

河南省生态空间占用及化石能源利用效率动态分析 ——基于 1995– 2008 年数据的实证

高军波¹, 彭荣胜²

(1. 信阳师范学院 城市与环境科学学院, 河南 信阳 464000; 2. 信阳师范学院 经济与管理科学学院, 河南 信阳 464000)

摘要: 基于生态足迹理论模型, 定量测度并分析了河南省 1995– 2008 年生态足迹及化石能源利用效率的动态变化。研究结果表明: 1995– 2008 年间河南省人均生态足迹从 1.295 hm² 迅速增加到 2.613 hm², 是 1995 年的 2.017 倍, 而同期生态承载力仅增长了 47%, 导致人均生态赤字在 14 a 间增长了 1.34 倍, 其中化石能源足迹对人均总足迹和生态赤字的贡献率最大; 化石能源足迹产值呈增加趋势, 2008 年为 2.891 5 万元/hm², 比 1995 年增加了 1.495 万元/hm²; 2008 年化石能源足迹强度最低, 为 0.345 8 hm²/万元, 仅是 1995 年的 48%; 化石能源足迹对生态系统的压力指数 1996– 1999 年逐步下降, 随后持续上升并于 2006 年增长到最高值 20.11。这说明河南省社会经济发展对资源的需求超过自然环境的再生能力, 虽然化石能源利用效率有所提高, 但其消费规模的大幅增加及化石能源承载力的有限改善, 导致河南省域生态压力持续攀升。

关键词: 生态足迹; 化石能源足迹; 生态压力; 可持续发展; 河南省

中图分类号: T E19; F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0232-06

Dynamic Analysis of Ecological Footprint and Fossil Energy Economic Efficiency During 1995– 2008 in He' nan Province

GAO Jun-bo¹, PENG Rong-sheng²

(1. College of Urban and Environment, Xinyang Normal University, Xinyang, He' nan 464000, China;

2. College of Economic and Management, Xinyang Normal University, Xinyang, He' nan 464000, China)

Abstract: Based on the ecological footprint theoretical model, this paper quantitatively measured and analyzed the dynamic changes of ecological footprint and fossil energy economic efficiency. The results show that the ecological footprint in He' nan Province has been increasing from 1.295 hm² to 2.613 hm² in 2008, which is 2.017 times that of 1995, while the ecological capacity just increases by 47% at the same time, which leads the pre ecological deficit increases by 3.14 times during 14 years, the fossil energy footprint is the greatest contribution in pre ecological footprint and ecological deficit. The economic value of fossil energy footprint (VEF) has been the growing trend from mid- 1990s; the VEF in 2008 is 2.891 5 million yuan/hm² that increases by 1.495 yuan/hm² than 1995. Fossil energy footprint intensity (FEFI) continues to reduce, and the FEFI in 2008 is 0.345 8 hm²/million yuan which is the lowest level that was just 48% that of 1995. The ecological pressure intensity of energy footprint (EPIEF) was being gradual decline during 1996– 1999, then continued to grow, and reached the highest level 20.11 in 2006. We can conclude that the resource demand in the course of social and economic development in He' nan has surpassed the regeneration of natural environment. Though the economic efficiency of fossil energy has been improved, its consumption scale increased and fossil energy capacity improvement limited, which caused that the ecological stress has been rising in He' nan province.

Key words: ecological footprint; fossil energy footprint; ecological pressure intensity; sustainable development; He' nan province

收稿日期: 2010-12-02

修回日期: 2010-12-23

资助项目: 国家自然科学基金(40971097); 河南省软科学基金项目(102400440039, 092400410031); 信阳师范学院博士科研启动基金; 信阳师范学院青年骨干教师资助计划

作者简介: 高军波(1979–), 男, 河南信阳人, 博士, 讲师, 主要从事城市与区域可持续发展与规划、城市内部空间结构研究。E-mail: gaojun-bo689@yahoo.com.cn

人类消费的生态足迹 (Ecological Footprint, EF) 自 20 世纪 80 年代以来就已经超过了地球的生产能力, 到 2003 年已经超过 20%^[1], 说明地球的再生能力已经不能满足人类的消费需求。《Living Planet Report》研究显示, 化石能源消耗而产生的 CO₂ 排放足迹占据各国生态足迹构成的很大比重, 其中中国化石能源消耗产生的碳排放足迹占总生态足迹的 47.5%^[2]。早在 2000 年中国因化石燃料所排放的 CO₂ 就已经占全球排放量的 10.6%, 且近年来对石油和煤炭等化石能源的需求以年均 3.2% 速度递增, 据预测将在 2011 年取代美国成为全球最大的能源消费国^[3], 是名副其实的“碳排放”大户。所以 CO₂ 排放不仅进一步加剧了生态环境的恶化, 且导致国际社会对中国限排温室气体的巨大压力, 因此, 对化石能源消耗所产生的环境影响的研究尤显重要。自 2001 年以来, 国外就有一些学者陆续以生态足迹的方法对化石能源排放进行研究^[4,5], 国内学者对生态足迹的研究开始于 1991 年^[6,7], 但基于生态足迹理论方法对化石能源消费进行的相关研究还不多见。本文对河南省 1995–2008 年间生态足迹及化石能源利用效率进行定量评价, 探求省域社会经济可持续发展程度及化石能源利用效率的动态趋势。

1 生态足迹原理及化石能源足迹计算方法

1.1 生态足迹概念及模型

生态足迹是通过测定特定区域、特定人口, 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^[8]。它侧重于生态理念的可持续发展量化, 具有形象、综合、易于理解的特点, 能够表达人类消费对生态系统占用的相对大小, 并揭示其发展趋势和主要矛盾, 已经成为国际公认具有吸引力的评价自然资源消耗的生态指标。生态足迹模型包括区域生态足迹、生态承载力和生态盈余/赤字三组方程:

1.1.1 生态足迹计算

$$EF = N \cdot ef = N \sum_{i=1}^n (a_i) = N \sum_{i=1}^n (r_i c_i / p_i) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中: EF——区域生态足迹; ef——人均生态足迹; N——人口数; a_i——i 种物质人均占用的生物生产面积; c_i——i 物质的人均消费量; p_i——i 种物质的世界平均生产能力; r_i——均衡因子; i——消费的物质种类。

1.1.2 生态承载力计算

$$EC = N \sum_{j=1}^6 ec = N \sum_{j=1}^6 (a_j r_j y_j) \quad (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

式中: EC——区域生态承载力; ec——人均生态承载力; N——人口数; j——生物生产面积类型; a_j——人均实际占有的生物生产面积; r_j——均衡因子; y_j——产量因子。

1.1.3 生态盈余/生态赤字模型

$$ES(ED) = EC - EF \quad (3)$$

公式(3)的结果表征区域生态可持续发展状态; 若为正, 则该区域为生态盈余; 反之, 则该区域为生态赤字, 生态需求已经超出该地区的生态承载能力, 处于不可可持续发展状态。

1.2 化石能源计算方法

化石能源是由保留在地壳中的动植物遗骸经过一系列物理化学变化形成的燃料, 具体包括煤、石油以及天然气。由于机体遗骸形成的化石能源中富含大量的碳元素, 在其燃烧过程中会形成大量的 CO₂ 气体, 且目前化石能源占人类生产生活所需初级能源的 80% 以上, 因此化石能源消耗是影响区域可持续发展状态及碳排放规模的关键。

化石能源足迹的计算是将能源的消费量转化为消纳化石能源燃烧而排放出的 CO₂ 生产土地的面积, 即化石能源用地。需要说明的是, 化石能源用地类型在实际生活中并不单独存在, 而是 Wackernagel 在构建生态足迹理论时假设出的一种用于吸收由于化石能源利用而排放出 CO₂ 的虚拟土地类型。由于现实中排放出的 CO₂ 主要被森林所吸收, 可将化石能源燃烧过程中排放出碳元素的含量转化为吸收这些碳元素所需森林的面积, 所以要维持区域可持续发展就需要有足够的林地来吸收 CO₂, 故可以选择化石能源足迹面积对人均林地面积的占有比例, 来评价能源足迹对生态系统的压力^[6]。

化石能源足迹计量模型为:

$$FEF = N \cdot efe = N \sum_{i=1}^n (ce_i \cdot pe \cdot pc_i \cdot \varepsilon) \quad (4)$$

式中: FEF——总化石能源足迹; efe——人均化石能源足迹; N——人口数; i——化石能源种类; ce_i——i 类化石能源的人均消费量; pe——化石能源的能源密度, 即世界单位化石能源的平均发热标准, 每吨标准煤平均发热 29.4 GJ; pc_i——单位 i 类化石能源发热量的碳元素排放标准, 它随着化石能源分子结构的不同而存在着差异, 煤、石油、天然气的碳密度分别为 0.026, 0.020, 0.015^[9]; ε——权衡因子, 即世界平均水平下消纳 1 单位碳元素所需的森林面积。

2 河南省生态足迹时间维动态分析

2.1 河南省生态足迹计算

生态足迹模型将生物生产性土地折算为耕地、林

地、草地、水域、化石燃料用地(能源用地)、建筑用地等 6 类。由于不同类型的生物生产用地的生态生产力不同,为了便于衡量,需要对各类生物生产面积乘以均衡因子,将这些具有不同生态生产力的生物生产面积转化为具有相同生态生产力的面积,然后相加计算生态足迹和生态承载力。6 类生态生产用地的均衡因子分别为:森林、化石能源用地为 1.1,耕地、建筑用地为 2.8,草地为 0.5,海洋为 0.2。在计算生态足迹的供给(生态承载力)时,由于不同国家或地区的资源禀赋不同,同样需要引入产量因子进行调整,产量因子是某个国家或地区某类型土地的平均生产力与世界同类土地的平均生产力的比率。为了便于比较,本文计算过程中的产量因子取 Wackernagel 对中国生态足迹的计算取值,耕地为 1.66,草地为 0.19,林地 为 0.91,水域是 1^[10]。

河南省生态足迹核算主要计算生物资源的消费和能源的消费两大类。基于资料可取性,本文暂没考虑区域贸易调整。采取世界环境与发展委员会报告的建议,留出 12% 的生物生产面积以保护生物多样性,因此在生态承载力计算时扣除 12% 的生物多样性保护面积。根据河南省统计年鉴(1996–2009)数据,1995–2008 年河南省生态足迹和生态承载力的计算结果如表 1 和表 2 所示。

2.2 河南省生态足迹动态分析

2008 年河南省人均生态足迹为 2.613 hm², 是 1995 年的 2.075 倍,年均增长 0.11 m²。河南省生态

足迹达到或接近国内一些特大城市水平(2003 年北京 2.132 hm^{2[11]},上海 2.64 hm^{2[12]},广州 2.5 m^{2[13]}),也超过全球人均生态足迹(2003 年为 2.2 hm^{2[14]}),是同期省域人均生态承载力的 4.61 倍,说明河南省对自然资源的利用超出了生态承载力的范围和自然的再生能力,省域社会经济处于不可持续的发展状态。

在生态足迹构成上,2008 年河南化石能源用地足迹、耕地足迹和草地足迹分别为 0.928, 0.765, 0.694 hm², 占人均总足迹的比重分别是 35.5%、29.2%、26.6%,是生态足迹的主要构成部分,其比重远高于其他用地类型,且有持续上升趋势,说明河南的经济发展仍是以传统的种植业和工业为主,农业所占比重较大,对自然资源过度依赖。在生态足迹动态变化幅度上,人均化石能源足迹增长速度最快,从 0.236 hm² 提升到 0.928 hm²,是 1995 年的 3.93 倍,表现出与 20 世纪 90 年代中期以来河南省快速工业化、城市化进程相一致的特征;与耕地、草地、水域、化石能源及建筑用地生态足迹的持续增长趋势不同,河南省林地生态足迹变化动态呈先递减后回升的趋势,其中在 1995–2003 年间林地足迹迅速下降,而 2004 年以后则有缓慢增长态势,说明河南省先后实施的天然林保护、退耕还林、通道绿化及对生态状况脆弱、生态地位突出的重点地区进行集中治理的重点生态工程取得了显著成效,但要持续珍惜和保护森林资源,以不断提高社会经济环境承载力。

表 1 1995—2008 年河南省人均生态足迹 hm²/人

用地	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
耕地	0.451	0.529	0.550	0.567	0.602	0.550	0.605	0.626	0.662	0.631	0.678	0.748	0.754	0.765
林地	0.177	0.052	0.061	0.033	0.034	0.030	0.035	0.035	0.066	0.023	0.024	0.025	0.024	0.030
草地	0.342	0.433	0.459	0.468	0.479	0.466	0.510	0.552	0.561	0.625	0.663	0.625	0.678	0.694
水域	0.015	0.017	0.020	0.022	0.023	0.024	0.025	0.029	0.028	0.033	0.040	0.060	0.053	0.060
化石	0.236	0.438	0.430	0.404	0.413	0.442	0.477	0.517	0.604	0.766	0.869	0.918	0.926	0.928
建筑	0.038	0.042	0.047	0.050	0.053	0.058	0.065	0.072	0.089	0.113	0.128	0.130	0.136	0.139
总人均	1.259	1.511	1.567	1.544	1.604	1.570	1.717	1.830	2.010	2.191	2.402	2.506	2.571	2.613

2.3 河南省生态承载力动态分析

如表 2 所示,1995–2008 年河南省人均生态承载力保持持续提升,从 1995 年 0.382 hm² 增长的 2008 年 0.567 hm²,14 a 均增长了 0.182 hm²。生态承载力提升主要体现在耕地、林地和建筑用地承载力的缓慢增长,而草地和水域生态承载力基本不变,表明过去 14 a 间省域土地利用类型格局变化总体不大,限制其所能够提供的资源和维持经济社会发展的可持续性能力。随着人口的增加和人们生活水平的提高,不仅对粮食的需求,而且由食物消费结构的改变带来的对草地生产出的肉类、禽蛋类等动物类产品

的需求也增加,且随着城市化、工业化进程的加快,原有的土地生态承载力将无法 满足人们物质文化生活发展的需要,区域社会经济发展将面临严峻压力。

2.4 河南省生态盈余/赤字动态分析

如表 3 所示,从总体规模上看,河南省生态承载力始终小于生态足迹,且生态赤字规模持续增长,从 1995 年的 0.876 hm² 提升到 2008 年的 2.046 hm²,增加了 1.34 倍。在变化趋势上,1996–2000 年间年均增长 0.009 hm²,为省域生态赤字缓慢增长阶段;而在 2002–2008 年,河南生态赤字年均增长 0.115 hm²,是省域生态赤字快速增长阶段,表明河南省域

社会经济发展对资源的需求超过区域自然环境的生产能力,且区域生态安全有持续恶化趋势。另外,通过比较每类土地类型的人均生态赤字/盈余的平均值发现,河南省近 14 a 间土地类型的生态赤字大小序列分别为:化石能源用地(− 0.928 hm²) > 草地(− 0.694 hm²) > 耕地(− 0.345 hm²) > 水域(− 0.058 hm²) > 建筑(− 0.029 hm²);而林地从 2004 年开始由生态赤字转为生态盈余,人均生态盈余规模

较小,且具有持续波动特征。河南省生态赤字主要是由化石能源足迹快速增长引起的,占人均生态赤字总规模的 45.6%,其原因一方面在于河南省城市化、工业化进程增加了对煤、石油、天然气等化石能源的需求;另一方面是河南省经济增长方式粗放、产业结构不合理及技术水平与管理水平落后导致了能源利用效率不高,加剧了生态环境的恶化。因此,从化石能源利用效率视角分析省域生态环境安全的动态变化。

表 2 1995—2008 年河南省人均生态承载力 hm²/人

用地	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
耕地	0.350	0.346	0.343	0.343	0.340	0.339	0.338	0.354	0.348	0.346	0.345	0.403	0.412	0.421
林地	0.024	0.024	0.024	0.024	0.028	0.028	0.027	0.027	0.027	0.035	0.035	0.033	0.035	0.035
草地	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
水域	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
化石	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
建筑	0.007	0.014	0.023	0.030	0.038	0.040	0.080	0.102	0.103	0.103	0.104	0.105	0.105	0.110
总人均	0.382	0.386	0.391	0.398	0.408	0.408	0.447	0.484	0.479	0.485	0.485	0.542	0.554	0.567

表 3 1995—2008 年河南省人均生态盈余/赤字 hm²/人

土地	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
耕地	− 0.101	− 0.183	− 0.207	− 0.224	− 0.261	− 0.211	− 0.266	− 0.272	− 0.314	− 0.286	− 0.333	− 0.346	− 0.342	− 0.345
林地	− 0.152	− 0.028	− 0.038	− 0.009	− 0.006	− 0.003	− 0.007	− 0.008	− 0.039	0.012	0.011	0.008	0.011	0.006
草地	− 0.342	− 0.433	− 0.459	− 0.468	− 0.479	− 0.466	− 0.510	− 0.552	− 0.561	− 0.625	− 0.663	− 0.625	− 0.678	− 0.694
水域	− 0.014	− 0.016	− 0.019	− 0.021	− 0.022	− 0.024	− 0.024	− 0.028	− 0.027	− 0.032	− 0.039	− 0.059	− 0.052	− 0.058
化石	− 0.236	− 0.438	− 0.430	− 0.404	− 0.413	− 0.442	− 0.477	− 0.517	− 0.604	− 0.766	− 0.869	− 0.918	− 0.926	− 0.928
建筑	− 0.031	− 0.027	− 0.024	− 0.020	− 0.015	− 0.017	0.015	0.030	0.014	− 0.010	− 0.024	− 0.025	− 0.031	− 0.029
总人均	− 0.876	− 1.126	− 1.176	− 1.146	− 1.196	− 1.162	− 1.270	− 1.346	− 1.531	− 1.707	− 1.917	− 1.965	− 2.017	− 2.046

3 河南省化石能源足迹及其效率动态分析

3.1 化石能源足迹计算

从河南省统计年鉴(1996—2009)查找近 14 a 的煤(包括原煤、焦炭)、石油(包括原油、汽油、煤油和柴

油)、天然气 3 类化石能源的消耗规模,并将其换算成标准煤当量,再将各类能源的标煤量转化为相应的热量,乘以不同化石能源碳元素排放系数和“碳吸收”所需森林面积的均衡因子。通过公式(4)计算,可以得出 1995 年以来河南省的人均化石能源足迹(详见表 4)。

表 4 1995—2008 年河南省人均化石能源足迹

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
FEF/hm ²	0.2361	0.3198	0.3138	0.2946	0.3019	0.3223	0.3485
年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
FEF/hm ²	0.3777	0.4408	0.5590	0.6344	0.6701	0.6759	0.6776

数据来源:《河南省统计年鉴》(1996—2009)。

如表 4 所示,河南省人均化石足迹在 1995—2008 年间是一个“先剧增、后缓减、再持续增长”的过程。其中在 1995—1996 年有一个迅速的增长,从 0.236 1 hm² 增加到 0.319 8 hm²;然后在 1996—1999 年有缓慢降低趋势,人均化石足迹从 0.319 8 hm² 降低到 0.301 9 hm²;从 2000 年开始,河南省人均化石能源足迹进入一个持续增长过程,2008 年增加到 0.677 6 hm²,是 2000 年的 2.1 倍。从宏观层面看,1995—1999 年是中国能源资源相对过剩时期,加上经济紧缩

政策,使河南和全国其他地区一样,对煤炭等化石能源的消耗相对减少。但在“十五”以后,河南省城市化、工业化加速,国民经济进入以重化工业为主导的新增长阶段,一系列外部因素使河南经济的快速增长带动了能源消耗的不断攀升,致使能源足迹不断增大。基于上述原因,导致了河南省人均化石能源总足迹出现先减后增的现象。

3.2 化石能源足迹产值及强度分析

化石能源足迹产值体现单位化石能源足迹产生

的经济价值, 定义为人均 GDP 与人均化石能源足迹的比值。人均化石能源足迹产值分析可将区域经济与能源、生态环境发展定量化处理, 探索其能源效益与发展趋势。对河南省 1995–2008 年化石能源足迹产值计算, 结果表明自 1995 年起, 河南省化石能源足迹产值呈增加趋势, 从 1.396 5 万元/hm² 增长到 2008 年的 2.891 5 万元/hm², 为 1995 年的 2.07 倍。化石能源足迹产值动态表明, 河南省近 14 a 来经济发展良好, 单位土地面积产值增加, 能源利用效率不断提高, 单位能源足迹所创造的经济价值不断增加。但是, 由于 1995–2008 年河南省人均 GDP 增加到 5.9 倍, 远高于同期化石能源足迹产值增长速度, 说明经济增长对化石能源的依赖还比较明显。

化石能源足迹强度则是能源足迹与 GDP 的比值, 表征每增加一个单位 GDP 所需要占用的化石能源足迹面积。化石能源足迹强度越大则能耗越大, 能源足迹效益越差。计算结果表明河南省 14 a 来的化石能源足迹强度走势良好, 1995 年单位 GDP 所需占用的化石能源足迹面积最高, 为 0.716 1 hm²/万元, 最低值为 2008 年的 0.345 8 hm²/万元, 仅是 1995 年的 48%, 说明河南省化石能源利用效率在逐渐提高, 单位土地面积产生的经济价值逐渐增加。

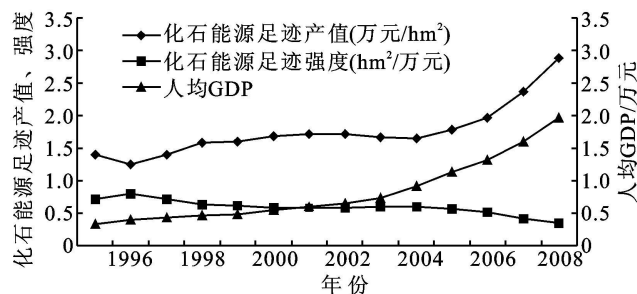


图 1 河南省 1995–2008 年化石能源足迹产值、强度与人均 GDP 增长的关系

3.3 化石能源足迹与生态压力分析

化石能源消费所排放的 CO₂ 在进入大气环境后, 除海洋吸收部分以外, 主要依靠森林植被通过光合作用的形式吸收。我们可以构建化石能源足迹的生态压力指数, 即用人均化石能源足迹与人均拥有的林地(包括森林和草地)面积的比值来表征化石能源消费对自然生态系统产生的压力大小。比值越大, 表明化石能源足迹的生态压力越大, 区域生态安全程度越低; 反之, 压力亦小, 区域生态环境越安全。

如图 2 所示, 河南省化石能源的生态压力指数呈波动式变化趋势。其中在 1996–1999 年间呈递减趋势, 而从 2000 年开始, 化石能源生态压力指数持续递增, 并于 2006 年达到最高值, 尔后开始回落, 开始新的缓解调整。在压力指数规模上, 1995 年最低, 但也

高达 9.77, 2006 年的压力指数最高值超过 20, 说明河南省人均化石能源足迹面积已经远远超过同期人均林地(包括草地和园地)面积, 省域化石能源足迹的生态压力大。虽然河南省林业厅数据显示, 2008 年全省有林地面积增加到 336.6 万 hm², 森林覆盖率也提高到 20.16%。但省域人均林地面积仅为 0.033 8 hm², 近 14 a 来人均林地面积仅增加了 0.009 6 hm²。而同期河南省工业化、城市化快速推进, 对化石能源需求量不断增加, 导致人均化石能源足迹面积持续增长。由此共同导致河南省化石能源足迹的生态压力指数持续增长, 区域生态安全面临严峻威胁, 必须引起足够重视。

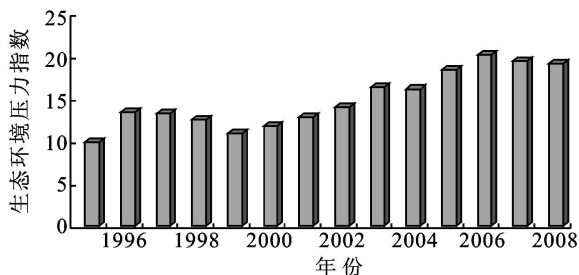


图 2 河南省 1995–2008 年生态环境压力指数动态变化

4 结论与对策

基于生态足迹理论模型对河南省 1995–2008 年生态空间占用及化石能源利用效率进行了时间序列的动态测度和分析, 得出如下结论: 河南省 14 a 来的生态空间占用需求快速增长, 其中化石能源及耕地足迹是河南省生态空间占用的构成主体, 而同期生态承载力却改善有限, 导致省域生态压力指数持续增长, 并于 2006 年达到峰值。河南省 1995–2008 年间化石能源足迹产值稳步上升, 且化石能源足迹强度逐渐减小, 表明河南省化石能源利用效率不断提高, 经济结构和能源结构调整已现成效。

为了减少人均化石能源足迹和总的生态足迹, 降低河南省社会经济活动对生态环境的影响程度, 可采取如下措施: (1) 进一步调整经济结构和能源结构, 加快经济结构向能源节约型和集约化的转变。彻底放弃粗放的经济增长方式, 利用循环经济模式发展经济; 提高能源使用效率, 发展清洁能源和可再生能源, 并大力推广减排过滤技术, 尽量减少单位能耗的排放量, 降低环境所承载的负荷; (2) 提高城市化质量, 优化城镇人口素质和规模, 推动节约化石能源和保护生态环境的产业结构和消费模式的形成, 并逐步完善节约化石能源和保护生态环境的法律和政策, 形成可持续发展的体制机制; (3) 加快生态文明建设, 加大植树造林力度, 提高植被覆盖率, 减少对环境 and 植被的破

坏; 进一步开展土地整理和复垦, 增加土地储备资源, 加大植树造林力度, 保护森林资源; 增强环境的化石能源承载力, 有效控制生态赤字; (4) 调整和优化国民经济产业结构的重点应该是大力发展低能耗、高附加值的高新技术产业, 大力发展新兴生产服务业和生活服务业, 积极发展环保产业, 提高它们在国民经济中所占的比重。

参考文献:

- [1] WWF. Living Planet Report 2006[EB]. <http://www.panda.org/news-facts/publications/living-planet-report/lp-2006/index.cfm>, 2010-11-01.
- [2] WWF. Living Planet Report 2000[EB]. <http://www.panda.org/news-facts/publications/living-planet-report/lp-2000/index.cfm>, 2010-11-01.
- [3] 国际能源机构. 中国 2010 年后或成最大能源消费国[EB/OL]. <http://www.p5w.net/news/gncj/200711/t1315242.htm>, 2010-11-08.
- [4] Wackernagel M, Niels B. Schulz et al. Calculating national and global ecological footprint time series: Resolving conceptual challenges[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21: 271-278.
- [5] Karen T, Manfred L, Thomas W, et al. Examining the global environmental impact of regional consumption ac-

tivities: Part 1. A technical note on combining input-output and ecological footprint analysis[J]. *Ecological Economics*, 2007, 62: 37-44.

- [6] 李智, 鞠美庭, 刘伟, 等. 中国 1996-2005 年能源生态足迹动态测度与分析[J]. *资源科学*, 2007, 29(6): 54-61.
- [7] 高军波. 河南省城市化环境效应研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2007.
- [8] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. *地理学报*, 2001, 59(5): 599-610.
- [9] 赵震宇, 宋冬林. 中国化石能源使用可持续性评估: 基于 1990-2006 年数据[J]. *地理科学*, 2010, 30(1): 75-80.
- [10] Rees W. Eco footprint analysis: merits and brickbats[J]. *Ecological Economics*, 2000, 32(3): 371-374.
- [11] 张颖. 北京市生态足迹变化和对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): 47-55.
- [12] 张芳, 徐伟锋, 李光明, 等. 上海市 2003 年生态足迹与生态承载力分析[J]. *同济大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(1): 80-84.
- [13] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析: 以广州为例[J]. *地理研究*, 2003, 22(5): 54-63.
- [14] 杜加强, 王金生, 滕彦国, 等. 生态足迹研究现状及基于净初级生产力的计算方法初探[J]. *中国人口·资源与环境*, 2008, 18(4): 178-183.

(上接第 231 页)

参考文献:

- [1] Daily G. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Washington DC's Island Press, 1997.
- [2] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land cover change, implementation strategy[R]. IGBP Report No. 35/HDP Report No. 10. Stockholm: IGBP, 1999.
- [3] Ayres R U. The price value Paradox[J]. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 17-19.
- [4] Serafy S. Pricing the invalueable: the value of the world's ecosystem service and natural capital[J]. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 25-27.
- [5] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- [6] 吴钢, 肖寒, 赵景柱, 等. 长白山森林生态系统服务功能

[J]. *中国科学: C 辑*, 2001, 31(5): 471-480.

- [7] Turner B L II, Skole D, Fischer G, et al. Landuse landcover change: science/change plan[C]. IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7. Stockholm and Geneva, 1995: 14-22.
- [8] 冉圣宏, 吕昌河, 贾克敬, 等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. *环境科学*, 2006, 27(10): 2139-2144.
- [9] 白晓飞, 陈焕伟. 土地利用的生态服务价值: 以北京市平谷区为例[J]. *北京农学院学报*, 2003, 18(2): 109-111.
- [10] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. *科学通报*, 2000, 45(1): 17-19.
- [11] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.
- [12] 王天伟. 土地利用类型变化对生态服务价值的影响: 以西汉高速公路卢县至勉县段沿线区域为例[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(3): 待刊.