

黄土高原分省区生态足迹分析

张青峰, 孟凡相, 吴发启

(西北农林科技大学资源环境学院 遥感与地理信息系统研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 应用生态足迹模型, 对黄土高原各省区 2004 年资源消费现状进行了实证的计算和分析, 分别得出各省的人均生态足迹、生态承载力、人均赤字、适度人口等指标。结果表明, 内蒙古处于可持续发展状态, 但对草地和水域的需求仍然较大; 其余各省生态赤字巨大, 这些省的土地供给已远不能满足人们对土地的需求, 均处于生态不可持续发展状态; 河南和陕西的人口超载率较高。对黄土高原各省区生态赤字存在的主要原因及生态足迹模型计算中存在的问题进行了讨论。

关键词: 生态承载力; 生态赤字; 可持续发展

中图分类号: S 181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008) 04-0205-05

自 1987 年可持续发展的概念提出以来, 全球掀起对可持续发展的研究高潮, 各国主要从经济学、生态学、社会学和系统学 4 个方向来揭示可持续发展的内涵与实质, 随之建立各类指标体系, 对各种空间尺度和时间尺度上的可持续发展状况进行研究与探讨, 其目的是确定人与自然的和谐共处^{1~4}。生态足迹分析法是由加拿大生态经济学家 E·R·William 和 M·Wackernagel 于 1992 年提出的一种度量可持续发展程度的定量方法⁵。1999 年其理论被引入我国, 并很快作为一种新的理论方法被用于定量分析一些省市和地区的可持续发展问题。本文对黄土高原各省区 2004 年的生态足迹和生态承载力进行了研究, 试图用生态足迹理论方法评价黄土高原各省的可持续发展程度。

1 黄土高原地区概况

黄土高原东至太行山, 北抵阴山, 西至日月山, 南靠秦岭, 地跨宁夏、山西、陕西、甘肃、内蒙古、青海和河南 7 省区, 分属 282 个县(市、旗), 人口约 10 589 万人, 总面积为 63.54 万 km², 约占全国土地总面积的 6.6%。其中, 水土流失面积约 45.4 万 km², 多沙粗沙区面积 7.86 万 km²。年均输入黄河泥沙 16 亿 t, 是我国乃至世界水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区。

2 概念模型介绍

2.1 生态足迹概念及计算

生态足迹是指生产特定人口所消费的资源 and 能

源以及吸纳这些人口产生的废物所需要的生物生产性土地的总面积。生物生产性土地是指具有生物生产能力的土地和水体。该理论的核心观点是把人类对资源和环境的利用换算成对土地和水域面积的占用, 反映资源消耗和废物吸收所需要的生物生产性土地面积。

在对生态足迹各指标计算中, 各类资源和能源消费项目被折算为 6 类生物生产性土地: 化石能源地、耕地、草地、林地、建筑用地和水域。将 6 类生物生产性土地分别赋予不同的均衡因子, 使这些具有不同生物生产力的生物生产性土地转化为具有相同生物生产力的生产性土地, 从而便于计算及横向比较。均衡处理后的 6 类生物生产性土地即为具有世界平均生物生产力的全球平均生物生产性土地。

生态足迹分析的重点是生态足迹的计算。黄土高原的生态足迹主要由生物资源消费、能源消费和贸易调整三部分组成。生物资源消费部分包括农产品、动物产品、林产品、木材和水果等; 能源消费部分包括煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油、电力等; 贸易调整部分主要是考虑越区域界限贸易对生物资源消费和能源消费的影响而对当前的消费额进行的调整, 出口为负值, 进口为正值, 计算净消费额。由于贸易数量小, 故许多项目的生态足迹贸易调整很小, 在此不再统计。

2.2 生态承载力概念及计算

生态承载力指一个地区或国家所能提供给人类的生物生产性土地面积。由于单位面积生物生产性土地的生物生产能力差异很大, 有必要对每种生物

收稿日期: 2007-08-06

基金项目: 国家自然科学基金(40501031); 西北农林科技大学科研专项(08080115)

作者简介: 张青峰(1974—), 男, 山西孝义人, 讲师, 在读博士, 主要从事土地资源与空间信息技术方面的研究。

生产面积乘以均衡因子,使计算结果转化为统一的、可比较的生物生产面积。同时,由于同类生物生产土地的生产力在不同地区或国家存在差异,无法直接进行对比。产出因子是将各国各地区同类生物生产土地转化为可比面积的参数,是一个国家或地区某类土地的平均生产力与世界同类平均生产力的比率^[1]。因此在计算生态承载力时,将现有各种物理空间的面积乘以相应的均衡因子和当地的产量因子,即可得到带有世界平均产量的世界平均生态承载力。同时,根据世界环境与发展委员会的建议,出于可持续发展的需要,在总量中应扣除 12% 的生物多样性保护面积^[1~4]。

2.3 生态赤字/盈余

当生态承载力小于生态足迹时,出现生态赤字,其大小等于生态足迹减去生态承载力的差数。生态赤字表明该地区的人类负荷超过了其生态容量,要满足其人口在现有生活水平下的消费需求,就需要从该地区之外进口欠缺的资源 and 能源以平衡生态足迹,或者通过消耗自然资本来弥补收入供给流量的不足,这两种情况都说明该地区的发展模式处于相对不可持续状态,其不可持续程度可用生态赤字来衡量;反之,当生态承载力大于生态赤字时,则产生生态盈余,其大小等于生态承载力减去生态足迹的余数。生态盈余表明该地区的生态容量足以支持其人口负荷,地区内自然资本的收入流大于人口消费的需求流,地区自然资本的总量有可能得到增加,地区的生态容量有望扩大,该地区消费模式具有相对

可持续性,其可持程度可用生态盈余来衡量。

生态足迹和生态承载力可简单用下列公式表示^[5,9]:

$$EF = N \times \sum \gamma \times ef = N \times \sum_{i,j=1}^n \gamma \times (A_i) \\ = N \times \sum_{i,j=1}^n \gamma \times (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N) \\ (i, j = 1, 2, 3 \dots 6) \quad (1)$$

$$EC = N \times ec \times (1 - 12\%) = 88\% \times N \times \\ \sum_{j=1}^n (A_j \times \gamma \times y_j) \quad (j = 1, 2, 3 \dots n) \quad (2)$$

式中, EF 为总的生态足迹(hm^2), ef 为人均生态足迹($\text{hm}^2/\text{人}$); N 为地区总人口数(人); i 为消费项目类型; A_i 为各消费项目人均占用的生物生产面积($\text{hm}^2/\text{人}$); γ 为均衡因子; P_i 为各项目的平均生产能力(kg); I_i 为各消费项目的年进口量(kg); E_i 为各消费项目的年出口量(kg); Y_i 为各消费项目相应生物生产性土地世界年平均产量(kg/hm^2); EC 为总生态承载力(hm^2); ec 为人均生态承载力($\text{hm}^2/\text{人}$); A_j 为各类生物生产性土地人均真实面积($\text{hm}^2/\text{人}$); y_j 为产量因子。

区域人均生态赤字(盈余) ed 和总生态赤字(盈余) ED 计算公式分别为:

$$ED = EF - EC = N \times ed = N \times (ef - ec) \quad (3)$$

本文均衡因子采用 Wackernagel^[3] 确定的 6 种生物生产土地均衡因子(表 1)。

表 1 均衡因子和产量因子

Table 1 Value of equivalence factors and yield factors

项目 Items	耕地 Arable land	林地 Forestry	草地 Pasture	水域 Water area	化石能源地 Fossil energy land	建筑用地 Built up land
均衡因子 Equivalence factor	2.80	1.10	0.50	0.20	1.10	2.80
产量因子 Yield factor	1.66	0.91	0.19	1.00	0.00	1.66

3 黄土高原分省区生态足迹计算与分析

根据上面计算公式,分别得出黄土高原各省区不同生物生产性土地生态赤字(盈余)。

3.1 分省区人均生物生产性土地生态足迹

各省区人均生态足迹状况见图 1。

由图 1 可知,在人均耕地部分,存在生态赤字的省份有陕西($0.756 \text{ hm}^2/\text{人}$)、河南($0.425 \text{ hm}^2/\text{人}$)和青海($0.003 \text{ hm}^2/\text{人}$)。生态盈余的省份为甘肃($0.055 \text{ hm}^2/\text{人}$)、山西($0.206 \text{ hm}^2/\text{人}$)、宁夏($0.399 \text{ hm}^2/\text{人}$)和内蒙古($0.466 \text{ hm}^2/\text{人}$);在人均草地部

分,只有青海存在生态盈余,其余各省区都存在着生态赤字,且宁夏($0.576 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 内蒙古($0.418 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 河南($0.306 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 山西($0.253 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 陕西($0.110 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 甘肃($0.109 \text{ hm}^2/\text{人}$);在人均林地部分,内蒙古($1.379 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 甘肃($0.165 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 宁夏($0.088 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 山西($0.042 \text{ hm}^2/\text{人}$) > 陕西($0.007 \text{ hm}^2/\text{人}$) 为生态盈余省份,青海($0.671 \text{ hm}^2/\text{人}$)和河南($0.011 \text{ hm}^2/\text{人}$)存在着生态赤字;在人均水域部分,青海和甘肃为生态盈余省份,其余均为生态赤字省份;在人均化石能源地部分,黄土高原各省区均为生态赤字

省份;而在人均建筑用地部分,各省区均为生态盈余

省份。

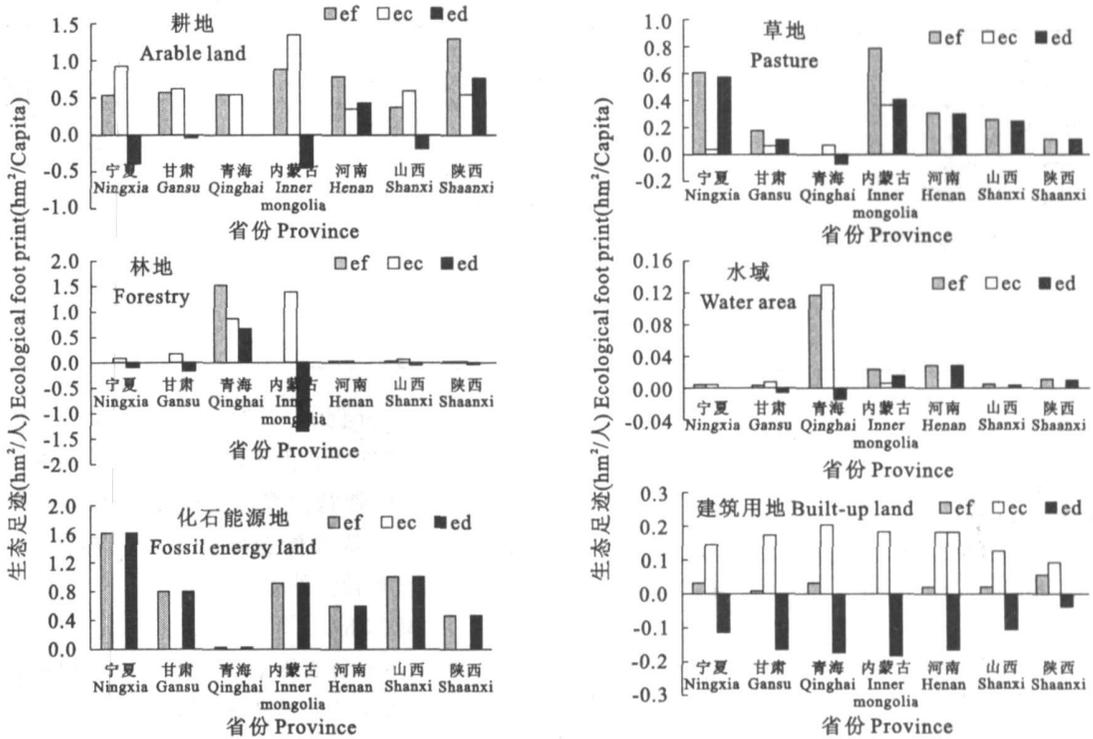


图 1 黄土高原分省区人均生态盈余/赤字对比

Fig. 1 Contrast of provincial ecological surplus / deficit per capita in the Loess Plateau

3.2 分省区人均生态足迹和总生态足迹

分省区人均生态足迹及总生态足迹状况见图 2。

从图 2 来看,只有内蒙古存在着人均生态盈余,其余各省区人均生态赤字状况分别为:宁夏(1.740 hm²/人) > 陕西(1.374 hm²/人) > 河南(1.271 hm²/人) > 山西(1.007 hm²/人) > 甘肃(0.646

hm²/人) > 青海(0.645 hm²/人)。相应地,内蒙古(6.58 × 10⁶ hm²) 为总体生态盈余省份,其余各省区总生态赤字状况为:河南(123.52 × 10⁶ hm²) > 陕西(50.91 × 10⁶ hm²) > 山西(33.59 × 10⁶ hm²) > 甘肃(16.91 × 10⁶ hm²) > 宁夏(10.23 × 10⁶ hm²) > 青海(3.48 × 10⁶ hm²)。

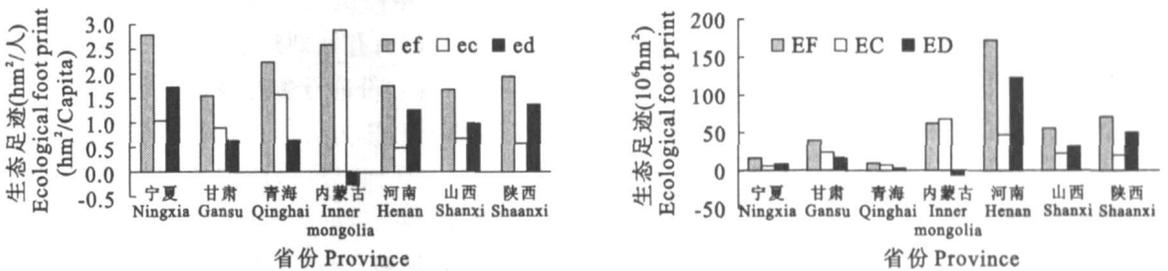


图 2 分省区生态足迹对比

Fig. 2 Comparison of the provincial ecological footprint in the Loess Plateau

3.3 整体总生态足迹状况

从整体来看,各土地类型总生态足迹状况见图 3。

从各省区整体情况来看,除林地和建筑用地存在生态盈余外,其余各土地利用类型均存在不同程度的生态赤字状况,分别为化石能源地(575.001 × 10⁶ hm²) > 草地(179.506 × 10⁶ hm²) > 耕地(6.139 × 10⁶ hm²) > 水域(4.883 × 10⁶ hm²)。

3.4 各省区适度人口预测

在现有生态承载力条件下,维持现有的人均消费状况所能承受的最大人口数即适度人口^[7]。其计算公式为:

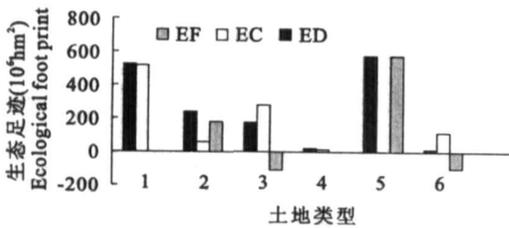
$$\text{生态适度人口 } P = \text{生态总承载力} / \text{人均生态足迹} = EC / ef。$$

可知, P 为现实消费水平下的适度人口。

表 2 黄土高原各省区适度人口预测

Table 2 Projection of the provincial moderate population of the Loess Plateau

省份 Province	现有人口(万人) Current population($\times 10^4$)	适度人口(万人) Suitable population($\times 10^4$)	多余人口(万人) Redundant population($\times 10^4$)	超载率(%) Overloading rate
宁夏 Ningxia	588	224	364	162
甘肃 Gansu	2619	1534	1085	71
青海 Qinghai	539	384	155	40
内蒙古 Inner Mongolia	2384	2635	-251	-10
河南 Henan	9717	2722	6995	257
山西 Shanxi	3335	1357	1978	146
陕西 Shaanxi	3705	1116	2589	232



注 Note: 1.耕地 Arable land; 2.草地 Pasture; 3.林地 Forestry; 4.水域 Water area; 5.化石能源地 Fossil energy land; 6.建筑用地 Built-up land

图 3 各土地类型总生态足迹状况

Fig. 3 Ecological footprint of different land use types

由表 2 可知,从黄土高原总体来看,除内蒙古之外,其余各省区均存在人口超载的现象。超载率分别为:河南(257%) > 陕西(232%) > 宁夏(162%) > 山西(146%) > 甘肃(71%) > 青海(40%),这些省份处在生态不可持续发展状态,亟需要控制人口增长,并向其它生态可持续发展的省份进行生态移民。

4 结论与建议

本文应用生态足迹模型,通过大量数据采集和计算处理,对黄土高原各省 2004 年生态足迹进行了计算。

4.1 生态赤字分析

由图 1 可以看出,各省区存在生态赤字的主要原因为:除化石能源地外,河南、陕西对其它用地的需求均比较大,这两个省份处于高度不可持续发展状态;青海对林地的需求较大;宁夏对草地和化石燃料用地需求过大;内蒙古虽然整体处于可持续发展状态,但对草地和水域的需求仍然较大。从各省区整体来看(图 2),宁夏人均生态赤字最大,而河南总生态赤字最大。从巨大的生态赤字可以看出,这些省的土地供给已远不能满足人们对土地的需求。其中化石能源地生态赤字最大(图 3),占总生态赤字的 75.11%。由于并没有留出草地来吸收燃料燃烧

排放的 CO₂,因此化石燃料用地就成了生态赤字最主要的组成部分。由于国家对林业的巨额投资和政策上的扶持,使黄土高原各省区林地面积和蓄积量出现双增长,森林覆盖率有了较大幅度的增长,因此,林地也有较大的生态盈余。

4.2 对策分析

黄土高原各省区造成生态赤字的原因主要是对人类自然资源的过度利用造成的,那么是否可以在满足当代人们生活水平前提下,增加生态足迹,降低生态承载力,从而减少生态赤字,达到生态经济的可持续发展,回答是可能的。可以通过逐渐减少资源消耗,不断提高资源利用效率,提高经济增长质量,使黄土高原各省区逐步走上了资源节约的发展道路。

(1) 采用高新技术,提高耕地、草地、林地单位面积的生物产量,实行集约化生产,高效利用现有资源存量,改变人们的生产和生活消费方式,建立资源节约型社会生产和消费体系成为必须的选择。

(2) 严格控制人口增长,以减少新增人口的资源和能源消耗;有计划地进行劳务输出并向生态可持续发展的省份进行生态移民,以缓解对生物生产性土地的承载压力。

(3) 宁夏、甘肃、山西继续实施退耕还草工程,增加草地面积,同时各省区应调整能源结构,大力开发太阳能、风能、天然气等清洁能源。

(4) 高速的城市化导致城市建筑规模和面积不断增大。同时,城市化引起建筑用地挤占生态环境用地,工农业生产和居民生活用水挤占生态环境用水等矛盾。因此,合理的城市化规模与速度必将极大促进区域环境与生态的健康发展。

4.3 生态足迹模型分析

生态足迹模型紧扣可持续发展理论,是涉及系统性、公平性和发展的一个综合指标。以人们容易理解的生态生产性土地作为基本评价指标,其结果直观明确,易于被人们接受。对黄土高原各省区生

态足迹的分析警示了我们离可持续发展究竟还有多远,但在计算中,有两个问题值得进一步商榷。

4.3.1 化石能源的用地处理 通常,化石能源的开发利用意味着存量的枯竭和废气物的产生。因此,从流量评价的角度,针对化石能源的开发利用,可从提供消耗能量的替代物和吸收产生的废气物所需要的土地面积这两个角度来处理化石能源用地。因数据资料的限制,提供消耗能量的替代物只是考虑到了嵌入能量的影响,没有考虑开采、加工等过程造成的影响。废气物的处理主要考虑那些自然系统具有潜在再生能力的废气物的影响。如排放的聚氯联二苯(PCB)、温室气体 CH_4 等,这些气体对自然的再生能力有明显影响,但在计算中也没有考虑。因自然系统对 CO_2 具有明显的吸收能力,而且资料比较充足,因此该模型在计算能源净消费所需的生物生产面积时主要计算吸收燃烧化石燃料所产生的 CO_2 所需的生物生产面积^[9],这也会导致结果的偏差。

4.3.2 转化因子 在将生产能力差异较大的耕地、化石能源地、草地、林地等转化为可比较的生物生产型面积时,采用乘转化因子(均衡因子和产出因子)的方法。模型中对转化因子的确定假定了不同的生物生产面积之间固定的替代弹性,主要是考虑生物物理方面的因素。事实上,它们之间的环境影响是不可相互替代的,也未考虑长期的技术潜力和社会方面的权重(如市场价格的影响)。均衡因子在国际上虽有统一的取值,而在不同的国家和地区其均衡因子是否相同,值得进一步探讨研究。各地区不同

类型生物生产性土地的产量因子的确定需要有该地区各类生物生产性土地的准确产量数据,加上各地区各类生物生产性土地的产量因子使用国家统一的而非地区的产量因子,会使区域生态承载力计算出现较大的误差。

参考文献:

- [1] 张青峰,吴发启,田冬,等.陕西省2003年生态足迹计算分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):35-40.
- [2] Wackernagel M, Schulz N B, Deuring Detal. Tracking the Ecological Overshoot of the Human Economy[J]. Proc. Natl. Acad. Sci., 2002, 99: 9266-9271.
- [3] 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.
- [4] 曹淑艳,谢高地.基于投入产出分析的中国生态足迹模型[J].生态学报,2007,27(4):1499-1507.
- [5] 赵先贵,高利峰,马彩虹,等.中国生态足迹的动态研究[J].中国生态农业学报,2007,15(1):149-152.
- [6] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法的理论解释[J].中国人口·资源与环境,2006,16(6):69-78.
- [7] 王恩涌.人文地理学[M].北京:高等教育出版社,2001.90-91.
- [8] 黄青,任志远,王晓峰.黄土高原地区生态足迹研究[J].国土与自然资源研究,2003,2:57-58.
- [9] 张青峰,吴发启,李华,等.陕西省子洲县生态足迹分析[J].中国水土保持科学,2007,5(2):117-121.
- [10] 陈冬冬,高旺盛,陈源泉.生态足迹分析方法研究进展[J].应用生态学报,2006,17(10):1983-1988.
- [11] 陈敏,王如松,张丽君,等.中国2002年省域生态足迹分析[J].应用生态学报,2006,17(3):424-428.
- [12] 章鸣,叶艳妹.杭州市生态足迹计算与分析[J].中国土地科学,2004,18(4):25-30.

Provincial ecological footprint of the Loess Plateau

ZHANG Qing feng, MENG Fan xiang, WU Fa qi

(CRSGIS, CRE, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The ecological footprint model initiated by William E. Rees and Wackernagel Mathis is adopted to verify provincial sustainable development condition on the Loess Plateau in 2004 through large amount of data collection and calculation. At the same time, provincial resources consumption are calculated and analyzed, including average ecological footprint, ecological capacity, ecological deficit and moderate demographic indicators. The result shows that Inner Mongolia is in the sustainable development state though there is a larger demand at grassland and water area. While an obvious ecological deficit exists at the remaining provinces separately. It means current land supply of these provinces can not meet the demand for land, so these provinces are now in an unsustainable ecological development state. Population of Henan and Shaanxi have the higher overloading rate compared with others. Finally, according to the calculation results, the main reasons of ecological deficit existing for these provinces are to be identified and analyzed for future development. Also specific proposals are set forward simultaneously for the realization of regional sustainable development. Meanwhile, the problems of the ecological footprint model which need to be noticed are briefly discussed.

Key words: ecological capacity; ecological deficit; sustainable development