

应用生态足迹模型对鲁西南可持续发展能力定量测度*

王汉卫, 成杰民, 孙天然

(山东师范大学 人口·资源与环境学院, 济南 250014)

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, 生态足迹是一种定量测量人类对自然利用程度的新方法。以鲁西南地区为研究对象, 对 2006 年生态足迹分为生物资源足迹、化石能源足迹、生态环境污染足迹 3 部分进行实证计算和分析。结果表明鲁西南 2006 年的人均生态足迹为 3.166 hm^2 , 人均可利用生态承载力为 0.411 hm^2 , 人均生态赤字为 2.755 hm^2 , 人均生态足迹已经远远超过人均生态承载力, 表明鲁西南经济发展对生态系统的压力和强度甚高。

关键词:生态足迹; 可持续发展; 生态承载力; 鲁西南

中图分类号: X22; F124.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)03-0125-05

The Measurement of Sustainable Development for Southwest Area of Shandong Province Based on Ecological Footprint

WANG Han-wei, CHENG Jie-min, SUN Tian-ran

(College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: 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 article calculates and analyzes the ecological footprint ledger of the biotic resources, energy and ecological environment pollution of southwest area of Shandong province in 2006. The results indicate that the resource ecological footprint per capita of this area was 3.166 hm^2 , while the ecological capacity per capita was only 0.411 hm^2 , so there is an ecological deficit per capita of 2.755 hm^2 . And resource ecological footprint per capita has surpassed ecological capacity per capita seriously. Since natural resources are the material foundation for production in an economic system, the supply deficit will limit economic growth.

Key words: ecological footprint; sustainable development; ecological capacity; southwest area of Shandong province

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已有 20 年了,但世界人口、贫困、消费仍在飞速增加,生物多样性、森林面积仍在急剧减少,预示着人类正在远离可持续性^[1]。为了将可持续发展理念变成现实的可操作的目标,人们正致力于可持续发展的定量评价方法研究。“人类社会要取得发展的强可持续性,必须维持自己的自然资源存量”^[2]是诸多可持续发展指标体系及其定量评价研究达成的共识。加拿大生态经济学家 William 和他的学生 Wackernagel 于 20 世纪 90 年代初提出的生态足迹模型,可以将可持续性转化为具体的指标来测量人类活动强度是否处于生态系统承载力的范围内,而成为当前国内外衡量可持续发展的最具有代表性的模型^[7]。

鲁西南地区位于山东省西南部,包括济宁、泰安、菏泽的全部或部分区域,是山东省主要农牧业基地之一。2006 年该区总人口达 1 254.96 万人,农业生产总值达 306.91 亿元,是 2005 年的 1.2 倍,占同年全省农业总产值的 15%。经

济的高速发展带来一系列生态环境问题。该区 2006 年全年 SO_2 排放量为 12.9 万 t,烟尘排放量 4.2 万 t,工业粉尘排放量 2.4 万 t^[46],固体垃圾直接占用土地 510 hm^2 。因此,研究该区的可持续发展能力,对推动整个山东省的可持续发展有重要的指导意义。

该文以鲁西南为研究对象,采用生态足迹的研究方法对其发展的可持续性进行定量测度,并对测度结果进行分析,为减少生态足迹,加大鲁西南生态、环境和经济系统发展的可持续性提出相应的对策。

1 研究区概况

1.1 自然概况

鲁西南地区位于黄河以南、运河和湖带以西,西南止于省界,包括济宁、泰安、菏泽的全部或部分区域(图 1)。该区面积为 242 万 hm^2 ,占全省土地面积的 15.8%。土壤为发育在黄河冲积母质上的浅色草甸土,部分低洼地为内陆盐渍

* 收稿日期: 2007-08-31

基金项目: 山东省环境保护科技项目(200408)

作者简介: 王汉卫(1982-),男,山东济宁人,在读硕士,主要从事环境生态学与生态恢复技术研究。E-mail: wanghanwei1113@163.com

通信作者: 成杰民(1958-),女,山东济南人,教授,博士生导师,主要从事污染物的生态环境效应及控制途径研究。E-mail: jmchengcn@yahoo.com.cn

土,接近江苏省有少量砂姜土。年均温 13~ 14℃, ≥0℃积温为 4 900~ 5 000℃, ≥10℃积温为 4 400~ 4 600℃,年降水量为 650~ 800 mm,日照时数为 2 400~ 2 600 h,无霜期为 200~ 220 d^[3]。该区的南四湖、东平湖是我国北方著名的湖泊湿地,鱼类和鸟类多样性丰富。该区土层深厚、地势平坦、热量丰富、雨热同期。

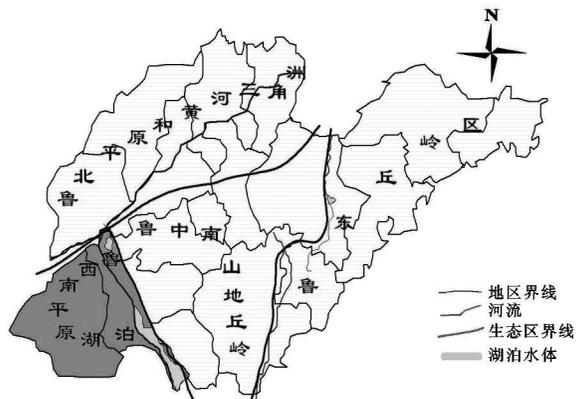


图 1 鲁西南地理位置示意图

1.2 经济概况

鲁西南 2006 年生产总值 1 169.59 亿元,按可比价格计算,比上年增长 17.2%。其中,第一产业增加值 28.18 亿元,增长 12.5%;第二产业增加值 103.62 亿元,增长 28.4%;第三产业增加值 72.51 亿元,增长 35.4%。3 种产业构成比重如图 2 所示,第二产业占有 52.6% 的比重,说明本区还是以消耗能源为主的工业发展模式。全社会固定资产投资 1 581.28 亿元,增长 38.2%。实现地方财政收入 58.5 亿元,按可比口径增长 24.4%^[4-6]。

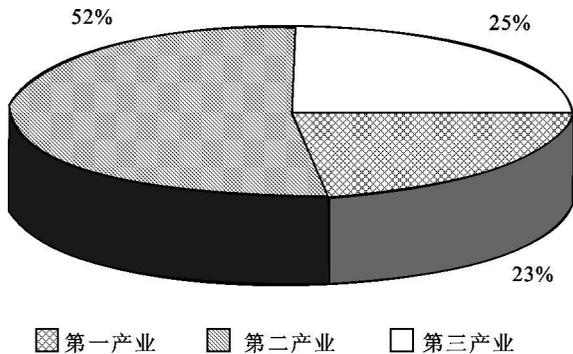


图 2 鲁西南产业结构示意图

在主要农产品产量中,2006 年,粮食总产量为 610.4 万 t,是 2005 年的 1.21 倍;蔬菜、肉类、牛奶为 1280.8, 99.9 和 9.7 万 t,分别为 2005 年的 1.02, 0.15 和 1.36 倍。货物、旅客运输量分别为 10 169.2 万 t 和 7 845.5 万人,分别为 2005 年的 1.10, 1.11 倍。

1.3 社会概况

鲁西南地区截至 2006 年底有普通高等院校 6 所,在校生 6.09 万人。中等专业学校 83 所,在校生 8.11 万人。普通高中 163 所,在校生 37.01 万人。有各类科技人员 45.8 万人,共取得市(地)级以上各类重要科技成果 242 项。专利申请量 856 件,授权专利 520 件。公共图书馆 16 个,群众艺

术馆、文化馆 18 个,档案馆 21 个。有卫生机构 1 091 所,其中,医院、卫生院 645 所,卫生防疫防治机构 20 所。城镇居民人均可支配收入 8 128 元,按可比口径计算,比上年增长 14.2%;人均消费性支出为 5 229 元,增长 7.15%;人均住房使用面积 18.1 m²。农民人均纯收入 3 151 元,增长 12.3%;生活消费支出为 1 095.10 元,增长 16.2%;人均居住面积 20.5 m²,在人们的饮食结构中肉、蛋、奶的比重明显加重^[4-6]。

2 计算方法

2.1 生态足迹研究方法

所谓生态足迹是指现有生活水平下人类占用的能提供资源和消纳废物的、具有生态生产力的地域空间。与其相对应的生态容量则是指在保持生存、发展条件下能够持续提供资源或消纳废物的、具有生态生产力的地域空间^[9]。生态足迹的研究思路是从需求面计算生态足迹的大小,从供给面计算生态承载力的大小,通过对二者的比较来评价研究区域的可持续发展状况。

2.2 生态足迹的计算

生态足迹的计算分为两步:

第一步,计算各种消费项目的人均生态足迹分量。计算公式为^[11]

$$A_i = C_i / Y_i = (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N)$$

式中: i ——消费项目的类型; Y_i ——生物生产性土地生产第 i 种消费项目的年平均产量(kg/hm²); C_i —— i 种消费项目的人均消费量; A_i ——第 i 种消费项目折算的人均生态足迹分量(hm²/人); P_i ——第 i 种消费项目的年生产量; I_i ——第 i 种消费项目年进口量; E_i ——第 i 种消费项目的年出口量; N ——人口数。

第二步,计算生态足迹。公式为^[11]

$$ef = \sum r_j A_i = \sum r_j (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N)$$

$$(j = 1, 2, \dots, 6)$$

式中: ef ——人均生态足迹(hm²/人); r_j ——均衡因子。

区域总人口的生态足迹为

$$EF = N \times (ef)$$

式中: EF ——总人口的生态足迹(hm²); N ——人口数。

在生态足迹计算中,根据研究区域的自然资源和消费特点,生态足迹分为生物资源的生态足迹、化石能源的生态足迹、生态环境污染的生态足迹 3 部分计算。

2.2.1 生物资源足迹计算

将各种资源和能源消费项目折算为耕地、草场、林地、建筑用地、化石能源用地和海洋(水域)^[8]等 6 种生产性土地面积类型。其次,要进行均衡处理。由于这 6 类生物生产性土地面积的生态生产力不同,要将这些具有不同生态生产力的土地面积转化为具有相同生态生产力的面积,并加总计算生态足迹和生态承载力,需要对计算得到的各类生态生产性土地面积乘以一个均衡因子(equivalence factor),即某类生态生产性土地面积的均衡因子等于全球该类生态生产性土地面积的平均生态生产力除全球所有各类生态生产性土地面

积的平均生态生产力。世界上平均的均衡因子分别为:耕地和建筑用地为 2.8,森林 0.5,化石能源用地为 1.1,草地为 0.5,海洋为 0.2^[10]。进行区域生态足迹计算时,可根据区域的生产力特点对均衡因子进行必要的修正。

2.2.2 化石能源足迹计算

计算煤、焦炭、燃料油、原油、汽油、柴油和电力等能源消费项目的生态足迹时,要将这些能源消费转化为化石能源土地面积。即要估计以同样的化石能源的消费速率所排放的 CO₂ 需要吸收这些相应的 CO₂ 的土地面积。Wackernagel 等所确定的煤、石油、天然气和水电的全球平均土地转化系数分别为 55, 71, 93, 1 000 GJ/hm², 据此可以将不同的能源消费折算成一定的化石能源土地面积^[9]。

2.2.3 生态环境污染足迹计算

采取治理消费换算的方法。鲁西南 2006 年全年 SO₂ 排放量为 12.9 万 t, 烟尘排放量 4.2 万 t, 工业粉尘排放量 2.4 万 t^[46]。根据肖寒等的研究数据^[12], 计算净化空气所需林地面积为 142.0 万 hm², 滞尘所需林地面积为 0.7 万 hm², 远远低于净化废气面积。净化空气的林地兼有滞尘功能, 在此选取最大值作为所需林地面积。据山东省 2006 年统计, 鲁西南因处理固体垃圾而直接占用土地 510 hm², 按垃圾处理场恢复生产的平均周期 15 a 计算, 鲁西南固体垃圾处理实际消费土地 0.9 万 hm²。2006 年鲁西南废水排放量为 22 461 万 t, 在不对环境构成威胁的情况下, 采用自然湿地系统处理这些废水, 所需湿地的面积为 2 769.1 万 hm²^[14]。

2.3 生态承载力的计算

生态承载力(ecological carrying capacity)反映的是在不损害区域生产力的前提下, 一个区域有限的资源能供养的最大人口数。在生态承载力的计算中, 由于不同国家或地区的资源禀赋不同, 不仅单位面积耕地、草地、林地、建筑用地、海洋(水域)等的生态生产力差异很大, 而且单位面积同类型生物生产面积的生态生产力也差别很大。因此, 不同国家和地区同类生物生产性土地的面积是不能直接进行对比的, 需要对不同类型的面积进行调整。不同国家或地区的某类生物生产性面积所代表的区域产量与世界平均产量的差异可用“产量因子”(yield factor)来校正。同时在生态承载力计算时还应扣除 12% 的生物多样性保护面积。因此, 人均生态承载力的计算公式为^[15]

$$ec = a_j \times r_j \times y_j \quad (j = 1, 2, \dots, 6)$$

式中: ec——人均生态承载力(hm²/人); a_j——人均生物生产面积; r_j——均衡因子; y_j——产量因子。

区域生态承载力:

$$EC = N \times (ec)$$

式中: EC——区域总人口的生态承载力(hm²); N——人口数。

2.4 生态足迹赤字或盈余计算

如果计算的生态足迹超过了区域所能提供的生态承载力, 就会出现生态足迹赤字; 如果小于区域的生态承载力, 则表现为生态足迹盈余。区域的生态足迹赤字或盈余, 反映了区域人口对自然资源的利用状况。

3 鲁西南地区生态足迹的计算结果

根据鲁西南的自然资源和消费特点, 确定该地区 2006 年的生态足迹计算主要包括 3 部分: (1) 生物资源足迹; (2) 化石能源足迹; (3) 生态环境污染足迹。

3.1 生物资源足迹

生物资源足迹计算时项目分为农产品、动物产品、林产品、水产品、水果和木材等大类, 按此各大类下有一些细分类。生物量的数据来源是山东省以及各地市的统计年鉴, 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的有关生物资源的世界平均产量资料(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)^[17-9]。表 1 是鲁西南 2006 年各种生物资源生产量折算后得到各种生态生产性土地的面积。

表 1 2006 年鲁西南生态足迹计算中生物资源账户

分类项目	全球平均产量/(kg·hm ⁻²)	鲁西南生物量/t	总生态足迹/hm ²	人均足迹/(hm ² ·人 ⁻¹)	生产面积类型
水稻	2744	216359	78848.0321	0.006283	耕地
小麦	2744	3572250	1301840.3790	0.103736	耕地
玉米	2744	1730751	630740.1603	0.050260	耕地
谷子	2744	6288	2291.5451	0.000183	耕地
高粱	3200	1517	474.0625	0.000038	耕地
杂粮	1856	816	439.6552	0.000036	耕地
豆类	1856	116492	62765.0862	0.005001	耕地
薯类	12607	158249	12552.4708	0.001000	耕地
花生	1586	498413	314257.8815	0.025041	耕地
芝麻	1586	688	433.7957	0.000035	耕地
油菜籽	1586	11722	7390.9206	0.000589	耕地
棉花	1000	321630	321630	0.025629	耕地
蔬菜	18000	12807614	711534.1111	0.056698	耕地
瓜类	18000	3717478	206526.5556	0.016457	耕地
牛肉	33	99360	3010909.0910	0.239921	草地
羊肉	33	114707	3475969.6970	0.276979	草地
猪肉	74	584233	7895040.5410	0.629107	草地
家禽肉	457	182251	398798.6871	0.031778	草地
禽蛋	400	628604	1571510	0.125224	草地
山羊毛	15	1940	129333.3333	0.010306	草地
绵羊毛	15	5524	368266.6667	0.029345	草地
奶类	502	101194	201581.6733	0.016063	草地
水产品	29	260221	8973137.9310	0.715014	水域
苹果	3500	414591	118454.5714	0.009439	林地
梨	3500	148409	42402.5714	0.003379	林地
葡萄	3500	62234	17781.1429	0.001417	林地
其他水果	3500	161184	46052.5714	0.003670	林地
木材	1.99*	292631**	147050.7538	0.011718	林地

注: * 单位为 m³/hm², ** 单位为 m³。

在生物资源足迹计算结果中, 草地的生态足迹最大, 占

生物资源总足迹的 56.7%, 其次是水域足迹和耕地足迹, 各占 19.9% 和 12.2%, 反映出鲁西南生物资源消耗的特点。

3.2 化石能源足迹

能源账户部分对煤炭、焦炭、原油、燃料油、汽油、煤油、柴油、液化汽油气、热力和电力等主要能源进行核算, 折算数

据采用世界上单位化石燃料生产土地面积平均发热量^[9], 计算结果如表 2 所示。

在能源足迹结果中, 煤炭产生的足迹最大, 占总能源足迹的 94.6%, 在其他的能源足迹中原油足迹占 4.1%, 剩余其他能源足迹较小, 客观反映出鲁西南地区的能耗结构。

表 2 2006 年鲁西南生态足迹计算中化石能源账户

种类	全球平均能源足迹/ (GJ·hm ⁻²)	折算系数/ (GJ·t ⁻¹)	获取量/ t	人均获取量/ GJ	人均足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)	生产性土地类型
煤炭	55	20.934	38751277.8	64.6410443	1.175292	化石燃料土地
焦炭	55	28.470	102241.8	0.2319456	0.004217	化石燃料土地
原油	93	41.868	1408860.6	4.7002435	0.050540	化石燃料土地
燃料油	71	50.200	7201	0.0288049	0.000406	化石燃料土地
汽油、煤油	93	43.124	24465.4	0.0840701	0.000904	化石燃料土地
柴油	93	42.705	41397.8	0.1408725	0.001515	化石燃料土地
液化汽油气	71	50.200	91737	0.3669597	0.005168	化石燃料土地
热力	1000	29.344	951011.7*	2.2236955	0.002224	建设用地
电力	1000	11.840	1103561.13* *	1.0411618	0.001041	建设用地

注: * 单位为 10³kJ, * * 单位为 10⁴ kW·h。

3.3 生态环境污染足迹

生态环境污染足迹的计算采取治理消费换算的方法, 鲁西南生态环境污染足迹量已在计算方法部分计算出。汇总各类型面积, 乘以相应的均衡因子, 即可得到人均的生态足迹, 见表 3。

综合性生态足迹即为计算生态环境污染足迹在内的生态足迹, 生产性生态足迹是指没有考虑贸易足迹在内的生态足迹, 因为贸易输出是本区生产的产品, 同样会对生态造成压力, 贸易输入非本区生产产品, 不对本区生态造成压力, 生产性生态足迹能真正地反映当地生态系统的压力^[10]。

表 3 2006 年鲁西南生态足迹计算结果

类型	人均面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)	均衡因子	均衡面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)	人均面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)	均衡因子	均衡面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)
耕地	0.291025	2.82	0.820689	0.290984	2.82	0.820575
草地	1.358721	0.54	0.733701	1.358721	0.54	0.733710
林地	0.142773	1.14	0.162761	0.029622	1.14	0.033769
化石燃料用地	1.238042	1.14	1.411368	1.238043	1.14	1.411369
建设用地	0.003265	2.82	0.009207	0.003265	2.82	0.009207
水域	2.921538	0.20	0.584308	0.715014	0.22	0.157303
人均生态足迹(<i>ef</i>)	综合性生态足迹		3.722042	生产性生态足迹		3.165933

综合性生态足迹和生产性生态足迹中化石能源用地产生的足迹都是最大的, 然后是耕地与草地足迹。生产性生态足迹的计算结果为 3.17 hm²/人, 较 2003 年山东全省生态足迹 1.87 hm²/人高出了 1.3 hm²/人。综合性生态足迹比生产性生态足迹高出了 0.56 hm²/人, 反映了污染对鲁西南地区的影响程度。

3.4 生态承载力

根据鲁西南地区耕地、草地、林地、建筑用地和水域面积, 计算出各类生态生产性土地的人均拥有量, 乘以相应的均衡因子和产量因子, 汇总得到人均生态承载力, 再扣除 12% 的生物多样性保护面积^[6], 即得到可利用的人均生态承载力, 如表 4 所示。

鲁西南生态承载力即生态足迹供给计算结果中耕地的供给足迹最大占总供给足迹的 79.7%, 可利用的生态承载力跟 2003 年山东全省生态足迹供给量 0.618 hm²/人^[10] 相

比, 降低了 0.207 hm²/人, 客观反映了鲁西南地区的生态承载力及其变化情况。

表 4 2006 年鲁西南生态承载力计算结果

土地类型	人均面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)	均衡因子	产量因子	人均均衡面积/ (hm ² ·人 ⁻¹)
耕地	0.079443	2.82	1.66	0.371889
草地	0.014742	0.54	0.75	0.005970
林地	0.026202	1.14	0.91	0.027181
化石能源用地	0.000000	1.14	0.00	0.000000
建筑用地*	0.012817	2.82	1.66	0.060000
海洋(水域)	0.011087	0.20	1.00	0.002217
人均生态承载力(<i>ec</i>)	0.467258			
生物多样性保护面积(<i>ec</i> * 12%)	0.056071			
可利用的生态承载力	0.411187			

注: 建筑用地取世界平均水平。

4 讨 论

由以上计算可知,2006年山东省鲁西南的人均生态足迹为 3.722 hm^2 ,而实际生态承载力为 0.411 hm^2 ,人均生态赤字为 3.311 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。从鲁西南2006年生态足迹的计算过程来看,我们计算了污染物排放生态环境压力而产生的生态足迹,污染性生态足迹为 0.556 hm^2 ,占总生态足迹的15%,说明污染物的排放治理在鲁西南的持续发展问题上还是一项重任。若不考虑污染物排放的影响,鲁西南人均生态足迹为 3.166 hm^2 ,人均生态赤字为 2.755 hm^2 。其中化石能源用地占足迹的44.6%,其次是耕地和草地分别为25.9%和23.1%,再次是水域、林地和建筑用地。生态赤字最大的是化石能源用地,其次是草地和耕地。

化石能源用地占用面积和生态赤字最大,主要原因是鲁西南是以石油、煤炭为主的能源结构,长期以来偏重于发展高耗能的重工业且能源利用过程中能源的利用率低。又由于人口过度稠密,每年必须从环境中获取大量能源资源,导致占地面积增大,而世界各国和地区均未事先留出化石能源用,就意味着人类直接消耗资源资本而不是其利润^[7]。

耕地与草地的生态赤字和较大,表明鲁西南在工业化和城市化进程中,耕地资源占用量大,耕地已成为最稀缺的资源之一,人地矛盾异常尖锐。同时也表明鲁西南草地资源相对短缺,这是由于随着经济的快速增长,居民饮食结构发生变化,导致动物产品消耗量大幅度增加所致。

鲁西南生态足迹赤字存在主要是由于对自然资源的过度利用造成,在不降低人们生活水平的前提下,减少生态足迹应从以下3个方面入手: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。

参考文献:

- [1] 张志强,孙成权,程国栋.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] 龙爱华,张志强,苏志勇.生态足迹评介及国际研究前沿[J].地球科学进展,2004,19(12):971-974.
- [3] 济南市统计局.山东统计年鉴2007[Z].北京:中国统计出版社,2007.
- [4] 菏泽市统计局.菏泽统计年鉴2007[Z].北京:中国统计出版社,2007.
- [5] 济宁市统计局.济宁统计年鉴2006[Z].北京:中国统计出版社,2007.
- [6] 泰安市统计局.泰安统计年鉴2007[Z].北京:中国统计出版社,2007.
- [7] Wackernagel M, Rees W. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth [M]. New Society Publishers, 1996: 61-83.
- [8] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29: 375-390.
- [9] 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.
- [10] 熊德国,鲜学福,姜永东.生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J].地理科学进展,2003,(11):618-625.
- [11] 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.
- [12] 肖寒,欧阳志云,赵景柱.森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探:以海南岛尖峰岭热带森林为例[J].应用生态学报,2000,11(4):481-484.
- [13] 杨开忠,杨咏,陈杰,等.生态足迹分析理论与方法[J].地球科学进展,2000,15(6):630-636.
- [14] 赵秀勇,缪旭波,孙勤芳,等.生态足迹分析法在生态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.
- [15] 李金平,王志石.澳门2001年生态足迹分析[J].自然资源学报,2003,3(2):197-204.
- [16] 陈东景,徐中民,程国栋,等.中国西北地区的生态足迹[J].冰川冻土,2001(2):164-169.
- [17] 王德霞,成杰民,冯凤玲.生态足迹在城市可持续性定量测度中的应用[J].中国环境管理干部学院学报,2005(12):16-21.
- [18] 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):1983-1989.
- [19] 王景华,赵善伦.山东省2003年生态足迹计算与分析[J].山东师范大学学报:自然科学版,2006(2):96-98.