

文章编号: 0375-5444 (2000) 05-0607-10

甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析

徐中民¹, 张志强^{1,2}, 程国栋¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000;

2. 中国科学院资源环境科学信息中心, 兰州 730000)

摘要: 可持续发展定量测度的核心是确定人类是否生存于生态系统的承载力范围之内。M. Wackernagel 等 1996 年以来提出和发展的生态足迹方法, 就是一种定量测量人类对自然利用程度的新方法。该方法通过将区域的资源和能源消费转化为提供这种物质流所必须的各种生物生产土地的面积 (生态足迹需求), 并同区域能提供的生物生产型土地面积 (生态承载力或生态足迹供给) 进行比较, 能定量判断一个区域的发展是否处于生态承载能力的范围内。介绍了生态足迹的概念、生态足迹计算模型、生态足迹模型中使用的生物生产面积类型及其状况。另外, 简要介绍了当前国际研究的进展情况, 分析总结了生态足迹模型的优缺点。对甘肃省 1998 年的生态足迹进行了实证计算和分析, 结果表明甘肃省 1998 年人均生态赤字为 0.564 hm^2 。

关键词: 生态足迹; 可持续性测量; 生物生产面积; 甘肃省

中图分类号: P967 **文献标识码:** A

可持续发展是一种全新的发展战略和发展观, 但要将这种发展理念变成可操作的发展模式, 就必须定量测度发展的可持续性状态^[1]。由于传统的国民经济帐户指标 GNP 在测算发展的可持续性方面存在明显缺陷, 为此, 一些国际组织及有关研究人员从 20 世纪 80 年代开始就努力探寻能定量衡量国家或地区发展的可持续性指标^[2,3]。联合国教科文组织早在 1987 年就号召研究可持续发展的指标体系, 希望通过可持续发展指标体系所携带的信息使政策制定者和公众对判断一个国家或地区社会经济环境的发展是否沿可持续发展前进有一个较直观的认识。联合国开发计划署也于 1990 年 5 月在其第一份《人类发展报告》中首次公布了人文发展指数 (HDI); 1992 年联合国环境与发展大会后, 建立“可持续发展指标体系”已成为国际上可持续发展研究的热点内容之一。随着研究的深入, 可持续发展的各种指标体系不断提出, 如绿色国内生产总值 (绿色 GDP) 和可持续的经济福利指标 (ISEW) 等可持续性指标等^[3,4]。至今已有很多研究结果表明, 发展的可持续性主要取决于自然资产^[5-7]。但是由于很难定量测量生态目标, 这方面的研究进展一直较缓慢。

人类的生存依赖于自然, 该生态准则的涵义是明显的。人类社会必须生存于生态系统的承载力范围内。从生态经济学的角度而言, 就是人类社会要取得发展的强可持续性, 人

收稿日期: 2000-03-21; 修订日期: 2000-05-14

基金项目: 国家自然科学基金重点基金资助项目 (No. 49731030) 和中国科学院 1998 年“西部之光”课题“甘肃省 21 世纪生态环境建设与可持续发展研究”资助项目 [Foundation Item National Natural Science Key Foundation of China, No. 49731030; CAS's Personnel Training Project of Western China "Eco-environment Construction and Sustainable Development Research of Gansu Province in 21st Century"]

作者简介: 徐中民 (1973-), 男, 湖南长沙人, 博士, 主要从事生态经济方面的研究。E-mail: xzmir@ns.lzb.ac.cn

类必须维持自己的自然资源存量。但是自1987年世界环境与发展委员会(WCED)提出可持续发展的概念至今,世界人口、贫困、消费日益增加,生物多样性、森林面积日益减少,人类生存在一个更加危险的世界中。许多证据表明,人类正在远离可持续性。为了将可持续发展理念变成现实的可操作的目标,人类必须知道自己对自然资源利用的状况,因此需要一个可操作的工具去测量人类的需求是否仍在自然资源能提供的范围内^[2,3]。以前已有很多科学家在这方面做过尝试,如Vitousek等1986年测算的人类利用自然系统的初级生产能力等^[8]。比较这些研究方法,它们的研究目的都一样,都是为了使生态状况可测量,为了将可持续性转化为具体的指标来测量人类是否生存于生态系统承载力的范围内。对于这类研究目标,生态足迹方法是一种简单但综合的研究尝试^[9]。

1 生态足迹模型介绍

1.1 生态足迹概念和模型

由于任何人都要消费自然提供的产品和服务,所以均对地球生态系统构成影响。因此,测量人类对自然生态服务的需求与自然所能提供的生态服务之间的差距具有重要的意义。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,人类经济社会的发展就处于可持续的范围内。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?Wackernagel(1996)^[3,10]提出的生态足迹(ecological footprint)的概念就是为了回答这个问题,它通过测定现今人类为了维持自身生存而利用自然的量来评估人类对生态系统的影响。生态足迹的计算是基于以下两个基本事实:①人类可以确定自身消费的绝大多数资源及其所产生的废弃物的数量;②这些资源和废弃物流能转换成相应的生物生产面积(biologically productive area)因此,任何已知人口(某个人、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资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产总面积(包括陆地和水域)其计算公式如下^[3]:

$$EF = Nef = N \sum (aa_i) = N \sum (a_i / p_i) \quad (1-1)$$

式中 i 为消费商品和投入的类型; p_i 为 i 种消费商品的平均生产能力; a_i 为 i 种商品的人均消费量; aa_i 为人均 i 种交易商品折算的生物生产面积; N 为人口数; ef 为人均生态足迹; EF 为总的生态足迹。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。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。生态足迹测量了人类的生存所必需的真实生物生产面积。将其同国家和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。

1.2 生态足迹模型中使用的生物生产面积的类型

在生态足迹帐户核算中,生物生产面积主要考虑如下6种类型^[10,11]:化石燃料土地、可耕地、林地、草场、建筑用地和水域。

(1)化石燃料土地:人类所需的生态足迹反映了对自然的竞争性索取。化石燃料土地是人类应该留出用于吸收 CO_2 的土地,但目前事实上人类并未留出这类土地。换句话说,人

类消费的生物化石燃料的生物化学能既未被代替,其废弃物也未被吸收,即人类在直接消耗自然资源而不是其“利润”。在这里值得注意的是,将 CO_2 吸收所需要的生态空间同生物多样性保护和林地分开并非意味着重复计算,因为老年林吸收 CO_2 的能力远远低于新生林,而后者又缺乏前者所具有的生物多样性。同时用于 CO_2 吸收的林地如用于木材的生产,则在木材的加工过程中也会排放 CO_2 。因此在处理化石燃料土地类型时将它与生物多样性的保护面积和林地面积区分开来。另外化石原料的消费在排出 CO_2 的时候可能还会排放有毒污染物造成其它生态危害,这些在目前的生态足迹计算中未能考虑。目前还没有证据表明哪个国家专门拿出一部分土地用于 CO_2 的吸收,出于生态经济研究的谨慎性考虑原则,在生态足迹的需求方面,考虑了 CO_2 吸收所需要的化石燃料的土地面积。

(2) 可耕地: 从生态角度看是最有生产能力的土地面积类型,在可耕地面积上生长着人类利用的大部分生物量。根据联合国粮农组织的调查,目前世界上人类总共耕种了大约 $13.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的优质可耕地。而每年由于严重退化而放弃的耕地有 $1000 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 左右。这意味着,现今全人类人均不到 0.25 hm^2 的优质耕地。

(3) 林地: 林地包括人工林和天然林。森林除了提供木材以外还有涵养水源、稳定气候状况、维持大气水分循环、防止土壤流失等诸多功能。目前在地球上约有 $5 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的林地,人均 0.9 hm^2 左右。其中有 $17 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的面积上林木的覆盖率不足 10%。由于人类对森林资源的过度开发,全世界除了一些不能接近的热带丛林外,现有林地的生物量生产能力大多较低。

(4) 草场: 人类主要用草场来饲养牲畜。相比较目前的 $33.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的草场(人均 0.55 hm^2) 的生产能力比可耕地要低得多。草场积累生物量的能力比可耕地要低得多,从植物转化为动物生物量使人类损失了大约 10% 的生物量。

(5) 建筑用地: 根据联合国的统计,目前人类定居和道路建设用地面积大约人均 0.06 hm^2 。由于人类定居在最肥沃的土壤上,因此建筑面积的增加意味着生物生产量的明显降低。

(6) 水域: 目前地球上的海洋面积在 $360 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 左右,人均稍多于 6 hm^2 。其中 8.3% 水域(人均 0.5 hm^2) 提供了全海洋 93% 的生物产品。目前海洋的生物产量已接近最大。

1.3 生态足迹目前的研究简介

Wackernagel等^[10,11]应用生态足迹模型对世界上 52个国家和地区 1993年的生态足迹进行了实证计算研究,结果表明,要维持目前的消费水平,每个普通加拿大人需要近 7 hm^2 生物生产土地面积和 1 hm^2 生物生产海域面积(合计人均生态足迹为 7.7 hm^2),而其人均生态承载力为 9.6 hm^2 ,尚有 1.9 hm^2 的生态盈余;相应地,普通美国人的生态足迹要比这个数字大 30%,为 10.3 hm^2 ,但其人均生态承载力为 6.7 hm^2 ,其人均生态赤字为 3.6 hm^2 ;普通意大利人的人均生态足迹为 4.2 hm^2 ,其人均生态承载力仅为 1.3 hm^2 ,人均生态赤字为 2.9 hm^2 ;普通瑞典人的生态足迹为 5.9 hm^2 ,其人均生态承载力供给为 7.0 hm^2 ,尚有 1.1 hm^2 的生态盈余。需要指出的是,据 Wackernagel等的计算,中国 1993年的人均生态足迹为 1.12 hm^2 ,而其人均生态承载力仅为 0.8 hm^2 ,人均生态赤字为 0.4 hm^2 。这些数据可能仍然低估了这些国家的人维持其现今的生活水平所实际需要的生物生产土地面积^[5,6]。生态足迹的赤字部分主要靠进口和枯竭自然资源获得。

就全球平均而言, 1993年人均生态足迹为 2.8 hm^2 , 而人均生态承载力为 2.1 hm^2 , 人均生态赤字为 0.7 hm^2 , 所计算的 52个国家和地区中的 35个国家和地区存在生态赤字, 只有 12个国家和地区的人均生态足迹低于全球人均生态承载力。这 52个国家和地区的人类消费已超过了这些国家和地区生态承载力总和的 33%。按 1997年世界上 58.924 8亿人口计算, 全球现有生物生产土地和海洋面积, 人均生态承载力仅为 2.3 hm^2 , 如果按世界环境与发展委员会 (WCED) 的报告《我们共同的未来》所建议的, 留出 12% 的生物生产土地面积以保护生物多样性即保护地球上的其他 3 000万个物种的话, 则实际人均生态承载力减少到 2 hm^2 , 则人均生态赤字增加为 0.8 hm^2 。因此人均 2 hm^2 的生物生产面积就是 1997年全球人均生态承载力底线 (bottom-line) 或生态阈值 (ecological benchmark)^[11]。从全球范围而言, 人类的生态足迹已超过了全球生态承载力的 30%, 也就是说, 人类现今的消费已超出了自然的再生产能力, 即在耗尽全球的自然资产存量。

2 甘肃省 1998年生态足迹的计算分析

根据生态足迹的概念及其计算方法, 对甘肃省 1998年的生态足迹进行实际计算和分析。甘肃省能供给生物生产面积的类型及数据见表 1

甘肃省 1998年的生态足迹计算主要由三部分组成: ① 生物资源的消费 (主要是农产品和木材); ② 能源的消费; ③ 贸易调整部分。

生物资源消费分为农产品、动物产品、林产品、水果和木材等大类, 按此各大类下有一些细分类。生物资源生产面积折算的具体计算中采用

联合国粮农组织 1993年计算的有关生物资源的世界平均产量资料^[10, 11] (采用这一公共标准主要是为了使计算结果可以进行国与国、地区和地区之间的比较), 将甘肃省 1998年的消费转化为提供这类消费需要的生物生产面积 (表 2) 生物资源消费采用的计算方法如下^[11]:

$$EF_i = \frac{P_i + I_i - E_i}{Y_{average}} \quad (2-1)$$

式中 EF_i 为 i 种资源的消费的足迹; P_i 为 i 种生物资源的总生产量; I_i 、 E_i 为 i 种资源消费的进口和出口量; $Y_{average}$ 为世界上 i 种生物资源的平均产量

能源平衡帐户部分根据资料处理了如下几种能源: 煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力。计算足迹时将能源的消费转化为化石燃料生产土地面积。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^[10, 11], 将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石燃料土地面积^[12] (表 3)

由于贸易的影响, 一个国家或地区的生态足迹可以跨越地区界限, 在生物资源和能源的消费额中应该考虑贸易调整, 调整部分主要是考虑贸易对生物资源和能源消费的影响而对当前的消费额进行调整, 计算净消费额。生物资源消费的调整相对比较简单, 只要将生物资源的类型与生物生产面积的类型配比就可, 这里仅简单介绍一下能源部分贸易调整采用的计算方法:

表 1 甘肃省 1998年生物生产面积
Tab. 1 The biologically productive area of Gansu province in 1998

土地类型	土地面积 /10 ⁴ hm ²	占全省总面积 /%	人均面积 /hm ²
耕地	348.89	7.68	0.138
林地	425.69	9.37	0.169
草地	1 663.95	36.62	0.661
水域	109.62	2.44	0.044

表 2 甘肃省生态足迹计算中生物资源帐户

Tab. 2 The ecological footprint ledger of the biotic resources in Gansu province

	全球平均产量 /(kg /hm ²)	甘肃省生物量 /t	总的足迹 /hm ²	人均足迹 /(hm ² /人)	生产面积 类型
农产品产量					
粮食	2 744	8 719 500	3 177 660. 350 0	0. 126 129 2	耕地
谷物	2 744	7 294 200	2 658 236. 152 0	0. 105 511 9	耕地
稻谷	2 744	58 100	21 173. 469 4	0. 000 840 4	耕地
小麦	2 744	4 152 500	1 513 301. 749 0	0. 060 066 7	耕地
玉米	2 744	2 486 000	905 976. 676 4	0. 035 960 4	耕地
豆类	1 856	532 400	286 853. 448 3	0. 011 385 9	耕地
薯类	12 607	892 900	70 825. 731 7	0. 002 8112 5	耕地
油料	1 856	454 700	244 989. 224 1	0. 009 724 2	耕地
油菜籽	1 856	215 700	116 217. 672 4	0. 004 613 0	耕地
棉花	1 000	61 000	61 000. 000 0	0. 002 421 2	耕地
麻类	1 500	3 000	2 000. 000 0	0. 000 079 4	耕地
甜菜	18 000	1 309 500	72 750. 000 0	0. 002 887 6	耕地
烟叶	1 548	22 500	14 534. 883 7	0. 000 576 9	耕地
烤烟	1 548	18 700	12 080. 103 4	0. 000 479 5	耕地
蔬菜	18 000	4 370 200	242 788. 888 9	0. 009 636 9	耕地
水果	18 000	1 131 700	62 872. 222 2	0. 002 495 6	耕地
动物产品产量					
猪肉	74	379 900	5 133 783. 784 0	0. 203 772 5	草地
牛肉	33	68 900	2 087 878. 788 0	0. 082 873 1	草地
羊肉	33	67 600	2 048 484. 848 0	0. 081 309 4	草地
奶类	502	140 700	280 278. 884 5	0. 011 125 0	草地
绵羊毛	15	15 413. 39	1 027 559. 333 0	0. 040 786 4	草地
山羊毛	15	1 365. 96	91 064. 000 0	0. 003 614 6	草地
羊绒	15	347. 92	23 194. 666 7	0. 000 920 7	草地
禽蛋	400	94 900	237 250. 000 0	0. 009 417 0	草地
水产品产量	29	11 451	394 862. 069 0	0. 015 673 0	水域
林产品产量					
油桐籽	1 600	439. 7	274. 812 5	0. 000 010 9	林地
核桃	3 000	18 423. 13	6 141. 043 3	0. 000 243 8	林地
毛栗	3 000	556. 35	185. 450 0	0. 000 007 4	林地
花椒	945	5 819. 98	6 158. 709 0	0. 000 244 5	林地
木耳	3 000	326. 74	108. 913 3	0. 000 004 3	林地
水果产量					
苹果	3 500	670 039. 19	191 439. 768 6	0. 007 598 7	林地
梨	3 500	238 236. 94	68 067. 697 1	0. 002 701 8	林地
葡萄	3 500	13 782. 07	3 937. 734 3	0. 000 156 3	林地
红枣	3 500	17 206. 69	4 916. 197 1	0. 000 195 1	林地
柿子	3 500	11 062. 44	3 160. 697 1	0. 000 125 5	林地
杏子	3 500	104 753. 67	29 929. 620 0	0. 001 188 0	林地
木材					
木材	1. 99*	10 550* *	5 301. 507 5	0. 000 210 4	林地

* 单位为 m³ /hm²** 单位为 m³

表 3 甘肃省生态足迹计算能源部分帐户

Tab. 3 The ecological footprints ledger of energy

	全球平均能源 足迹 $I/(GJ/hm^2)$	折算系数 $I/(GJ/t)$	消费量 t	人均消费量 $I/(GJ/人)$	人均生态足迹 $I/(hm^2/人)$	生产生产 面积类型
煤炭	55	20.934	22 453 400.00	18.657 024	0.339 218 63	化石燃料土地
焦炭	55	28.470	1 445 700.00	1.633 705	0.029 703 73	化石燃料土地
焦炉煤气	93	18.003	3.74	0.000 003	0.000 000 03	化石燃料土地
其它煤气	93	16.329	2.99	0.000 002	0.000 000 02	化石燃料土地
原油	93	41.868	8 039 500.00	13.360 395	0.143 660 16	化石燃料土地
汽油	93	43.124	703 200.00	1.203 666	0.012 942 64	化石燃料土地
煤油	93	43.124	39 900.00	0.068 297	0.000 734 37	化石燃料土地
柴油	93	42.705	697 300.00	1.181 969	0.012 709 35	化石燃料土地
燃料油	71	50.200	690 200.00	1.375 266	0.019 369 94	化石燃料土地
液化石油气	71	50.200	100 100.00	0.199 455	0.002 809 23	化石燃料土地
炼厂干气	71	46.055	210 900.00	0.385 533	0.005 430 04	化石燃料土地
天然气	93	38.978	214 000.00	0.331 089	0.003 560 10	化石燃料土地
热力	1 000	29.344	985 440.50	1.147 777	0.001 147 78	建筑用地
电力	1 000	11.840	25 959 000.00	12.199 694	0.012 199 69	建筑用地

* 单位为 $kW \cdot h$ 。在计算时应按能源转化系数折算为 GJ。能源转化的数据参考文献 [10]

$$N_i = M_i \times \left[\frac{H_i}{G} \right] \times W_i \quad (2-2)$$

式中 N_i 为 i 种商品能源携带量; W_i 为甘肃省 i 种商品贸易净价值量; H_i 、 G 为中国该类商品净贸易的实物量和价值量; M_i 为该类商品的能源密度^[13]。由于贸易调整表格太大,故仅展示汇总的贸易平衡帐户(表 4),文中所用的甘肃省统计资料来自文献 [14]

各种生物资源和能源消费的足迹构成了整个地区的生态足迹

表 4 汇总的生态足迹贸易
调整部分(单位: $hm^2/人$)Tab. 4 The ecological footprints
ledger of trade balance

项目	进口(+)	出口(-)
耕地面积的调整	0.000 05	0.001 67
林地面积的调整	0.000 00	0.000 77
草地面积的调整	0.000 19	0.003 32
进出口能源足迹	0.001 26	0.002 59

3 计算结果与讨论

表 5 是甘肃省 1998 年生态足迹的计算结果,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,为了使计算结果转化为一个可比较的标准,有必要在每种生物生产面积前乘上一个均衡因子(权重),以转化为统一的、可比较的生物生产面积。均衡因子的选取来自世界各国生态足迹的报告。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了一个产出因子。如甘肃省耕地面积的产出因子取为 1.49,表明甘肃省耕地的生物产出率是世界平均水平的 1.49 倍(依据文献 [10] 中对中国生态足迹的计算取值)。同时出于谨慎性考虑,在甘肃省生态承载力计算时扣除了 12% 的生物多样性保护面积。

表 6 甘肃省 1998年生态足迹计算的总结

Tab. 6 Ecological footprint summary of Gansu province in 1998

土地类型	生态足迹的需求			土地类型	生态足迹的供给 (生态承载力)		
	总面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	均衡因子	均衡面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$)		总面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$)	均衡因子	均衡面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$)
耕地	0.374	2.8	1.047	耕地	0.138	1.49	0.206
草地	0.012	0.5	0.006	草地	0.660	2.19	1.446
林地	0.431	1.1	0.474	林地	0.169	0.80	0.135
化石燃料	0.569	1.1	0.626	CO ₂ 吸收	0.000	0.00	0.000
建筑用地	0.013	2.8	0.037	建筑*	0.040	1.49	0.060
总需求足迹			2.190	总供给面积			1.848
				生物多样性保护 (12%)			0.222
				总的可利用足迹			1.626

* 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

由以上计算可得, 1998年甘肃省的人均生态足迹为 2.190 hm^2 , 而实际生态承载力为 1.626 hm^2 , 人均生态赤字为 0.564 hm^2 。生态赤字的存在表明人类对自然的影响超出了其生态承载能力的范围。从甘肃省 1998年生态足迹的计算过程来看, 由于进出口贸易量不大, 因而进出口贸易对足迹的影响并不大, 因此只能是通过消耗自然资本存量来弥补生态承载力的不足, 因此, 可认为甘肃省的发展模式处于一种不可持续的状态。

在甘肃省生态足迹的计算中发现还存在如下几个问题: ① 不同类型能源消费量在转换成生物生产土地面积时, 需要综合考虑其能源密度、能源携带量等, 计算较为烦琐且转换中存在误差; ② 在计算生态承载力时, 各种生物生产土地面积的统计数据的准确性十分重要。如草地面积的统计数据将产出率极低的荒漠草原与产出率较高的湿地草场相提并论并简单相加, 使草原的面积数据偏大, 导致计算结果相应偏大; ③ 不同类型土地的均衡因子和产出因子数值对生态足迹的最终计算结果影响很大, 因此其数值的选取显得十分重要, 而在目前国际上的有关应用研究中主要是依据有限的统计结果和经验来选取, 因而其数据难免不够准确。

同时因资料的原因, 目前还不能确定国民经济系统中各种商品中水资源的含量, 所以在计算生态足迹时未能包括人类利用水资源的足迹。而人类对水资源的利用是干旱内陆地区自然资产消耗的最重要组成部分。已有研究表明甘肃省现状水平年水资源的利用已接近其可利用的极限水资源量^[15]; 同时由于生态足迹模型的设计侧重于生态承载力方面, 而忽略经济、社会、技术和环境方面的一些可持续发展的根本问题 (如西北干旱地区突出的沙漠化侵蚀耕地面积问题) 因此可以认为上述分析结果是一种较乐观的估计, 甘肃省的人均生态足迹赤字比 0.564 hm^2 要大。

甘肃省生态足迹赤字存在主要因为对自然资源的过度利用造成, 是否可以在不降低人们生活水平的前提下, 减少生态足迹的需求呢? 结论是肯定的, 通常有如下 3种方法: ① 采用高新技术, 提高自然资源单位面积的生物产量; ② 高效利用现有资源存量; ③ 改变人们的生产和生活消费方式, 建立资源节约型的社会生产和消费体系^[11]。

4 生态足迹方法讨论与展望

4.1 生态足迹方法讨论

由上述对生态足迹的概念和计算模型的介绍,以及对甘肃省 1998年生态足迹的计算和分析可以看到,生态足迹的概念模型通过引入生物生产面积的概念为自然资产核算提供了一种简单框架^[16],提供了测量和比较人类经济系统对自然生态系统服务的需求和自然生态系统的承载力之间差距的生物物理测量方法^[17,18]。

生态足迹模型的优点: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;将生态足迹的计算结果与自然资产提供生态服务的能力进行比较能反映在一定的社会发展阶段和一定的技术条件下,人们的社会经济活动与当时生态承载力之间的差距。测算指标采用生物生产面积,不是使用金钱的测量使人容易理解^[3],而且容易进行尝试性测算。

生态足迹模型的缺点:该模型的计算结果只能反映经济决策对环境的影响,也就是只注意了经济产品和社会服务能的耗费,而未注意生态产品和生态服务能的耗费,而且在考虑资源的消费时,只注意了资源的直接消费而未考虑间接消费,同时也忽略了资源开发利用中其它的重要影响因素,如工业城市化的推进挤占耕地,由于污染、侵蚀等造成的土地退化情况。生态足迹帐户模型并没有设计成一个预测模型,它只是一种关于现实情况的衡量,因此模型的计算结果不能反映人类活动的方式、管理水平的提高和技术的进步等因素的影响,而且采用官方的数据存在低估生态足迹的可能。我们相信未来技术的革新将及时减少将来人类的足迹从而避免生态系统崩溃的发生。但对生态足迹赤字的抱怨并不能解释将来技术的革新。因为生态足迹帐户体系测算的只是现在情况,并不反映未来情况的变化和变化方向。同时在将生产能力差异很大的耕地、化石燃料土地、牧草地、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,使该模型在研究方法上本身存在很大的不足。转化因子的确定显然假定了不同的生物生产面积之间固定的替代弹性,事实上,它们之间的环境影响是不可相互替代的。而且该转化因子的确定主要是考虑生物物理方面的因素,并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)。计算能源净消费所需的生物生产面积是通过计算吸收燃烧化石燃料所产生的CO₂所需的生物生产面积,显然忽略了另外一种重要的温室气体CH₄。

4.2 展望

生态足迹的概念模型提出的时间很短,应用研究的案例我国目前不多,该模型还存在许多值得完善的地方,从我国的具体情况来看,需要做好如下几个方面的工作,以便更好地应用和完善该研究方法,将可持续发展研究推向更高的解析框架。

(1) 建立反映环境信息的资源环境整合帐户体系^[18]。西北地区的生态环境问题不仅是一个如何利用资源的问题,同时还应考虑自然灾害(如沙漠化等)侵蚀耕地等威胁人类的生存环境的一些关键问题。建立资源环境整合帐户的目的就是将这些问题的纳入到一个可核算的框架下,为生态过程和经济过程的耦合提供解析桥梁。

(2) 完善环境价值的估算方法和理论。由于目前的生态足迹研究方法仅处理资源类经济产品和社会服务能的消费^[19],因此完善环境价值的估算方法和理论能在生态足迹方法革

新中为定量反映生态产品和生态服务能的耗费作出贡献。

(3) 研究未来资源和环境价值的折旧问题。由于生态足迹模型目前仅是一个静态模型, 回避了可持续发展的代际公平性问题, 未来价值的折旧是处理代际公平性问题中的难点, 因此需要加强该方面的研究, 来解决生态足迹模型的预测性问题。只有将生态足迹模型进一步改进成预测模型, 才能在新的框架下考虑技术进步、人类活动方式和市场情况等因素变化的影响。

参考文献 (References):

- [1] Zhang Zhiqiang, Sun Chengquan, Cheng Guodong et al. Progresses and trends of sustainable development research [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(6): 589-595. (In Chinese) [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.]
- [2] Xu Zhongmin, Zhang Zhiqiang, Cheng Guodong. Review indicators of measuring sustainable development. *People, Resources & Environment*, 2000, 10(2): 60-64. (In Chinese) [徐中民, 张志强, 程国栋. 可持续发展定量研究的几种新方法评介 [J]. 中国人口、资源与环境, 2000, 10(2): 60-64.]
- [3] Harri 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.
- [4] Xu Zhongmin, Cheng Guodong, Wang Genxu. A study on the estimation of economic loss from ecological deterioration——take Zhangye Prefecture as an example [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(5): 498-504. (In Chinese) [徐中民, 程国栋, 王根绪. 生态环境损失价值计算初步研究——以张掖地区为例 [J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 498-504.]
- [5] Costanza R, Daly H. Natural capital and sustainable development [J]. *Conservation Biology*, 1992, 6(1): 37-38.
- [6] Macdonald D, Hanley N, Moffatt I. Applying the Concept of Natural Criticality to Regional Resource Management [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 73-76.
- [7] Costanza R, Cumberland J, Daly H et al. An Introduction to Ecological Economics [M]. St Lucie Press, 1997.
- [8] Vitousek P, Ehrlich P, Matson P. Human Appropriation of the Products of Photosynthesis [J]. *Bioscience*, 1986, 36: 368-373.
- [9] Zhang Zhiqiang, Xu Zhongmin, Cheng Guodong. Review on the concept and computable model of ecological footprints [J]. *Ecological Economics*, 2000, in press. (In Chinese) [张志强, 徐中民, 程国栋. 生态足迹的概念及计算模型评介 [J]. 生态经济, 2000, 待刊.]
- [10] Wackernagel M, Onisto L, Bello P et al. Ecological Footprints of Nations [R]. Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. International council for local Environmental Initiatives, Toronto, 1997. 10-21.
- [11] Wackernagel M, Onisto L, Bello P et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 375-390.
- [12] Qiu Daxiong. Energy Planning & systematic analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995. 48. (In Chinese) [邱大雄主编. 能源规划与系统分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. 48.]
- [13] Costanza R, Neil C. Energy intensities, interdependence, and value in ecological systems: A linear Programming Approach [J]. *Journal of theory Biology*, 1984(106): 41-43.
- [14] Editorial Board of Gansu Year book. Gansu Yearbook in 1999 (total No. 6) [Z]. Beijing: China Statistical Press, 1999. (In Chinese) [甘肃年鉴编委会编. 甘肃年鉴 1999(总第 6期) [Z]. 北京: 中国统计出版社, 1999.]
- [15] Xu Zhongmin. A scenario-based framework for multicriteria decision analysis in water carrying capacity [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, 21(2): 99-106. (In Chinese) [徐中民. 情景基础的水资源承载多目标分析理论与实践 [J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 99-106.]
- [16] Herendeen R A. Should sustainability analyses include biophysical assessments [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 17-18.
- [17] Wackernagel M. Why sustainability analyses must include biophysical assessments [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 13-15.
- [18] Mac Donald D V, Hanley N, Moffatt I. Applying the concept of nature capital criticality to regional resources management [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 73-87.
- [19] Bartelmus P. Green accounting for a sustainable economy policy use and analysis of environmental accounts in the Philippines [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29: 155-170.

The Calculation and Analysis of Ecological Footprints of Gansu Province

XU Zhong-min¹, ZHANG Zhi-qiang^{1,2}, CHENG Guo-dong¹

(1. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, CAREERI, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. Scientific Information Center for Resources and Environment, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract Because humans consume the products and services of nature, every one of us has an impact on the earth. Does the human load stay within global carrying capacity? The ecological footprint concept has been designed to answer this question and estimate man's impact on nature. The ecological footprint of any defined population (from a single individual to a whole city or country) is the total area of ecologically productive land and water occupied exclusively to produce all the resources consumed and to assimilate all the wastes generated by population. The ecological footprint method presents a simple framework for national natural capital accounting.

The concept of ecological footprint and its calculation method is introduced in this paper. The paper also analyses the advantages and disadvantages of the ecological footprint model, and addresses the types of ecologically productive lands. The article calculates and analyses the ecological footprint of Gansu province in 1998. The ecological footprint ledger is composed of three main section. The first ledger is basic biotic resources consumption including its byproducts, the second is energy consumption, the third is trade balance. Trade balance through more detailed trade flow analyses can mitigate the influence of import and export product on consumption variations. Based on the ecological footprint concept and analysis framework, human consumption can be compared with regional-level natural capital production using existing data. In the case of Gansu province, the ecological deficit of Gansu is 0.564 2 hm² per capita. Simplification of calculation methodology to certain extent results in over-optimistic estimates.

Finally, the ecological footprint model's advantages and disadvantages are identified. Ecological footprint index is an excellent aggregate index that connects many issues of sustainability, development and equity. The model can reveal the extent to which local carrying capacity has been exceeded and allows a cumulative approach to impact analysis. The use of ecological productive area as a numeraire, rather than money or energy, makes the footprints easy to be understood, and also permits provocative calculations. The limitations of the model is that it doesn't include several important issues, which are even directly related to land use—land areas lost to biological productivity loss of land because of contamination, erosion and urban "hardening" and desertification (especially in north-western China). Methodologically, the assessments could be more complete by including the ecological spaces used for freshwater use, a particular important issue in arid area of north-western China.

Key words ecological footprint; measuring sustainable development; ecological productive area; Gansu province