

## 基于生态足迹的甘肃省可持续发展研究

马媛<sup>1,2</sup> 黄翀<sup>1\*</sup> 郑巍<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地理与资源研究所, 北京 100101; 2. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098;  
3. 甘肃省土地开发整理中心, 兰州 730000)

**摘要** 基于生态足迹模型对甘肃省 1990—2007 年生态足迹与生物承载力进行计算, 运用万元 GDP、生态足迹多样性及发展能力测算指标对计算结果进行分析, 并根据时间序列(三次指数平滑)预测模型对生态赤字发展趋势进行预测。结果表明: 甘肃省 1990—2007 年万元 GDP 呈速度减缓的下降趋势, 生态足迹多样性整体变化趋势平缓; 甘肃省 2007—2017 年的生态赤字有扩大化增长趋势, 人均生态赤字可能达到 2.733 hm<sup>2</sup>, 表明必须依靠提高生产效率及资源利用效率来增强生态承载力, 建立甘肃省可持续发展模式。

**关键词** 甘肃省; 生态足迹; 生物承载力; 可持续发展

中图分类号 P 967 文章编号 1007-4333(2011)06-0174-05 文献标志码 A

## Sustainable development analysis on ecological footprint in Gansu Province

MA Yuan<sup>1,2</sup>, HUANG Chong<sup>1\*</sup>, ZHENG Wei<sup>3</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China;  
2. College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
3. Gansu Province Land Development and Rehabilitation Center, Lanzhou 730000, China)

**Abstract** The ecological footprint method is an assessment method of the human appropriation of ecological capacity, for measuring the ecological imperative of sustainability. This research applied the constant global yield method to calculate and analyze the ecological footprint of Gansu province from 1990 to 2007, also analyze development trend of per capita ecological footprint and ecological capacity. The result showed that during 1990 to 2007, the value of per 10 thousand YUAN GDP footprint had a downtrend of velocity deceleration, and footprint diversity varied gradually; the growth trend of ecological deficit will be enlargement from 2007 to 2017 and per capital ecological deficit will be 2.733 hm<sup>2</sup>. Thus, to form a sustainable development pattern for Gansu, as indicated by the conclusions, the productivity and efficiency of resource utilization should be pushed up to a higher level to enhance the ecological capacity.

**Key words** Gansu Province; ecological footprint; ecological capacity; sustainable development

对不同尺度地域单元社会经济生态资源消耗及其可持续发展程度或能力进行合理的量化评价, 有效鉴别发展中存在的关键性现实和潜在问题, 是确保相关发展策略选择的针对性和有效性的重要手段<sup>[1]</sup>。20 世纪 70 年代初期开始, 先后出现了一系列与可持续发展程度和能力评价有关的方法论体系<sup>[2-4]</sup>。Rees<sup>[5]</sup>、Wackernagel<sup>[6]</sup>等在 20 世纪 90 年代提出了生态足迹的分析方法, 随后主要被用于国

家或区域层次的可持续发展评价<sup>[7-9]</sup>。生态足迹分析方法与其他评价方法相比具有以下主要优点<sup>[1]</sup>: 1) 评价结果为一个全球、国家或区域尺度的生态占用评价综合指标, 具有全球可比性, 并且通过引入均衡因子和产量因子使得生物资源的消耗与自然生态的承载能力具有可比性; 2) 能够在一定时期的特定经济背景下, 定量的预测人类社会发展的物质需求与自然生物承载力之间的总体盈亏状况; 3) 生态足

收稿日期: 2011-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901223)

第一作者: 马媛, 硕士研究生, E-mail: may@lreis. ac. cn

迹与生物承载力的测算所采用的模型简便易懂,并采用人们熟知的生物生产性土地面积为计算方单位,结果的可辩护性强,而研究所需要资料的相对易获取也使得生态足迹分析工作的具体实施障碍较好。

生态足迹作为可持续发展的一种定量方法在我国起步较晚,目前主要应用于全国尺度及各类生态脆弱区的可持续发展的度量<sup>[10]</sup>。杨莉等<sup>[11]</sup>提出基于生态足迹理论的人口环境消费的概念和理论模型,并认为培养可持续消费观念,引导绿色、健康和环境友好型的消费模式能缓解区域环境压力。张颖<sup>[12]</sup>分析了北京 1990—2003 年生态足迹的变化,认为生态赤字与人口、GDP 有显著相关性,相关系数达到 0.192。吴开亚等<sup>[13]</sup>提出把一般回归模型(GRA)作为区域生态足迹预测模型结构,用加速遗传算法(AGA)进行高精度 GRA 统一建模的新方案,建立基于 AGA 的区域生态足迹一般回归模型。赵锐等<sup>[14]</sup>将 IPCC 和生态足迹理论中的成分法计算相结合,以四川省成都某重点高校为例对其校园生活垃圾的生态足迹进行了估算与分析。

本研究拟利用生态足迹模型,选取甘肃省 1990—2007 年的时间序列作为研究对象,通过长时间序列的生态足迹动态分析克服模型本身的静态性缺陷,以期对定量分析、评价甘肃省可持续发展提供更有力的依据。

## 1 研究方法

### 1.1 生态足迹模型

生态足迹模型基于 1 个基本理论假设和 2 个基本事实<sup>[15]</sup>:1 个假设即“空间互斥性”假设;2 个基本事实:1)人类能够估计自身消费的绝大多数资源、能源及其所产生的废弃物数量;2)这些资源和废弃物的量能折算成生产或消纳它们的生态生产性面积,即大多数资源量和废物流量可以转化为提供或消纳这些流量的、具有生态生产性的陆地面积。生态足迹计算公式为:

$$E = Ne = N \sum_{i=1}^n (r_i c_i / p_i) \quad (1)$$

式中: $E$  为总的生态足迹; $N$  为人口数; $e$  为人均生态足迹; $r_i$  为第  $i$  类商品的均衡因子; $c_i$  为第  $i$  类商品的人均消费量; $p_i$  为第  $i$  类消费品的世界平均生产能力。

$$e = \sum_{i=1}^n (P_i + I_i - O_i / F_i) r_i \quad (2)$$

式中: $F_i$  为第  $i$  种消费项目的年世界平均产量; $r_j$  为第  $j$  类生物生产性土地类型; $P_i$  为第  $i$  种消费项目的年生产量; $I_i$  为第  $i$  种消费项目的年进口量; $O_i$  为第  $i$  种消费项目的年出口量。生物承载力计算公式为:

$$W = N \sum_{i=1}^n \omega = N \sum_{i=1}^n a_i r_i y_i \quad (3)$$

式中: $W$  为区域总生物承载力; $\omega$  为人均生物承载力; $a_i$  为第  $i$  类消费品的人均生物生产面积; $y_i$  为第  $i$  类商品的产量因子。在计算生物承载力时出于谨慎考虑,根据世界环境发展委员会报告,生物承载力计算时应扣除 12% 的生物多样性保护面积。当一个地区的生态足迹小于该地区的生物承载力,就会出现生态盈余;反之就是生态赤字。目前全球有人均 0.4  $\text{hm}^2$  的生态赤字,因此评价区域环境的可持续性应该在这个前提下进行<sup>[16]</sup>。若一个区域的生态赤字大于全球生态赤字时,认为该区域是相对不可可持续发展的;反之是相对可持续发展的。

### 1.2 甘肃省 1990—2007 年生态足迹计算

根据甘肃省的实际情况,将人类生产、生活消耗的资源分为生物资源和能源资源。相应的,消费量的计算也由 2 部分构成:生物资源消费量和能源消费量。

1)生物资源消费量。在生态足迹计算中,生物生产性土地是指具有生物生产能力的土地或水体。主要考虑 6 种类型:耕地、林地、草地、建筑用地、水域和化石燃料用地。本研究采用全球一致的均衡因子,产量因子采用某国家或某地区某类土地的平均生产力与世界同类土地平均生产力的比率(表 1)。甘肃省生物资源消费项目包括农、林、牧、渔四大类生物产品的消费,折算成的生物生产性土地是耕地

表 1 生物生产性土地的均衡因子和产量因子  
Table 1 Balance factor and output factor of biological productive land

土地类型	均衡因子	产量因子
耕地	2.8	1.66
草地	0.5	0.40
林地	1.1	0.90
水域	0.2	1.00
建筑用地	2.8	1.66
化石能源用地	1.1	1.70

类土地产品、林地类土地产品、草地类土地产品、水域土地产品的消费。生物资源数据主要有农产品、动物产品、林产品、水果和木材几大类。

2)能源消费量。甘肃省能源消费数据主要包括:柴油、焦炭、煤炭、原油、汽油、煤油、燃料油、液化石油气、天然气、热力、电力等。计算能源足迹时,将能源消费转化为化石燃料用地面积。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进行折算(表2),根据能源折算系数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。根据甘肃省统计年鉴及相关文献资料,计算甘肃省1990—2007年各类生物生产性土地的人均生态足

迹和生物承载力(表3)。

表2 能源消费类型的折算系数

Table 2 Conversion factor of energy consumption types

能源消费类型	折算系数/(GJ/t)	能源消费类型	折算系数/(GJ/t)
煤炭	20.93	煤油	43.12
焦炭	28.47	柴油	42.71
原油	41.87	液化石油	50.20
燃料油	50.20	电力	11.84
汽油	43.12		

表3 甘肃省1990—2007年人均生态足迹和生物承载力

Table 3 Per capita ecological footprint and biological carrying capacity in Gansu during 1990 to 2007  $hm^2$

年份	人均生态足迹	人均生物承载力	人均生态盈余	年份	人均生态足迹	人均生物承载力	人均生态盈余
1990	1.042	1.361	0.319	1999	1.257	1.018	-0.239
1991	1.051	1.348	0.297	2000	1.269	1.153	-0.116
1992	1.025	1.301	0.276	2001	1.369	0.994	-0.375
1993	1.021	1.260	0.239	2002	1.368	1.085	-0.283
1994	1.036	1.188	0.152	2003	1.533	1.039	-0.494
1995	1.034	1.154	0.120	2004	2.491	1.425	-1.066
1996	1.135	1.227	0.092	2005	2.558	1.727	-0.831
1997	1.094	1.123	0.029	2006	2.321	1.471	-0.850
1998	1.211	1.174	-0.037	2007	2.453	1.380	-1.073

注:人均生物承载力的计算结果已扣除12%的生物多样性保护面积,生态盈余计算结果为负数表示生态赤字。

## 2 结果与分析

### 2.1 人均生态足迹供需动态变化

为了客观反映人均生态足迹供需动态变化,采用甘肃省1990—2007年最大 $e$ 或 $w$ 与最小 $e$ 或 $w$ 的比值 $C_m$ 衡量其相对变化幅度,采用差值 $\Delta C$ 反映其绝对变化幅度。

$$C_m = (e, w)_{\max} / (e, w)_{\min}$$

$$\Delta C = (e, w)_{\max} - (e, w)_{\min}$$

1990—2007年甘肃省人均生态足迹整体上是上升趋势(图1)。从1990年的人均生态足迹 $1.042 \text{ hm}^2$ 上升到2007年的 $2.453 \text{ hm}^2$ ,相对变化幅度为 $2.505$ ,绝对变化幅度为 $1.537 \text{ hm}^2$ 。1990—2007年人均生物承载力整体上呈现下降趋势,只有2004—2006年略微上升。人均生物承载力的相对变化幅

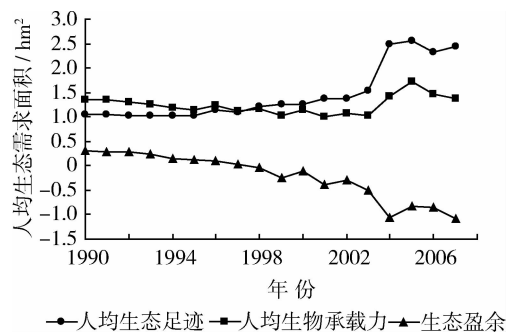


图1 甘肃省1990—2007年人均生态供需变化趋势

Fig. 1 Trend of per capita ecological supply and demand in Gansu during 1990 to 2007

度为 $1.737$ ,绝对变化幅度是 $0.733 \text{ hm}^2$ 。从人均生态足迹和人均生物承载力的变化幅度可以看出,随着经济步伐的加快,人类对自然资源的需求量越来

越大给生态环境带来了巨大的压力。生态盈余整体上为下降趋势,1990—1997 年人均生态足迹处于供大于需的阶段,生物承载力可以满足生态足迹的需求,但随着自然因素和人为因素的影响,1998—2007 年人均生态足迹处于生态赤字阶段,且生态赤字有逐年扩大的趋势。

### 2.2 生态系统发展评价

1)生态足迹多样性指数。生态足迹多样性指数  $H$  可用 Shannon-Weaver 公式计算:

$$H = - \sum (A_i \ln A_i) \quad (4)$$

式中: $A_i$  为第  $i$  种土地类型在总生态足迹中的比例。计算的生态足迹多样性由 2 部分组成:公平度(生态足迹的分配状况)和丰裕度(不同土地类型利用的数量)。Shannon-Weaver 公式不是一个单调函数,意味着生态经济系统中生态足迹的分配越接近平等,给定系统组分的生态经济系统的多样性就越高<sup>[17]</sup>。

2)生态系统的发展能力。由生态足迹乘以从系统角度推导的生态足迹多样性指数得到:

$$D = E(- \sum A_i \ln A_i) \quad (5)$$

式中: $D$  为发展能力; $E$  为国家或地区的生态足迹。根据表 3 中各种生物生产性土地类型的人均生态足迹的计算结果,利用式(5)测算甘肃省 1990—2007 年生态足迹发展能力指标。从图 2 可以看出甘肃省 1990—2007 年的生态足迹多样性整体变化趋势平缓,波动范围为 1.0~1.2,发展能力为 0.7~1.5。

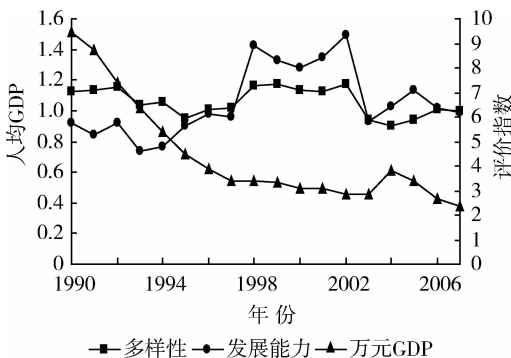


图 2 甘肃省 1990—2007 年生态系统发展评价指标和万元 GDP 足迹动态变化

Fig. 2 Dynamics changes of ecological system development evaluation index and ten thousand Yuan GDP in Gansu(1990—2007)

系统的发展能力与生态足迹的多样性变化趋势相似,说明随着生态足迹多样性的提高也带动了系统的发展能力。

3)万元 GDP 生态足迹分析。万元 GDP 生态足迹用于反映区域土地资源利用强度,可通过区域人均生态足迹除以人均国内生产总值(GDP)得到。万元 GDP 的生态足迹越小,表明区域土地的生产效率越高。甘肃省 1990—2007 年万元 GDP 生态足迹整体变化呈下降趋势(图 2),说明甘肃省的土地的生产效率在不断提高,同时这种下降趋势减缓,表明资源利用率提高的速度减小。将甘肃省 1990—2007 年的生态经济系统发展能力和人均 GDP 进行相关分析,二者呈现正相关( $r=0.3$ ),说明以生态足迹为指标,采用基于生态足迹的生态系统发展能力公式计算的结果可以很好的反映生态经济系统发展状况。利用计算的万元 GDP 生态足迹与生态足迹多样性指数进行相关分析,二者呈负相关关系( $r=-0.4$ ),说明生态足迹的多样性越高,万元 GDP 的生态足迹需求就越小,资源利用的效益也越高。根据上述分析,结合区域生态系统发展指标,通过寻找一种增长生态足迹多样性,减少万元 GDP,提高生态系统发展能力的方案以实现甘肃省的可持续发展。

### 2.3 人均生态赤字发展趋势分析及预测

假设甘肃省 2008—2017 年的发展模式、消费模式、人口增长率保持 1990—2007 年相同变化模式,利用时间序列(三次指数平滑)模型预测 2008—2017 年生态赤字状况(图 3):模型的生态赤字的增长呈现扩大化趋势,2017 年人均生态赤字可能达到 2.733  $hm^2$ 。随着生态赤字的加剧,甘肃省 2008—2017 年的可持续发展前景不容乐观。

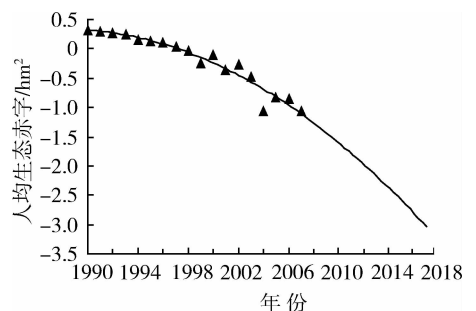


图 3 甘肃省 1990—2017 年人均生态赤字发展趋势

Fig. 3 Development trend of ecological deficit in Gansu during 1990 to 2007

### 3 结 论

1)1990—2007年甘肃省生态经济系统的发展能力整体呈上升趋势,万元GDP的生态足迹指标动态变化反映土地资源的利用率有所提高但速度减缓。

2)生态足迹模型是一种没有考虑时间因素缺乏预测功能的静态模型。在测算时间尺度上生态足迹和生物承载力发展内在规律及其预测未来的发展趋势上具有局限性<sup>[18]</sup>。由于人类消费水平具有一定的惯性,在没有战争、自然灾害等特殊原因的影响下,特定区域某一时期既定技术条件和消费水平下人类对生物承载力的需求和对生态环境的影响力也预示着其后一定时期内,该地区人口对生物承载力的基本需求和对环境的基本影响。基于此基础,区域生态足迹和生物承载力是可预测的。

3)利用时间序列(三次指数平滑)模型对甘肃省2008—2017年生态赤字发展趋势进行预测,结果表明,2008—2017年生态赤字不断加剧,甘肃省可持续发展前景不容乐观。

4)根据区域生态经济系统发展能力、万元GDP生态足迹及生态足迹多样性指数的相关分析结果可知,实现甘肃省可持续发展需寻求一条增长生态足迹多样性,减少万元GDP,提高生态系统发展能力的有效途径。

### 参 考 文 献

[1] 白钰,曾辉,魏建兵.关于生态足迹分析若干理论与方法问题的思考[J].北京大学学报:自然科学版,2008,44(3):493-500

[2] Hardi P, Barg S, Hodge T, et al. Measuring sustainable development:review of current practice[J]. Occasional Paper, 1997,17(11):1-2,49-51

[3] Cataned B E. An index of sustainable economic welfare (ISEW) for Chile[J]. Ecological Economics,1999,28(2):231-224

[4] Hamilton C. The genuine progress indicator methodological developments and results from Australia [J]. Ecological Economics,1999,30(1):13-28

[5] Rees W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity:What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization,1992,4(2):121-130

[6] Wackernagel M,Rees W E. Our Ecological Footprint:Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island, BC: New Society Publishers,1996:159

[7] Rees W E, Wackernagel M. Urban ecological footprints, why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability[J]. Environment Impact Assessment Review, 1996,16:223-248

[8] 徐中民,张志强,程国栋.甘肃省1998年生态足迹分析与计算[J].地理学报,2000,55(5):607-616

[9] 鲁春霞,谢高地,成升魁,等.青藏高原自然资源利用的生态空间占用评价[J].资源科学,2001,23(6):29-35

[10] 蒋依依,王仰麟,卜心国,等.国内外生态足迹模型应用的回顾与展望[J].地理科学进展,2005,24(2):13-23

[11] 杨莉,刘宁,戴明忠,等.城镇化进程中居民生活消费的生态环境压力评估:以江苏省江阴市为例[J].生态学报,2008,28(11):5610-5618

[12] 张颖.北京市生态足迹变化和可持续发展的影响研究[J].中国地质大学学报:社会科学版,2006,6(4):47-56

[13] 吴开亚,金菊良,魏一鸣,等.基于指标体系的流域水安全诊断评价模型[J].中山大学学报:自然科学版,2008,47(4):105-113

[14] 赵锐,刘丹,李启彬,等.校园生活垃圾的生态足迹估算与分析[J].安徽农业科学,2008,36(14):4618-4620

[15] 贾永飞,施国庆,孙中良,等.基于生态足迹法的移民安置区生态承载力研究:以丹江口水库工程浙川库区为例[J].水利水电科学进展,2009,29(3):32-36

[16] 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(8):8-10

[17] 徐中民,张志强,程国栋,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

[18] 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

(责任编辑:刘迎春)