的计算模型

生态足迹的计算基于 2 个事实: 人类可以确定自身消费的绝大部分资源及其产生的废弃物的数量; 这些资源和废弃物能转换成相应的生物生产面积。因此, 任何已知人口的生态足迹是这些人口所消费的资源 and 吸纳这些人口所产生的废弃物所需要的生态生产总面积。

根据以上概念与理论, 其重要计算步骤如下。

(1) 划分消费项目, 计算各主要的消费项目的消费量; (2) 利用平均产量数据, 将各消费量折算为生物生产性土地面积; (3) 通过当量因子把各类生物生产

和计算出生态足迹大小; (4) 通过产量因子计算生态承载力。并与生态足迹比较, 分析可持续发展程度。其计算公式如下:

$$E_F = N^* e_f = N^* r_j^* \sum (aa_i) = N^* r_j^* \sum (c_i/p_i)$$

式中: E_F —— 总的生态足迹; N —— 人口数; e_f —— 人均生态足迹; aa_i —— 人均 i 种交易商品折算的生物生产面积; c_i —— i 种商品的人均消费量; p_i —— i 种消费商品的平均生产能力; r_j —— 均衡因子 (因为单位面积耕地、生态绿地、牧草地、林地等的生物生产能力差异很大, 为了使计算结果具有可比较的标准, 有必要给每一类生物生产面积乘以一个均衡因子, 以转化为统一的、可比较的生物生产面积); j —— 生物生产性土地类型。

在生态足迹计算中, 生态生产性土地主要考虑 6 种类型: 即生态绿地、可耕地、草地、林地、建筑用地和水域。其中生态绿地指人类应该留出的用于吸收 CO_2 的用地; 草地是适于发展畜牧业的土地; 林地是可产出木材产品的人造林或天然林; 建筑用地包括各类人居设施及道路所占用的土地。

2.2 生态承载力的计算模型

在计算生态承载力时, 由于不同国家或地区的资源禀赋不同, 不仅单位面积不同类型的土地生产能力差异很大, 而且单位面积相同类型生物生产土地的生产力也有很大差异。因而, 不同国家或地区同类型生物生产土地的实际面积是不能直接比较的, 需要对其进行调整。不同国家或地区的某类型生物生产面积所代表的局地产量与世界产量的差异可用产量因子来表示。产量因子是某个国家或地区某类型土地的平均生产力与世界同类型土地平均值的比率。将现有的耕地、草地、林地、建筑用地、水域等物理空间的面积乘以相应的均衡因子和产量因子, 就可以得出生态承载力, 生态承载力的计算公式为:

$$E_C = N^* e_c = N^* \sum a_j^* r_j^* y_j (j = 1, 2, \dots, 6)$$

式中: E_C —— 区域总生态承载力; N —— 人口数; e_c —— 人均生态承载力; a_j —— 人均生物生产面积; r_j —— 均衡因子; $y_j = y_{lj} = y_{wj}$, y_{lj} —— 指某国家或地区的 j 类的土地的平均生产力, y_{wj} —— 指 j 类土地的世界平均生产力。

3 西安市生态足迹计算与分析

西安位于关中平原地区, 是西北地区的中心城市, 近年来经济持续发展, 快速增长。但西北地区又是我国生态环境脆弱的地区。因此, 各城市在发展经

生态城市的目标,对其作出科学可靠的生态规划尤为重要。本文用生态模型计算西安市在 2001 年的消费水平下,维持城市人的生存和发展所必须的生物生产面积,并与全国及其它几个国家人均生态足迹作比较,为西安市规划提供可靠的依据。

人类生产、生活消费由两部分组成:生物资源及能源的消费。生物资源可分为农产品、动物产品、水果和木材几类。能源消费主要涉及如下几种:煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力,将能源转化为化石燃料生产土地面积时,采用世界上单位化石燃料生产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为一定的化石燃料土地面积。

根据生态足迹的计算公式将生物资源和能源消费转化为提供这类消费所需要的生物生产性土地面积结果见表 2 和表 3。

表 1 西安土地利用现状(2001 年)

土地类型	面积/hm ²	比例/%	人均面积/hm ²
耕地	287 788.00	36.98	0.041 4
林地	417 357.30	53.63	0.060 1
园地	26 539.23	3.41	0.003 8
草地	13 181.00	1.69	0.001 9
内陆水域	32 298.43	4.15	0.004 6
可养殖业	1 079.45	0.14	0.000 2

表 2 西安生物资源消费生态足迹(2001 年)

资源类型	平均产量/kg	城市人均消费/kg	农村人均消费/kg	城市居民消费量/t	农村居民消费量/t	消费总量/t	总生态足迹/hm ²	人均生态足迹/hm ²	城市人均生态足迹/hm ²	土地类型
粮食	2 744	78.6	193.83	315 050.0	569 879.4	884 929.4	322 496.141	0.046 4	0.028 6	耕地
食用油	431	6.8	7.34	27 256.2	21 580.3	48 836.6	113 309.890	0.016 3	0.015 8	耕地
豆腐	1 500	6.7	4.30	26 855.4	12 642.4	39 497.8	26 331.890	0.003 8	0.004 5	耕地
酒类	13 720	4.3	4.10	17 235.5	12 054.4	29 290.0	2 134.837	0.000 3	0.000 3	耕地
鲜菜	18 000	104.5	48.59	418 864.2	142 859.4	561 723.6	31 206.868	0.004 5	0.005 8	耕地
猪肉	74	12.0	4.64	48 099.2	13 642.1	61 741.3	834 341.883	0.120 1	0.162 2	耕地
干鲜瓜果	6 000	62.5	17.10	250 516.9	50 275.7	300 792.6	50 132.095	0.007 2	0.010 4	耕地
鲜蛋	400	10.8	4.43	43 289.3	13 024.6	56 314.0	140 784.886	0.020 3	0.027 0	耕地
食糖	4 997	1.7	1.35	6 814.1	3 969.1	10 783.2	2 157.933	0.000 3	0.000 4	耕地
牛羊肉	33	2.1	0.30	8 417.4	1 683.5	10 100.9	372 607.590	0.036 7	0.063 6	草地
肉禽类	764	4.4	5.77	17 636.4	16 964.4	34 600.8	45 288.952	0.006 5	0.005 8	草地
鲜奶	502	12.8	1.89	51 305.9	5 556.8	56 862.6	113 272.197	0.016 3	0.025 5	草地
木材	2	0.3	0.11	1 362.8	323.4	1 686.2	847 348.085	0.122 0	0.170 9	林地
坚果果仁	1 059	3.3	1.13	13 227.3	3 322.3	16 549.6	15 627.576	0.002 3	0.003 0	林地
水产品	29	1.4	0.62	5 611.6	1 822.9	7 434.4	256 359.979	0.036 9	0.048 3	水域

注:表中木材是根据城镇和农村每年新添家具估算出来的,城镇居民消费量根据城镇居民人数计算,城市水产品是按照日常消费的带鱼计算。

表 3 西安市人均生态足迹(2001 年)

燃料类型	消费量	能量折算系数	人均消费量	全球平均能源足迹	西安人均能源足迹	生产土地类型
原煤	3 291 184	20.907 561	0.473 662 812	55	0.180 056 98	化石燃料土地
洗精煤	410 475	26.343 000	0.059 075 015	55	0.028 294 78	化石燃料土地
焦炭	66 600	28.432 878	0.009 584 983	55	0.004 955 07	化石燃料土地
原油	615 754	41.815 122	0.088 618 494	93	0.039 845 09	化石燃料土地
汽油	- 14 532	43.067 878	- 0.002 091 426	93	- 0.000 968 50	化石燃料土地
煤油	9 511	43.067 878	0.001 368 810	93	0.000 633 89	化石燃料土地
柴油	- 15 846	42.649 317	- 0.002 280 535	93	- 0.001 045 80	化石燃料土地
燃料油	8 486	41.815 122	0.001 221 294	71	0.000 719 28	化石燃料土地
液化石油气	100 521	50.177 561	0.014 466 848	71	0.010 224 10	化石燃料土地
天然气	26 460	37.237 294	0.003 808 088	93	0.001 524 76	化石燃料土地
其它石油类	1 563	41.815 122	0.000 224 945	93	0.000 101 14	化石燃料土地
电力	3 069 820	11.825 080	0.441 804 400	1 000	0.005 224 37	建筑用地
热力	6 955 922	0.998 692 4	1.001 087 018	71	0.014 081 38	化石燃料用地

通过计算得出西安市 2001 年生态足迹的需求与生态承载力的最终结果(表 4)。其中生态足迹部分是表 2, 3 计算汇总而得, 均衡因子选取来自于世界各

国的生态足迹计算研究报告, 产量因子根据实际情况确定(表 5)。考虑到要维护生物多样性, 在计算生态足迹时扣除了 12% 的生物多样性的保护面积。

表 4 西安地区生态足迹需求与供给

土地类型	地区生态足迹需求		城市生态足迹的需求		土地类型	生态足迹的供给	
	总面积	均衡面积	总面积	均衡面积		总面积	均衡面积
林地	0.1059	0.1165	0.1740	0.1914	林地	0.0601	0.0523
耕地	0.2060	0.5768	0.2549	0.7138	耕地	0.0414	0.0688
草地	0.0465	0.0233	0.0949	0.0474	草地	0.0019	0.0017
水域	0.0327	0.0065	0.0429	0.0086	水域	0.0046	0.0046
生态绿地	0.2784	0.3063	0.2784	0.3063	CO ₂ 吸收	0.0000	0.0000
建筑用地	0.0052	0.0146	0.0052	0.0146	建筑用地	0.0132	0.0220
总生态足迹	1.0440	—	1.2820	—	总供给面积	—	0.1494
		—	—	—	生物多样性保护	—	0.0179
		—	—	—	总生态承载力	—	0.1315

表 5 生态足迹测度因子及各土地类型用途说明

土地类型	均衡因子	产量因子	主要用途
耕地	2.8	1.66	提供大多数农作物
林地	1.1	0.87	提供林产品和木材
草地	0.5	0.92	提供畜产品
建筑用地	2.8	1.66	居民地和道路用地
生态绿地	1.1	0.00	吸收 CO ₂
水域	0.2	1.00	提供水产品

注: 均衡因子来自于各国的生态足迹计量研究报告, 而产量因子根据实际情况给出。

从表 4 中可以看出, 2001 年西安地区的生态足迹为 0.986 152 hm²/人, 而当地人均生态承载力为 0.131 457 hm²/人, 前者为后者的 7.9 倍。这要求西安地区需要从附近地区输入生态足迹。同时可以看出, 西安地区的生态足迹低于全国水平(1.2 hm²/人), 这说明西安市的人类活动对其周围环境影响相对来说不大。西安地区的自然环境开发利用影响的程度不大, 其环境状态维护比较好, 即人类对环境的破坏或影响程度不严重。从表 4 中可以看出, 西安市对耕地的需求最大, 对化石燃料用地的需求次之, 对草地的需求比较少。这说明西安仍以主粮为主, 像高营养类的消费比较低。同时说明西安市能耗在总消费占据重要的位置。

从图 1 可以看出, 美国的生态足迹最高, 日本、新加坡次之, 其它一些国家再次之, 而这些国家的经济发展程度与此相似。这表明生态足迹在一定程度上反映了一个国家或地区的经济发展状况, 经济越发达, 对生态足迹的需求越大。以西安市的生态足迹与图中的国家相比, 西安市的生态足迹比较低, 与一些

上说明: 西安在经济方面不够发达, 因而在以后发展方面更要注重经济的发展。

从以上分析可知, 西安市今后要加强经济发展。在经济中, 要注意保护现有的生态环境, 并在此基础上进一步改善其环境, 以建设生态城市。同时在今后的经济建设中, 应尽量减少能量消耗, 节约能源, 减少物资的消耗。资源利用方式应逐步由粗放型、消耗型转向集约性、节约型。同时要尽可能减少对周围地区生态足迹的输入, 以免扩大与周围地区的差距, 从而导致周围不发达地区的生态进一步恶化。应尽量降低自身资源的消耗及对贫困周围地区的生态压力, 推进整个区域的发展, 以达到区域的可持续发展。

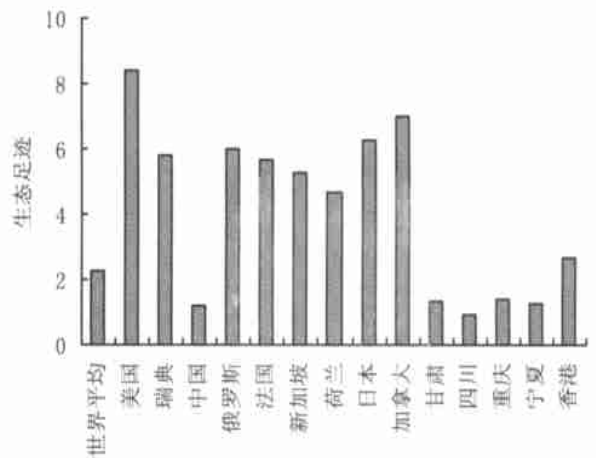


图 1 一些国家和地区的生态足迹比较

4 结 论

(1) 从以上对生态足迹的概念、计算模型的介绍以及对西安的生态足迹计算和分析可以看出, 生态足

迹是一种测度和比较人类经济活动对自然生态系统的影响以及人类在一定阶段对自然生态系统的需求和供给的差异的方法。生态足迹理论及模型运用到城市生态系统和区域生态系统研究中,可以在一定程度上测定在一定时段和一定社会条件,城市发展和区域发展下给其本身环境造成的压力和影响程度,以及生产、生活需求与自然系统供给之间的差异;该区域与城市经济发展程度。可为区域和城市生态建设及可持续发展提供新思路和方法。

(2) 西安地区的生态足迹为 $1.04 \text{ hm}^2/\text{人}$, 而当地的人均生态承载力为 $0.13 \text{ hm}^2/\text{人}$, 前者为后者的 7.9 倍。这表明西安地区生态足迹需要从其周围输入, 该地区人类活动对当地的影响比较大。而西安市的人均生态足迹为 $1.28 \text{ hm}^2/\text{人}$, 为当地的生态承载力的 9.75 倍, 说明西安市占有比其自身行政面积大得多的生态足迹。但与美国、日本、新加坡、加拿大、香港等一些国家或地区相比相差比较大, 这表明西安市的经济活动中对自然生态系统需求与攫取要比这些国家少, 也就是说, 对其环境的影响相对小, 这有利于生态建设。另外西安市的人均生态足迹为当地的生态承载力的 9.75 倍, 说明西安市在经济发展中要若从周围摄入生态足迹, 会给周围经济相对落后的地区巨大压力, 加速这些地区的生态恶化。因此, 在今后的经济发展中, 西安市应尽量少占有生态足迹, 降低自身资源的消耗及对邻近相对落后地区的生态压力, 以便推进区域共同发展和区域可持续发展。

(3) 上述模型具有 3 个缺点: 其一, 模型只考虑了生物资源和能源的消耗, 而未注意到生态方面的消耗; 且考虑资源消费时未考虑间接的消耗。其二, 该模型是一种静态模型, 是关于过去某一时段状态的测度, 不具有连续性。它不能预测未来, 不能反映其它一些因素的影响。其三, 计算的困难性和欠准确性。在人类生活用的物质资源方面选取代表性的物质比较难, 数据收集难; 一般在计算时, 只选取一部分消费物质; 各区域均衡因子与产量因子的选取应不同, 其

数值确定比较难; 环境本身的不可替代性, 采用产量因子和均衡因子统一生物生产土地面积本身存在不足。因此, 应用该模型时应该注意尽量保证资料的准确性, 同时应根据实际情况修正相关数据; 应适当考虑到生产、生活的间接耗用, 根据实际情况, 采用修正系数来修正; 均衡因子和产量因子应根据当地的实际情况而定。

[参 考 文 献]

- [1] William Rees. Ecological footprint and appropriated carrying what urban economics leaves out [J], *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2) 121—130.
- [2] Wackernagel M, Rees W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Input on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishes, 1996.
- [3] 杨开忠, 杨咏, 陈洁. 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, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析 [J]. *地理学报*, 2000, 55(5): 607—615.
- [5] 陈东景, 徐中民. 生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨——以新疆为列 [J]. *干旱区地理*, 2001, 24(4): 305—309.
- [6] 陈东景, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西北地区的生态足迹 [J]. *冰川冻土*, 2001, 23(2): 164—169.
- [7] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市) 的生态足迹 [J]. *地理学报*, 2001, 56(5): 599—610.
- [8] William E R. Revisiting Carrying Capacity: area-based indicators of sustainability. In: Wackernagel M ed. *Ecological Footprint Nations* [R/ OL]. <http://www.Ecouncil.ac.cr/rio/focus/report/English/footprint/>, 1996.
- [9] Hard P, Barg S, Hodge T, et al. Measuring Sustainable development: Review of Current Practices [R]. occasional paper number 17, 1997, 11(HSD): 1—2, 49—51.
- [10] 西安统计年鉴(2002) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.
- [11] Wackernagel M, et al. Ecological footprints of nations: how much nature do they have? how much nature do they use? The Earth Council, San Jose, Coasa Rica, March 1997.