

绵阳市生态足迹和生态承载力动态变化分析

石建屏¹, 李新², 叶元蕾²

(1. 绵阳职业技术学院 材料工程系, 四川 绵阳 621000; 2. 绵阳师范学院 资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘要: 生态足迹法是用来评价区域发展可持续性的重要方法。以四川省地震重灾区绵阳市为例, 计算了 2000—2009 年生态足迹和生态承载力。结果表明, 该区人均生态足迹呈波动式增长, 由 2000 年的 1.377 2 hm² 增长到 2009 年的 2.408 7 hm²; 人均生态承载力增长缓慢, 人均生态赤字由 0.954 4 hm² 增长到 1.922 0 hm²; 生态压力指数由 3.257 6 增长到 4.949 3; 万元 GDP 生态足迹由 2.252 1 下降到 1.599 6; 2008 年“5·12”汶川地震后, 生态足迹出现急剧增长。随着近年来绵阳市资源消耗增加, 发展模式呈不可持续状态, 社会经济发展与生态环境的协调性较差。为实现生态城市建设规划目标和可持续发展战略, 建议适当控制人口增量, 调整农业产业结构, 保护耕地资源, 转变人们的生活和生产方式。

关键词: 生态足迹; 生态承载力; 生态压力指数; 可持续发展

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0276-05

中图分类号: X171, F062.2

Dynamics of Ecological Footprints and Ecological Capacity in Mianyang City

SHI Jian-ping¹, LI Xin², YE Yuan-lei²

(1. Department of Materials Engineering, Mianyang Occupation Technical College, Mianyang, Sichuan 621000, China;
2. School of Natural Resource and Environmental Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: Ecological footprint(EF) is one of the most important methods to evaluate the sustainability of region development. The ecological footprints and ecological capacity(EC) were calculated based on the ecological footprint theory and model for Mianyang City during 2000 to 2009. The results show that within the study period, the ecological footprint per capita increased, with apparent fluctuations, from 1.377 2 hm² to 2.408 7 hm², the ecological deficit per capita increased sharply from 0.954 4 hm² to 1.922 0 hm², and the ecological capacity per capita increased only slightly. In contrast, the ecological tension index arose from 3.257 6 to 4.949 3, and the ecological footprint of ten thousand Yuan GDP decreased from 2.252 1 hm² to 1.599 6 hm². Especially, the ecological footprints and ecological deficits showed sharp growth since the reconstruction after the "5·12" Wenchuan earthquake in 2008. With increasing consumptions of natural resources in Mianyang City, the conflicts between ecological footprint and ecological capacity were amplified; suggesting an unsustainable state of the present developing model and poor harmony between socioeconomic development and ecological environment. In order to achieve the goals of eco-city construction plan and sustainable development strategy in Mianyang City, recommendations were made based on the analysis of this study, including controlling the size of population, adjusting the structure of agricultural industry, protecting the resources of cultivated land, and optimizing life style and production mode of the people.

Keywords: ecological footprint; ecological capacity; ecological tension index; sustainable development

20 世纪 90 年代初, 加拿大生态经济学家 William 和 Wackernagel 提出生态足迹(ecological footprint, E_F)的概念, 即一定区域范围内生产所有人口消费的资源并吸纳其产生的废弃物需要的生物生产性面积(biologically productive area)^[1-2]。生态足迹

反映出区域的资源需求水平, 生态承载力(ecological capacity, E_C)则反映出区域的资源供给能力, 揭示了人类持续生存和发展的生态阈值。通过计算区域生态足迹(总供给)与生态承载力(总需求)之间的差值——生态赤字或生态盈余, 可以衡量不同层次的区

收稿日期: 2011-11-23

修回日期: 2012-01-10

资助项目: 四川省教育厅科研项目“生态城市建设水环境承载力分析与保护对策研究”(10ZC117); 四川省循环经济研究中心资助项目(XHJJ-1016)

作者简介: 石建屏(1963—), 女(汉族), 四川省巴中市人, 副教授, 主要从事分析化学、环境监测与评价方向的研究工作。E-mail: lixinshijianping@163.com。

域可持续发展状况,对未来社会经济发展做出科学规划和建议。

国内外学者对传统生态足迹模型的研究从静态转向动态、从定性转为定量、从单一要素转向多要素乃至整个生态系统,朝着回顾性、动态性和预测性多元方向发展^[3]。Haberl 等^[4]对长时间段生态足迹计算方法进行探讨,分别采用恒定世界单产、可变世界单产和可变地方实际单产法计算了奥地利 1926—1995 年的生态足迹。Wackernagel 等^[5]分别采用全球年平均产量和当地实际年平均产量计算了菲律宾、韩国、奥地利 3 国 1961—1999 年的生态足迹和实际土地需求。国内学者对生态足迹的实证研究范围逐步扩大,涵盖国家、省市行政区、行业、社区、家庭、产品等各个层次;利用生态足迹数学模型和以统计数据为基础,计算生态足迹、生态承载力并分析生态赤字产生的原因^[6-9]。通过对生态足迹模型和方法不断尝试性调整和改进,进行动态研究和分析并评价区域发展的可持续状态;刘宇辉等^[10]运用回归分析方法,建立生态足迹、生态承载力和生态赤字的预测模型,分析了生态可持续性动态变化趋势;方建德等^[11]运用主成分回归方法,建立人均生态足迹的驱动因子分析模型,揭示了驱动生态足迹序列变化的主要因素;韩申山等^[12]对生态足迹与生态安全进行定量研究,提出生态压力指数和万元 GDP 生态足迹。对区域内生态足迹进行动态研究及分析评价区域可持续发展状态成为主要方向^[13-16]。

2008 年“5·12”四川汶川地震之后,地震灾区生态环境遭受到严重破坏,本研究以四川地震重灾区绵阳市为例进行区域实证分析,应用生态足迹数学模型和方法,按照时间序列计算绵阳市 2000—2009 年的生态足迹、生态承载力、生态赤字(盈余),分析地震前后生态压力指数的动态变化、评估区域经济发展的可持续性、分析生态赤字的产生原因;为制定绵阳市灾后重建和生态恢复长远发展计划,实现生态城市建设规划目标和可持续发展战略,正确面对目前的生态压力和生态危机,提供经济社会与生态环境协调发展的对策。

1 研究方法

1.1 生态足迹数学模型

生态足迹计算公式^[13]:

$$E_F = N \cdot e_f = N \cdot \sum_{i=1}^n a_i \cdot r_j = N \cdot \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{i p_i} \cdot r_j \quad (1)$$

式中: E_F ——总的生态足迹; N ——人口数量; e_f ——人均生态足迹; i ——消费商品的类别; j ——

土地类型; a_i ——第 i 种商品的人均生物生产性土地面积; r_j ——各类型土地均衡因子,即将不同类型土地转化为在生物生产力上等价的系数,全球统一的均衡因子见表 1^[7]; c_i ——第 i 种商品的人均消费量; p_i ——第 i 种商品的全球平均生产力,计算耕地、林地、水域等面积时,采用世界粮农组织(FAO)公布的每公顷相应类型土地的全球平均生产量;在计算煤炭、燃料和电力等资源的化石燃料用地面积时,采用世界单位化石能源土地面积的平均发热量来确定各类型资源全球平均能源足迹。

1.2 生态承载力数学模型

生态承载力计算公式^[13]:

$$E_C = N \cdot e_c = N \cdot \sum_{j=1}^n a_j \cdot r_j \cdot y_j \quad (2)$$

式中: E_C ——总的生态承载力; e_c ——人均生态承载力; a_j ——实际人均占有的 j 类生物生产性土地面积; r_j ——各类型土地均衡因子; y_j ——产量因子,将各国各地区同类型生物生产性土地转化为可比面积的系数,即一个国家或地区某类土地的平均生产力与世界该类型土地生产力的比率。

1.3 生态赤字(盈余)模型

生态赤字(盈余)计算公式:

$$E_D(E_S) = E_C - E_F \quad (3)$$

式中: E_D, E_S ——生态赤字和生态盈余; E_F, E_C ——研究区总的生态足迹和生态承载力。

区域的生态足迹和生态承载力相比较,如果生态足迹小于生态承载力,就出现了生态盈余,说明该地区人口对自然资源的利用状况良好,该地区经济社会处于可持续发展状态;如果生态足迹大于生态承载力,就出现了生态赤字,说明该地区经济社会处于不可可持续发展状态。

1.4 生态压力指数模型

生态压力指数计算公式^[15]:

$$I_{ET} = \frac{e_f}{e_c} \quad (4)$$

式中: e_f ——人均生态足迹; e_c ——人均生态承载力。

生态压力指数反映研究区域经济发展是否处于可持续发展状态。当区域生态压力指数大于 1,则表明该区域经济发展处于不可持续状态;当区域生态压力指数等于 1,则表明该区域经济发展处于弱可持续状态;当区域生态压力指数小于 1,则表明该区域经济发展处于可持续状态。

万元 GDP 生态足迹指万元 GDP 占用的生态空间。万元 GDP 生态足迹越大,单位面积的生物生产性土地的产出就越低,区域资源的利用效率就越低;反之,区域资源的利用效率就越高。

2 生态足迹和生态承载力计算

2.1 研究区概况

绵阳市辖 2 区 6 县 1 市,总人口 530 万。位于四川盆地西北部,地理位置为东经 $103^{\circ}45'$ — $105^{\circ}43'$,北纬 $30^{\circ}42'$ — $33^{\circ}03'$;总面积 20 249 km²,占四川省土地面积的 4.2%。按地貌类型山区占 61%,丘陵区占 20.4%,平坝区占 18.6%。平均降水量 826~1 417 mm,森林覆盖率达 45.7%。地处四川盆地亚热带湿润季风气候区,全年四季分明,夏秋雨水充沛,年平均空气相对湿度 70%,终年湿润。

本文数据来源于 2000—2009 年《绵阳市统计年鉴》和《绵阳市国民经济和社会发展统计公报》,绵阳市 2000—2009 年人口与国民生产总值(GDP)、各种生物资源消费量、各种能源消费量等统计数据。

2.2 生态足迹计算

绵阳市各种资源和能源消费项目折算为耕地、草场、林地、建筑用地、化石能源土地、水域等 6 种生物生产性面积类型,将具有不同生态生产力的各类生物生产面积乘以均衡因子转化为统一的、可比较的生物生产性面积。

将各种物理空间的面积(表 1)乘以相应类型的均衡因子和产量因子,可得带有全球平均产量的平均生态承载力;根据世界环境与发展委员会(WCED)的建议,扣除了 12% 的生物多样性保护面积;得到 2000—2009 年各类型土地的人均生态承载力。按照公式(3)计算出各类型土地的人均生态赤字(盈利)。按照公式(4)计算得到总的人均生态足迹、生态承载力、生态赤字(盈利)和生态压力指数。从而达到人均 GDP 和万元 GDP 生态足迹。

表 1 绵阳市 2000—2009 年各种物理空间面积

hm²

年份	耕地	草场	林地	建筑用地	化石能源用地	水域
2000	317 030	54 101	571 637	93 026	—	35 368
2001	310 340	54 101	756 667	93 199	—	35 368
2002	293 290	54 103	971 810	81 065	—	35 368
2003	280 310	54 103	1 112 740	118 256	—	35 368
2004	280 900	54 252	1 125 623	118 513	—	38 284
2005	277 350	47 009	1 136 200	113 976	—	34 702
2006	281 410	47 010	1 137 264	101 580	—	34 525
2007	283 712	47 010	1 137 502	119 767	—	34 287
2008	280 823	47 010	1 135 320	121 125	—	35 204
2009	279 927	50 966	1 135 320	121 125	—	35 204

3 结果分析

3.1 人均生态足迹构成及分析

按照 2000—2009 年时间序列分析各类型土地的人均生态足迹变化,由图 1 可以看出,耕地、化石能源用地的人均生态足迹呈波动式增长,而草场呈较大波动方式增长,水域、建筑用地、林地呈稳定递增趋势。在人均生态足迹的构成要素中,2000 年耕地的生态足迹最大为 0.986 7 hm²,各类型土地的人均生态足迹比重排序为:耕地(72%)>化石能源用地(15%)>草场(9%)>水域(3%)>建筑用地(1%)>林地。2009 年排序未变,耕地比重下降到 43%,足迹为 1.054 0 hm²;化石能源用地比重上升到 38%,足迹为 0.316 6 hm²。

耕地、化石能源用地的相对变化以及生态足迹的构成比重,反映绵阳市民消费水平的提高和消费结构的多元化,对动物性产品需求稳定上升,对粮食作物的依赖降低。可以看出,绵阳市的发展模式主要是通过消耗自然资源存量来弥补生态承载力的不足,其中

生物资源的消费主要以农产品为主,能源消费主要是以原煤为主。

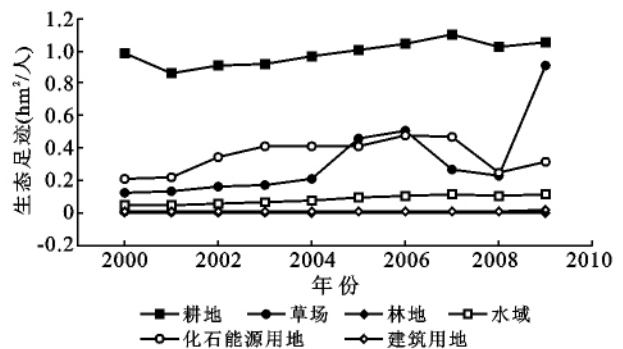


图 1 研究区各类型土地的人均生态足迹

3.2 人均生态承载力构成与分析

按照 2000—2009 年时间序列分析各类型土地的人均生态承载力变化,由图 2 可以看出,耕地、草场、水域的人均生态承载力不断下降,而林地、建设用地呈现不断上升的趋势。在人均生态承载力的构成要

素中,2000 年耕地的人均生态承载力最大为 0.284 3 hm^2 ,各类型土地的人均生态承载力比重排序为:耕地(60%)>林地(23%)>建筑用地(17%),草场、水域只占很少一部分,化石能源用地对生态承载力没有任何的贡献。2009 年排列未变,耕地(43%)>林地(38%)>建筑用地(19%),承载力分别为 0.238 9, 0.208 6和 0.000 9 hm^2 。

建筑用地呈现比较平稳的增长趋势,耕地与林地所占比例的相对变化,反映出近 10 a 绵阳市退耕还林的政策落实比的较好。但是,由于耕地所占比重的下降,生态承载力也随之降低。因此,要提高绵阳市的生态承载力,需要继续发展好农业,提高耕地的利用率和严格实行耕地保护制度。

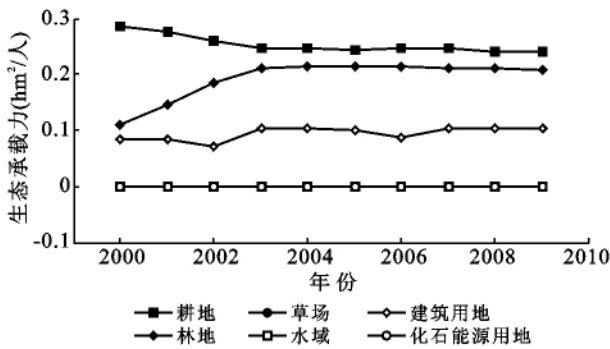


图 2 研究区各类型土地的人均生态承载力

3.3 人均生态赤字(盈余)构成与分析

按照 2000—2009 年时间序列分析各类型土地的人均生态赤字(盈余)变化,由图 3 可以看出,耕地、化石能源用地、草场的生态赤字均呈现波动上升,水域的生态赤字是呈现不断扩大趋势。林地、建筑用地两者为生态盈余并呈现增长趋势。在人均生态赤字(盈余)的构成要素中,2000 年耕地的生态赤字最大为 0.702 5 hm^2 ,各类型土地的人均生态赤字(盈余)比重排序为:耕地(54%)>化石能源用地(17%)>草场(10%)>林地(9%)>建筑用地(6%)>水域(4%)。2009 年排序发生变化,耕地比重下降到 33%,赤字为 0.815 1 hm^2 ;草场比重上升到 37%,赤字为 0.906 3 hm^2 。

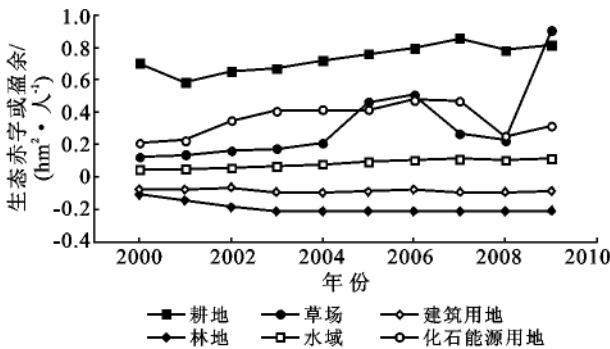


图 3 研究区各类型土地的人均生态赤字或盈利

耕地的赤字比重下降,草场、化石能源用地、水域的赤字比重均呈现波动上升趋势。说明要解决绵阳市人均生态赤字不断扩大的问题,必须大力发展畜牧业和水域养殖业,特别是着重发展畜牧业,解决人们对肉、奶、蛋的需求。同时也要科学地发展工业,改变过去粗放式的发展模式,走循环可持续发展的工业发展道路。

3.4 区域经济发展的可持续性分析

根据 2000—2009 年总的人均生态足迹、生态承载力、生态赤字(盈余)变化趋势可知(图 4),总的人均生态足迹由 2000 年的 1.377 2 hm^2 快速增长到 2009 年的 2.408 7 hm^2 ,而总的人均生态承载力处于较平稳的状态,生态足迹均大于生态承载力,人均生态赤字由 0.954 4 hm^2 增长到 1.922 0 hm^2 ,生态赤字同生态足迹增长趋势一致。2008 年绵阳市总的人均生态赤字出现低谷,为 1.131 7 hm^2 ;2009 年出现快速增长,达到 1.922 0 hm^2 ;实际背景是 2008 年“5·12”地震发生后,绵阳市基础设施、生态环境、工农业生产等受到极大的影响,耕地面积减少,亟需灾后重建。可见“5·12”地震是绵阳市 2009 年人均生态赤字增长较大的一个主要原因。2000—2009 年间绵阳市的生态压力指数不断增加,生态压力指数均在 2.869 4 以上,2009 年达到了 4.949 3;根据生态压力指数的指标判断>1,绵阳市的经济发展处于极度不可持续发展状态。在 2009 年灾后重建的第 1 年里,生态压力指数急剧增长;因此,灾后重建工作应更多考虑资源的整合,以重建工作为契机走可持续的循环经济发展之路。

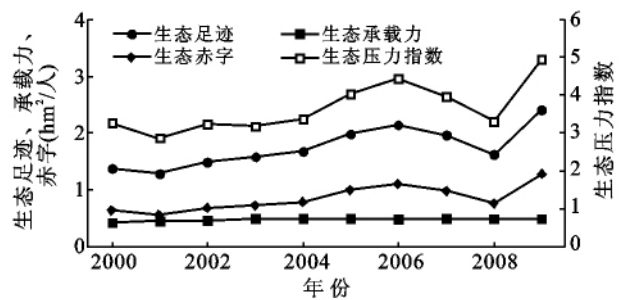


图 4 研究区总人均生态足迹、生态承载力、生态赤字和生态压力指数

根据 2000—2009 年万元 GDP 生态足迹、人均 GDP 变化情况可以看出(图 5),万元 GDP 生态足迹呈现下降趋势,由 2000 年的 2.252 1 hm^2 下降到 2009 年的 1.599 6 hm^2 。随着绵阳市的人均 GDP 的增加,万元 GDP 生态足迹的逐渐减少;说明绵阳市 10 a 来经济快速发展,生产工艺和技术改善,资源利

用率不断提高。2008 年之后的万元 GDP 生态足迹却呈现为快速上升,表明在灾后重建工作中的资源利用方式、资源整合及循环利用还没达到可持续的良性状态。

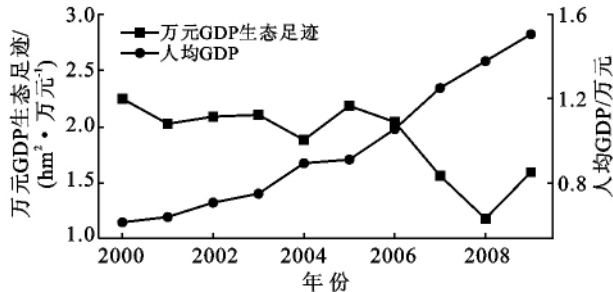


图 5 研究区人均 GDP 和万元 GDP 生态足迹

4 结论

4.1 生态赤字产生的原因

(1) 人口逐年增加。绵阳市近 10 a 的人口逐年增加,从 2000 年的 518.4 万人增加到 2009 年的 544.7 万人。在资源相对稳定的情况下,由于人口的增加,人均资源则相对减少。

(2) 消费结构转变。绵阳市草场的人均生态足迹增长幅度最大,是由于随着人民生活水平的提高,消费结构发生了变化,从过去以粮食为主的单一饮食结构转为多元化。在食品消费构成中粮食所占的比例越来越小,肉类、奶类等动物性产品的消费量逐渐增加。

(3) 耕地资源减少。绵阳市耕地面积从 2000 年的 317 030 hm² 减少到 2009 年的 279 927 hm²,减少了近 12%。耕地面积的减少及各种自然灾害的发生,导致粮食产量的减少,生态赤字不断增大。

(4) 能源高消费。绵阳市化石能源用地的生态足迹占总生态足迹的 13.1% 以上,目前的发展属于资源依赖型,工业生产在经济结构所占比例较高,高能耗生产和高能源消费是出现高生态赤字的原因之一。

4.2 可持续发展的对策

(1) 转变人们消费方式。在人口逐年增加、资源相对稳定的情况下,建立合理的消费体系。倡导节水、节电,鼓励生活垃圾分类,宣传健康良好的生活习惯。在一定程度上减少浪费,缓解生态供给矛盾。

(2) 调整农业产业结构。优化农业产业结构,积极发展畜牧业和林业;合理利用草场资源,提高动物性产品的产量;由于林地生态盈余,因此要适度发展林业生产。

(3) 贯彻耕地保护制度。积极开展土地的整理

和复垦工作,维护耕地红线,使粮食产量满足人们的需求。做好耕地保护宣传工作,提高节约用地和集约用地的意识,加强耕地的保护和基本农田的建设,合理利用土地资源。

(4) 改变企业生产方式。建立资源节约型与环境友好型的双型社会,改变目前的发展模式,对高污染、高耗能的产业进行整改,继续发展以电子技术为主的高新产业,探寻适合绵阳市的可持续发展之路。

[参 考 文 献]

- [1] Wackernagel M, David Yount J. Footprints for sustainability: The next steps[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2000, 2(1): 21-42.
- [2] 刘宇辉. 基于生态足迹模型的经济—生态协调度评估[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 1-9.
- [3] 高鹭, 张宏业. 生态承载力的国内外研究进展[J]. *中国人口·资源与环境*, 2007, 17(2): 19-26.
- [4] Haberl H, Erb K H, Krausmann F. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: The case of Austria 1926—1995[J]. *Ecol. Econ.*, 2001, 38(1): 25-45.
- [5] Wackernagel M, Chad M, Erb K H. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961—1999: Comparing the conventional approach to "actual land area" approach[J]. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 261-269.
- [6] 徐中民, 张志强. 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.
- [7] 刘自娟, 张文秀, 贾林平. 四川省可持续发展的生态足迹研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(2): 155-159.
- [8] 蒲金涌, 姚小英, 王立科. 天水市生态足迹和生态承载力研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(22): 10575-10577.
- [9] 吴之正, 顾卫, 徐映军, 等. 基于生态足迹的沧州市土地生态承载力分析[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(22): 10608-10610.
- [10] 刘宇辉, 彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估[J]. *生态学报*, 2004, 24(10): 2257-2262.
- [11] 方建德, 杨扬, 叶堤, 等. 重庆市生态足迹时间序列动态特征及其驱动因子分析[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(4): 1337-1341.
- [12] 韩申山, 张仁慧. 咸阳市 1999—2006 年生态足迹动态分析[J]. *水土保持通报*, 2009, 29(4): 153-158.
- [13] 徐瑶. 基于生态足迹模型的四川省可持续发展动态分析[J]. *西华师范大学学报*, 2007, 28(2): 161-164.
- [14] 陆颖, 何大明, 柳江. 云南省 15 年生态足迹与承载力分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(03): 93-97.
- [15] 卢远, 华瑾. 广西 1990—2002 年生态足迹动态分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2004, 14(3): 49-53.
- [16] 汪立秀, 马礼. 1997—2006 年涪源县生态足迹动态研究分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(6): 236-240.