

# 西安市土地承载力定量评价与动态分析

王建洪,任志远,苏雅丽

( 陕西师范大学 旅游与环境学院,陕西 西安 710062)

**摘要:**以 2009 年为例,修正了 Wackernagel 提出的耕地产量因子,并利用生态足迹的理论和方法,对西安市 1997—2009 年的生态足迹、生态承载力、生态赤字/盈余进行了测算,建立了生态压力指数模型以及生态足迹、生态承载力、生态盈余和生态压力指数预测模型。结果表明:(1) 1997—2009 年西安市生态足迹呈增加趋势,人均增加幅度为 0.509 7 hm<sup>2</sup>; (2) 生态承载力呈降低趋势,人均降低幅度为 0.152 0 hm<sup>2</sup>; (3) 生态压力指数上升幅度很大,由 1.45 上升到 3.88,上升幅度为 2.43; (4) 西安市出现严重的生态赤字现象,还有继续增加的趋势。西安市生态环境处于不安全状态,可持续发展受到严重的影响。

**关键词:**土地承载力;定量评价;动态分析;西安市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0233-04

中图分类号: F301.24, X37

## Quantitative Assessment and Dynamic Analysis of Land Carrying Capacity in Xi'an City

WANG Jian-hong, REN Zhi-yuan, SU Ya-li

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** The cultivated land production factor originally developed by Wackernagel was revised based on the data from the year of 2009. Using the principles and models of ecological footprints, this study proposed a ecological pressure index model and prediction models to calculate the ecological footprint, ecological carrying capacity, and ecological surplus/loss of Xi'an City from 1997 to 2009. The results indicate that from 1997 to 2009, the ecological footprint increased 0.509 7 hm<sup>2</sup> per person, the ecological carrying capacity 0.152 0 hm<sup>2</sup> per person, and the ecological pressure index had changed from 1.45 to 3.88, indicating Xi'an City had been overloaded heavily and increasingly. In brief, the environment of Xi'an City is ecologically unsafe and its sustainable development could be at risk.

**Keywords:** land carrying capacity; dynamic analysis; quantitative assessment; Xi'an City

随着人口、经济的高速发展,城市化进程的加快,人地矛盾的逐渐加剧,人类对环境的不合理开发利用已经导致了大量的生态问题,严重制约着人类社会的发展。生态安全问题与人类生活息息相关,是国家安全的重要组成部分,因此,国家与地区的生态安全已经成为当前人们关心的重点问题<sup>[1-2]</sup>。

土地承载力是一定地区的土地所能持续供养的人口数量,反映了一个国家和地区可持续发展的程度和当前的生态安全状况,对土地、人口、环境与发展都有一定的提示和预警作用。西安市作为西北地区的政治、经济、文化中心,它的土地承载力和对西北地区的生态环境的影响如何。为此,本研究运用生态足迹的原理和方法以及生态压力指数模型,对 1997—

2009 年西安市的土地承载力进行动态分析和趋势预测,评价西安市的可持续发展的程度和生态安全状况,为西安市以后发展提供相应的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

西安市位于中国大陆腹地黄河流域中部的关中盆地,东经 107°40′—109°49′和北纬 33°39′—34°45′之间。南倚我国重要的南北分界线——秦岭山脉,北靠渭河平原,地势平坦,土壤肥沃,该市面积 10 108 km<sup>2</sup>。西安市作为我国西北地区政治、经济、文化、交通中心和陇海兰新地带规模最大的中心城市,土地利用较早。近年来随着西部大开发的推进,西安市

收稿日期: 2011-06-04

修回日期: 2011-07-18

资助项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“黄土高原南部土地资源演变过程中的人文自然因素研究”(2009JJD770025); 国家自然科学基金项目(41071057)

作者简介: 王建洪(1987—),男(汉族),江西省宜春市人,硕士研究生,主要从事水土资源评价与规划的相关研究。E-mail: honghongwangjian@163.com。

通信作者: 任志远(1953—),男(汉族),陕西省兴平市人,教授,博士生导师,主要从事国土资源开发与生态环境评价研究。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn。

经济快速发展,城镇建设急剧扩大,土地利用结构发生了很大变化。

## 1.2 研究方法

1.2.1 生态足迹的原理和方法 生态足迹是通过测定当今人类为了维持自身的生存对自然索取的量来评估人类对自然的影响程度。生态足迹计算方法简单明了,能较好地揭示地区人口、资源、环境和经济发展之间的关系,该模型得到了各国学者和机构的广泛应用和认可<sup>[3-7]</sup>。

在生态足迹方法中,生态承载力是指一个区域实际提供给人类的所有生物生产性土地面积和水域的总和。生态足迹和生态承载力都通过生物生产性土地面积这个指标进行量化,使之具有一定的可比性<sup>[17]</sup>。在不同的国家和地区,同类生物生产性土地面积的生产力是不同的,也是无法进行比较的,因此,Wackernagel<sup>[3]</sup>引入了产量因子的概念。即一个国家或地区某类生物生产土地的平均生产力与同类土地的世界平均生产力之间的比率。在计算生态承载力时,还应当扣除 12% 的生物生产性土地面积用于生物多样性的保护。

生态足迹的计算分为两个方面:生态足迹(人类需求)和生态承载力(自然供给)。

生态足迹的计算模型为:

$$EF = N \times ef = E \times r_j \times \sum (aa_i) = N \times r_j \times \sum_{i=1}^n (c_i / p_i) \quad (1)$$

式中:EF——总的生态足迹;N——人口数;ef——人均生态足迹; $c_i$ ——第*i*种商品的人均消费量; $p_i$ ——第*i*种消费商品的平均生产能力; $aa_i$ ——人均第*i*种交易商品折算的生物生产面积;*i*——消费商品和投入的类型; $r_i$ ——均衡因子。生态承载力计算

模型为:

$$EC = N \times ec = N \times r_j \times y_j \times \sum_{j=1}^6 a_j \quad (2)$$

式中:EC——区域总生态承载力;N——人口数;ec——人均生态承载力( $\text{hm}^2/\text{人}$ ); $a_j$ ——人均生物生产面积; $r_j$ ——均衡因子; $y_j$ ——产量因子。

1.2.2 生态安全度评价模型 在计算生态足迹和生态承载力的基础上,引入生态压力指数模型<sup>[1-2]</sup>。利用生态赤字判断其是否处于安全状态,用生态压力指数表示其安全程度。模型为:

$$T = EC - EF \text{ 或 } t = ec - ef \\ N = EF/EC \text{ 或 } n = ef/ec \quad (3)$$

式中:*T*、*t*——区域生态赤字;N、*n*——区域生态压力指数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 西安市生态足迹的计算

2.1.1 参数的选取与确定 对于均衡因子的选取,目前采用的是统一标准,耕地和建筑用地均衡因子为 2.8,草地为 0.5,水域为 0.2,林地和化石燃料用地为 1.1<sup>[17]</sup>。对于产量因子,大多数研究者都采用的是 Wackernagel 等人<sup>[15]</sup>在计算中国生态足迹时所采用的产量因子,即耕地和建筑用地均为 1.66,草地 0.19,林地 0.91,化石燃料用地为 0。西安市地处西北地区,关中平原中部,相对于整个中国而言,土地面积相对较小,因此需要对西安的产量因子进行修正。在西安市的土地利用中,耕地的土地利用变化相对较大,因此只对耕地的产量因子进行修正<sup>[18]</sup>。本研究以 2009 年西安市的相关数据为例,对耕地的产量因子进行修正,结果详见表 1。

表 1 西安市 2009 年耕地产量因子计算结果

项目	粮食	棉花	油料	蔬菜	水果
年产量/t	2 182 000	6 300	11 200	2 424 100	789 587
种植面积/ $\text{hm}^2$	419 127	4 300	5 727	63 220	47 387
平均产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	5 206	1 465	1 956	38 344	16 663
全球平均产量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	2 744	1 000	1 856	18 000	3 500
各类作物的产量因子	1.900	1.470	1.050	2.130	4.760
占总耕地面积的比重	0.776 5	0.008 0	0.010 6	0.117 1	0.087 8
耕地产量因子	2.163 5				

由于西安市的大部分建筑用地都是由耕地转化而来,因此建筑用地的产量因子和耕地保持一致,均采用 2.16。

2.1.2 西安市生态足迹的计算 利用《西安市统计年鉴》中的统计数据,根据公式(1),计算了西安市 1997—2009 年的生态足迹(表 2)。

表 2 西安市 1997—2009 年的人均生态足迹

年份	耕地/hm <sup>2</sup>	林地/hm <sup>2</sup>	草地/hm <sup>2</sup>	水域/hm <sup>2</sup>	化石能源用地/hm <sup>2</sup>	建筑用地/hm <sup>2</sup>	合计/hm <sup>2</sup>
1997 年	0.332 0	0.002 6	0.154 4	0.010 5	0.219 5	0.04 4	0.763 4
1998 年	0.363 8	0.003 1	0.185 4	0.010 8	0.229 3	0.056 1	0.848 5
1999 年	0.348 2	0.003 2	0.183 6	0.011 3	0.204 6	0.091 3	0.842 3
2000 年	0.339 6	0.003 1	0.204 3	0.011 4	0.210 8	0.091 0	0.860 1
2001 年	0.327 0	0.003 0	0.209 8	0.012 4	0.244 6	0.083 7	0.880 5
2002 年	0.320 3	0.003 3	0.217 2	0.011 8	0.236 5	0.090 4	0.879 5
2003 年	0.291 1	0.003 3	0.225 7	0.009 6	0.271 9	0.115 6	0.917 2
2004 年	0.318 3	0.003 9	0.233 3	0.009 2	0.4004	0.090 4	1.055 6
2005 年	0.327 8	0.004 2	0.243 7	0.008 7	0.433 4	0.102 9	1.120 7
2006 年	0.305 2	0.004 5	0.174 9	0.010 9	0.462 3	0.180 1	1.138 0
2007 年	0.298 1	0.004 8	0.174 0	0.011 2	0.492 6	0.125 8	1.106 5
2008 年	0.332 4	0.005 7	0.194 9	0.011 2	0.494 5	0.150 2	1.188 9
2009 年	0.362 5	0.006 2	0.207 3	0.011 5	0.574 3	0.111 3	1.273 1
均值	0.328 2	0.003 9	0.200 7	0.010 8	0.344 2	0.102 5	0.990 3
比例/%	33.14	0.39	20.26	1.09	34.76	10.36	100.00
变化幅度	0.030 5	0.003 5	0.053 0	0.001 0	0.354 8	0.066 9	0.509 7

2.2 西安市生态承载力的计算

根据西安市 1997—2009 年土地利用变更调查数据,产量因子是修正后的值,即耕地、建筑用地为 2.16,林地 0.91,草地 0.19,化石燃料用地为 0,再利用公式(2),最后减去 12% 的生物多样性保护面积,计算出西安市 1997—2009 年的人均生态承载力。

2.3 西安市生态安全度计算

根据生态足迹和生态承载力,利用公式(3)计算出西安各年的生态赤字/盈余和生态压力指数。根据 1997—2009 年西安市的生态足迹、生态承载力、生态赤字/盈余和生态压力指数的变化情况,绘制其变化趋势图(图 1)。

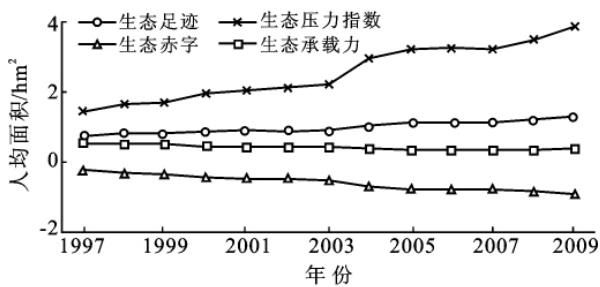


图 1 西安市 1997—2009 年人均生态足迹、生态承载力和生态压力指数变化

2.4 讨论

2.4.1 生态足迹、生态承载力变化特征与预测 西安市的生态足迹,从 1997 年的人均 0.763 4 hm<sup>2</sup> 到 2009 年的人均 1.273 1 hm<sup>2</sup>,增加了 0.509 7 hm<sup>2</sup>;人均生态承载力由 1997 年的 0.525 1 hm<sup>2</sup> 下降到 0.373 1 hm<sup>2</sup>,下降了 0.152 0 hm<sup>2</sup>;根据 1997—2009

年西安市人均生态足迹与生态承载力变化特征,对其未来分别建立预测模型,得到生态足迹预测的线性方程为:  $y = 0.040 1x + 0.709 3$ ,斜率为正,说明生态足迹的变化呈现上升趋势;生态承载力预测的线性方程为:  $y = -0.016 0x + 0.0525 2$ ,斜率为负值,生态承载力总体上呈下降趋势;其中,生态足迹预测线性方程斜率大于生态承载力预测方程斜率的绝对值,如果生态承载力仍得不到提高,生态足迹超过生态承载力的幅度将逐渐加大。

2.4.2 生态赤字变化特征与预测 西安市的人均生态赤字从 1997 年 0.238 3 hm<sup>2</sup> 到 2009 年的 0.900 0 hm<sup>2</sup>,人均生态赤字增加了 0.661 7 hm<sup>2</sup>,从这一阶段总的生态赤字来看,由 1997 年的 1 577 408 hm<sup>2</sup>,到 2009 年的 7 384 754 hm<sup>2</sup>,根据 1997—2009 年生态赤字的变化特征,对其未来建立预测方程为:

$$y = -0.056 2x + 0.184 0$$

2.4.3 生态压力指数分析与预测 西安市 1997—2009 年生态压力指数从 1.453 7 上升到 3.877 5,上升幅度为 2.423 8,西安市这一阶段处于不安全状态。根据生态压力指数的变化特征,建立预测方程为:  $y = 0.202 7x + 1.120 7$ ,斜率为正,说明生态压力指数呈上升趋势。如果在未来生态赤字和生态压力指数仍不能降低,各类生态生产性土地面积的资源利用率不能大幅度提高,那么西安市生态安全程度将持续的降低。

3 结论

(1) 西安市的总人口生态足迹从 1997 年的

5 053 932  $\text{hm}^2$  增加到 2009 年的 9 951 162  $\text{hm}^2$ , 这一阶段总人口平均生态足迹为 7 178 292  $\text{hm}^2$ ; 总人口的生态承载力由 1997 年的 3 476 523  $\text{hm}^2$  下降到 2009 年 2 566 409  $\text{hm}^2$ , 总人口的平均生态足迹为 2 919 733  $\text{hm}^2$ 。从预测方程可以看出, 西安市未来的生态足迹呈上升趋势, 生态承载力呈下降趋势。这主要是由于近年来西安市人口一直处于逐年增加的状态, 人均生态足迹也不断上升, 导致总的生态足迹持续增加; 而西安市的土地资源具有有限性, 提供生物生产性的土地却没有得到很好的补充, 导致生态承载力处于逐年下降的状态, 进一步加剧了人均生态足迹的净增长。西安市必须在城市经济高速发展和人们生活水平提高的同时, 加强对生态环境的保护, 树立科学发展观, 走可持续发展的道路。

(2) 西安市的总生态赤字从 1997 年的 1 577 408  $\text{hm}^2$  增加到 2009 年的 7 384 754  $\text{hm}^2$ , 这一阶段总生态赤字的平均值为 4 258 558  $\text{hm}^2$ , 平均生态压力指数为 2.539 914, 并且西安市未来总生态赤字和生态压力指数仍将呈继续上升的趋势。由此可见, 对西安市自然生态系统的索取已经超过了其承受能力, 出现了严重的生态赤字现象, 并且有继续增加的趋势。西安市的生态环境处于不安全状态, 已经严重影响了该区的可持续发展。一方面, 要充分高效地利用西安市现有的资源, 重视对可再生资源的开发利用, 提高科学技术, 充分挖掘西安市自身的生产潜力, 降低西安市的生态压力指数。另一方面, 严格控制西安市人口增长, 降低人均生态赤字情况, 提高自身素质, 改变人们传统的生活方式和消费观念, 建立集约、高效的经济发展模式, 实现西安市的可持续发展。

(3) 在计算土地承载力的过程中, 生态足迹模型一些数据的选取仍然存在着一些不确定的因素, 土地承载力的计算精确度有待进一步的提高。在选取数据的过程中, 只选取了一些主要的、连续变化的数据, 选取的指标体系还不是很完整。而对耕地、林地、草地等生物生产土地面积类型也未分级处理, 对于西安地区均衡因子和产量因子的选取也是依据有限的数据和经验得出, 这些都还有待进一步的研究。此外, 由于在数据获取方面的局限性, 目前对于西安市的所有生物和能源对于整个生态环境的定量影响还不能精确地计算出来, 只是计算了西安市生态足迹的最小值。

#### [参 考 文 献]

- [1] 任志远, 黄青, 李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 597-606.
- [2] 任志远, 黄青. 陕西关中地区生态安全定量评价与动态分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(4): 169-172.
- [3] REES W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environmental Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [4] Wackernagel M, Rees W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [5] 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.
- [6] 杨开忠, 杨咏, 陈洁. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630-636.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹法——可持续定量研究的新方法: 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.
- [10] 陈东景, 徐中民. 生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨: 以新疆为例[J]. 干旱区地理, 2001, 4(4): 305-309.
- [11] 张水龙, 李德生, 孙旭红, 等. 天津市 1998 年生态足迹分析[J]. 天津理工学院学报, 2004, 20(1): 60-63.
- [12] 赵秀勇, 缪旭波, 孙勤芳, 等. 生态足迹分析法在生态可持续发展定量研究中的应用: 以南京市 1998 年的生态足迹计算为例[J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 58-60.
- [13] 罗贞礼, 黄磷. “红三角”地区之郴州市的可持续发展评价研究: 生态足迹法[J]. 湖南农业大学学报: 社会科学版, 2004, 5(2): 33-37.
- [14] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776-778.
- [15] 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.
- [16] 许月卿. 基于生态足迹的北京市土地生态承载力评价[J]. 资源科学, 2007, 29(5): 37-42.
- [17] 赵先贵, 肖玲, 兰叶霞, 等. 陕西省生态足迹和生态承载力动态研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 746-753.
- [18] 谭波, 傅瓦利. 基于生态足迹的巫山县土地承载力研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 105-108.