

基于生态足迹模型的区域可持续发展定量分析)) 以山东省烟台市为例

张培刚¹, 曹荣林¹, 解修平², 周杰²

(1. 南京大学 城市与资源学系, 江苏 南京 210093; 2. 中国科学院 地球环境研究所, 陕西 西安 710075)

摘要: 生态足迹方法是一种定量评价可持续发展程度的生物物理方法。通过测算人类的生态足迹与生态承载力之间的差距, 定量地判断区域的发展是否处于生态承载力的范围之内, 为评价区域的可持续发展提供依据。在介绍生态足迹、生态承载力的基础上, 运用生态足迹模型对烟台市 2002 年的生态足迹进行了计算分析, 结果表明烟台市 2002 年人均生态赤字为 1.079 hm², 远远超出了其生态承载力, 说明烟台市的发展处于不可持续状态。最后, 提出了提高区域生态承载力, 实现可持续发展的一些对策。

关键词: 生态足迹; 生态承载力; 生物生产面积; 可持续发展; 烟台市

文献标识码: A

文章编号: 1000) 288X(2006) 01) 0071) 04

中图分类号: Q141, X171

Regional Sustainable Development Based on Ecological Footprint Theory)) A Case Study of Yantai City

ZHANG Pei2gang¹, CAO Rong2lin¹, XIE Xiu2ping², ZHOU Jie¹

(1. Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu Province, China;

2. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi. an 710075, Shaanxi Province, China)

Abstract: The ecological footprint method is a biophysical assessment method of the human appropriation of ecological capacity, measuring the ecological imperative of sustainability. Human consume products and services of nature; each of us have an impact on the earth. By calculating the difference between ecological footprint and ecological capacity, we can estimate whether it is in a sustainable status or not. This paper introduces the concepts of ecological footprint, the calculation model and the ecological capacity. According to the calculation model, ecological deficit of Yantai is 1.0789 ha per capita, which shows that Yantai City is in a unsustainable status. At last, measures are suggested to increase regional ecosystem s carrying capacity and to make the development sustainable.

Keywords: ecological footprint; ecological capacity; ecological productive area; sustainable development; Yantai City

自 1987 年 5 月我们共同的未来 6 发表以来, 可持续发展作为一种新的发展理念和模式已经从理论走向实践^[1]。生态足迹方法作为测量可持续发展的生物物理评价方法, 从一个全新的角度考虑人类发展与生态环境的关系^[2]。通过测算人类对生态足迹的需求与生态承载力之间的差距, 可以评价人类对自然资源的利用情况, 从而较准确地判定评价对象的可持续发展程度和状况。近几年, 生态足迹模型正以其较为科学、完善的理论基础和精简统一的指标体系而得到国内外学者的广泛应用。

1 生态足迹概述

1.1 生态足迹概念

任何人生活都要消费自然资源, 都会对地球生态系统产生影响。但是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, 人类社会的发展就处于可持续的范围内^[3]。但如何判定人类是否生存于地球生态系统承载力的范围内呢? 加拿大生态经济学家 William. Rees 及其博士生 Wackernagel 在 1996 年提出了一种用以测量可持续发展程度的生物物理评价方法))) / 生态足迹 0, 并在他们共同合作出版的 5 我们的生态足迹))) 减轻人类对地球的冲击 6 (1996 年) 一书中, 提出了生态足迹概念^[4]: 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物质和能量及吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产土地的总面积和水资源量。将一个地区或国家的自然资源同自己所拥有的生态能力进行比较, 能判断一个国家或地区的发展是否处于生态承载力的范围内, 是否具有安全性。

1.2 生态足迹计算模型

生态足迹的计算模型是 Wackernagel 于 1996 年建立的,其计算主要基于以下 2 个假设^[5]:一是能够计算出人类消费的大多数资源和人类产生的大多数废弃物;二是这些资源和废弃物能够被转换成生产这些资源和同化这些废弃物的生产性土地面积。在生态足迹帐户核算中,生物生产面积主要考虑 6 种类型:化石燃料土地、可耕地、林地、草场、建筑用地和水域。其计算公式为^[6]:

$$E_F = N e_F = N \sum (a_i p_i) = N \sum (c_i / p_i)$$

式中: i) 消费商品和投入的类型; p_i) i 种消费商品的平均生产能力; c_i) i 种商品的人均消费量; a_i) 人均 i 种交易商品折算的生物生产面积; N) 人口数; e_F) 人均生态足迹; E_F) 总的生态足迹。由上式可知生态足迹是人口数和人均物质消费的一个函数,生态足迹是每种消费商品的生物生产面积的总和^[7]。生态足迹测量了人类生存所必需的真实生物生产面积,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。

2 生态承载力及其计算模型

2.1 生态承载力

生态承载力是指生态系统的自我维持、自我调节能力,资源与环境的供容能力及其可维持的社会经济活动强度和具有一定生活水平的人口数量^[8]。对于某一区域的生态承载力而言,是指某一时期某一地域某一特定的生态系统,在确保资源的合理开发利用和生态环境良性循环发展的条件下,可持续承载的人口数量、经济强度及社会总量的能力^[8]。它主要强调的是生态系统的承载功能,同时突出对人类活动的承载能力。

2.2 生态承载力计算模型

生态承载力的计算方法是将区域内各类生物生产性土地面积乘以等量化因子及产量调整系数后,求和得到总生态承载力。计算模型如下^[2]:

(1) 人均生态承载力:

$$e_c = \sum a_j @r_j @y_j (j = 1, \dots, 6)$$

式中: e_c) 人均生态承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$); a_j) 实际人均占有的第 j 类生物生产土地面积; r_j) 均衡因子; y_j) 产量因子。

(2) 区域生态承载力:

$$E_c = N @e_c$$

式中: E_c) 区域总的生态承载力; N) 区域总人口数; e_c) 人均生态承载力 ($\text{hm}^2/\text{人}$)。

3 生态足迹模型的应用

生态足迹模型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吸收所必需的生物生产面积。根据生态足迹的概念及其计算方法,对烟台市 2002 年生态足迹进行了计算分析。烟台市生态足迹主要由两部分组成: (1) 生物资源的消费; (2) 能源的消费。由于该统计年鉴未能提供以上两类资源的贸易量,因此直接采用人均生物资源消费量而忽视了生物资源贸易调整量。并且在能源足迹帐户计算时,未考虑加贸易商品中/内嵌能源的贸易量。

3.1 生物资源消费

生物资源消费主要包括农产品、水果、动物产品、水产品 and 木材等。在计算中使用联合国粮农组织 1993 年计算的关于生物生产面积的全球平均生物产量作为标准^[9] (采用这一公共标准主要是使计算结果可以进行国与国、地区与地区之间的比较),将烟台市 2002 年的消费转化为提供这类消费需要的生物生产面积(表 1)。

表 1 烟台市生态足迹计算中的生物资源账户

分类	全球平均产量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	烟台市生物量/t	人均足迹/ ($\text{hm}^2/\text{人}$)	生产面积类型	
农产品产量	粮食	2 744	376 737	0.081 330 3	耕地
	谷物	2 744	323 368	0.075 168 8	耕地
	豆类	1 856	11 810	0.004 058 8	耕地
	薯类	12 607	41 559	0.002 102 7	耕地
	花生	1 856	52 077	0.017 897 5	耕地
	烤烟	1 548	10	0.000 004 1	耕地
	蔬菜	18 000	382 038	0.013 538 1	耕地
	瓜果	18 000	55 212	0.001 956 5	耕地
水果产量	苹果	3 500	102 706	0.018 717 7	林地
	梨	3 500	4 750	0.000 865 7	林地
	葡萄	3 500	1 334	0.000 243 1	林地
	桃子	3 500	2 440	0.000 444 7	林地
	山楂	3 500	1 770	0.000 032 3	林地
动物产品产量	干果	3 000	5 020	0.000 106 7	林地
	猪肉	74	17 731	0.152 836 1	草地
	牛肉	33	692	0.013 375 7	草地
	羊肉	33	713	0.013 781 6	草地
禽产品产量	禽肉	33	18 612	0.359 752 3	草地
	禽蛋	400	20 778	0.033 133 6	草地
水产品	29	16 586	0.364 828 0	水域	
木材	1.99*	170**	0.000 019 3	林地	

注:表格中* 单位为 m^3/hm^2 , ** 单位为 m^3 。

生物资源消费采用的计算方法如下:

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

式中: E_{F_i}) i 种资源消费的足迹; P_i) i 种生物资源的总生产量; I_i, E_i) i 种资源消费的进口量和出口量; $Y_{average}$) 世界上 i 种生物资源的平均产量。

3.2 能源消费

能源消费足迹帐户主要包括以下几种类型能源: 煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气、电力等。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成相应的化石燃料的土地面积(见表 2)。

3.3 结果与分析

烟台市 2002 年生态足迹与生态承载力的计算结果, 由生态足迹的需求和能供给的生物生产土地面积(生态承载力)两部分组成。

由于单位面积耕地、化石燃料土地、牧草地、林地等的生物生产能力差异很大, 为使计算结果转化为一个可比较的标准, 在每种生物生产面积前添加一个权重, 以转化为统一的、可比较的生物生产面积, 权重值分别为^[10]: 林地和化石燃料用地为 1. 1; 耕地和建筑用地为 2. 8; 草地为 0. 5; 海域为 0. 2。同时在供给方, 由于各国或地区的各种生物生产面积的产出差异很大, 在转化成生物生产面积时分别乘上一个产出因子, 烟台市每 1 hm² 谷物平均产量与全球每公顷谷物平均产量之比取值 1. 49; 建筑用地的产量因子与耕地产量因子取值一致为 1. 49; 草地和林地产量因子分别取值为 0. 5 和 0. 8。此外, 出于谨慎性考虑, 按 WCED 的报告⁵ 我们共同的未来⁶ 所建议的, 应该留出 12% 的生物生产面积以保护生物多样性^[11], 因此, 在生态承载力计算时扣除了 12% 的生物多样性保护面积(见表 3)。

表 2 烟台市生态足迹计算中的能源账户

分类	全球平均能源足迹/ (GJ#hm ⁻²)	折算系数/ (GJ#t ⁻¹)	消费量	人均消费量 (GJ/人)	人均生态足迹 (hm ² /人)	生产面积类型
煤炭	55	20. 934	1 792 595/t	23. 936 408	0. 435 207 4	化石燃料土地
焦炭	55	28. 470	10 709/t	0. 194 473 7	0. 003 535 9	化石燃料土地
原油	93	41. 868	14 279/t	0. 381 333 1	0. 004 100 4	化石燃料土地
汽油	93	43. 124	10 257/t	0. 282 139 5	0. 003 033 8	化石燃料土地
煤油	93	43. 124	558/t	0. 015 348 9	0. 000 165 0	化石燃料土地
柴油	93	42. 705	17 504/t	0. 476 804 7	0. 005 126 9	化石燃料土地
燃料油	71	50. 200	9 613/t	0. 307 813 2	0. 004 335 4	化石燃料土地
煤气	93	16. 329	3 857/t	0. 040 173 0	0. 000 419 0	化石燃料土地
天然气	71	50. 200	14 860/t	0. 475 824 8	0. 006 701 7	化石燃料土地
供热	1000	29. 344	16 484 800(GJ)	10. 514 975	0. 010 515 0	建筑用地
电力	1000	11. 840	153 735(KW. h)	3. 530 204 2	0. 003 530 2	建筑用地

表 3 烟台市 2002 年生态足迹需求与生态承载力

土地类型	生态足迹的需求			土地类型	生态承载力		
	总面积 (hm ² /人)	均衡因子	均衡面积 (hm ² /人)		总面积 (hm ² /人)	均衡因子	均衡面积 (hm ² /人)
耕地	0. 115 0	2. 8	0. 322 0	耕地	0. 073 3	1. 49	0. 109 2
草地	0. 573 0	0. 5	0. 286 5	林地	0. 044 6	0. 80	0. 035 7
林地	0. 021 9	1. 1	0. 240 9	草地	0	0. 50	0
化石燃料	0. 462 0	1. 1	0. 508 2	水域	0. 509 0	0. 52	0. 265 0
水域	0. 364 8	0. 2	0. 073 0	建筑	0. 023 0	1. 49	0. 034 3
建筑用地	0. 014 0	2. 8	0. 039 2	总供给面积			0. 4442
总需求足迹			1. 469 8	生物多样性保护(12%)			0. 053 3
				总的可利用足迹			0. 390 9

注: 建筑面积取世界平均水平值, 由于四舍五入, 表中统计数据存在一定误差。

由以上分析可见,烟台市的人均生态足迹需求为 $1.4698 \text{ hm}^2/\text{人}$,而实际生态承载力仅为 $0.3909 \text{ hm}^2/\text{人}$ (表 3),人均生态赤字达 $1.0789 \text{ hm}^2/\text{人}$,远远高于我国的生态赤字 $0.4 \text{ hm}^2/\text{人}$ (据 Wackernagel)。这表明烟台市的发展处于一种不可持续的状态,该地区人们除了摄取本地区自然生态系统提供的生态产品及服务之外,还依赖于该区域外自然生态系统提供的生态产品及服务。

4 烟台市生态问题分析及对策

4.1 生态问题分析

经生态足迹分析表明,烟台市的生态赤字达 $1.0789 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。生态赤字主要表现为耕地与林地的面积欠缺。

(1) 耕地面积不足。受人类活动的影响,烟台市的农用耕地持续减少。目前人均耕地面积只有 653 m^2 ,而尚未开发的适宜耕作土地几乎已不存在。因此,烟台市的耕地面积不足问题应主要通过提高农业生产率和外部输入来解决。

(2) 林地面积少,林木质量差。烟台市的现状森林覆盖率为 26%,除昆崙山、狮子山、部分海防林区等少数地区的植被生长状态较好之外,多数地区的林地以中幼林为主,林木质量差,效益低,致使均衡因子低,可提供的生物生产性土地少。

(3) 化石燃料的使用增加了对林地资源的需求。由于烟台市的工业发达,化石燃料的大量使用增加了对能够吸收 CO_2 的生物生产性土地(主要由林地来实现)的需求($0.5082 \text{ hm}^2/\text{人}$),约占生态足迹总需求的 1/3 左右。为了尽量减少对 CO_2 的生物生产性土地的需求压力,各相关部门应尽量提高生产效率以减少对能源的消耗。

4.2 对策分析

(1) 提高该地区生态承载力。¹ 提高单位面积自然系统的产出率,加强耕地、林地、建筑用地和海域等的保护和管理,可持续利用现有的资源^[10]。防

止耕地质量退化,控制建设用地规模,高效利用土地资源。此外加快建设林地资源并合理使用,防止乱砍乱伐林木、毁林开荒等行为;» 积极开发利用烟台市丰富的海洋资源。

(2) 减少生态足迹需求,高效利用现有资源存量,改变人们的生产和生活方式,建立不可再生资源节约型的可持续发展的消费体系。

[参 考 文 献]

- [1] Zhang Z Q, Sun C Q, Cheng G D. Progresses and trends of sustainable development research [J]. *Advance in Earth Science*, 1999, 14(6): 589) 595.
- [2] 岳东霞,李自珍,惠苍. 甘肃省生态足迹和生态承载力发展趋势研究[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(3): 454) 463.
- [3] 张志强,徐中民,程国栋. 生态足迹的概念及计算模型 [J]. *生态经济*, 2000(10): 8) 10.
- [4] Wackernagel M, William Rees. Our ecological footprints reducing human impact on the earth [M]. *British Columbia: New Society Publishers*, 1996. 61) 83.
- [5] Wackernagel M, Yount J D. The ecological footprint: An indicator of progress toward regional sustainability [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1998, 51: 511) 529.
- [6] Hardi P, Barg S, Hodge T, et al. Measuring sustainable development: Review of current practice [R]. *Occasional paper number 17*, 1997(IISD). 1) 2, 49) 51.
- [7] 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) 616.
- [8] 高吉喜. 区域可持续发展的生态承载力研究 [D]. 1999.
- [9] Wackernagel, Onisto L, Bello P, et al. Ecological footprints of nations [R]. *Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives*, 1997. 12) 25.
- [10] 张令,项学敏,周集体. 辽宁省可持续发展定量研究 ()) 生态足迹方法应用 [J]. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2004, 25(2): 10) 15.
- [11] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法 ()) 以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例 [J]. *生态学报*, 2001, 21(9): 1484) 1493.