

吕 雅,王让会,朱 旻. 基于多元数据的江苏省生态足迹特征分析[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):345-348.

# 基于多元数据的江苏省生态足迹特征分析

吕 雅<sup>1</sup>, 王让会<sup>1,2</sup>, 朱 旻<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏南京 210044; 2. 中国气象局树木年轮理化研究重点开放实验室, 新疆乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 基于国内外生态足迹分析理论和成果, 本研究将遥感影像、环境和经济相结合, 深入了解江苏省可持续发展能力。结果表明, 江苏省 2010 年耕地景观总面积约为 470.90 万  $\text{hm}^2$ , 林地景观总面积约为 144.63 万  $\text{hm}^2$ , 草地景观总面积约为 20.49 万  $\text{hm}^2$ , 水域景观总面积约为 164.90 万  $\text{hm}^2$ , 人工建筑景观总面积约为 195.55 万  $\text{hm}^2$ , 其他景观总面积约为 29.53 万  $\text{hm}^2$ 。江苏省 2010 年人均生态足迹为 2.435 2  $\text{hm}^2$ , 人均可利用生态承载力为 0.370 9  $\text{hm}^2$ , 人均生态足迹赤字为 2.064 3  $\text{hm}^2$ 。其中化石燃料用地对人均生态足迹的贡献率最大, 是江苏省生态足迹的主要足迹组分。通过对江苏省 2010 年生态足迹的特征分析, 并对能源消费碳足迹的特征分析, 可知江苏省目前处于生态赤字状态, 可持续发展能力有待提高。

**关键词:** 景观分类; 生态承载力; 生态足迹; 碳足迹; 江苏省

**中图分类号:** X24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)07-0345-04

可持续发展成为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。生态足迹是 20 世纪 90 年代由 Rees 和 Wackernagel 提出的一种以土地为度量单位的生态可持续性评估方法<sup>[1-2]</sup>, 是衡量人类对地球可再生资源需求的工具。生态足迹概念自 20 世纪末引入我国以来, 引起了国内学者广泛的关注, 生态足迹理论很快作为一种新的理论方法被用于定量分析中国和某些省市或地区的可持续发展问题<sup>[3]</sup>。国内的生态足迹研究始于徐中民等对甘肃省 1998 年生态足迹的研究<sup>[4]</sup>。近年来, 翁伯琦等对福建省生态足迹和生态承载力的动态变化进行了分析<sup>[5]</sup>; 杨莉等对江苏省农村居民消费的环境压力进行了评估和分析<sup>[6]</sup>; 徐洪文等对淮安市水资源生态足迹进行了分析<sup>[7]</sup>。江苏省经济发展和资源环境矛盾日益突出, 生态环境面临巨大压力。江苏省要实现资源节约、环境友好的生态文明发展, 必须在可持续发展的框架下, 以生态有效方式满足人的需要。本研究通过对遥感数据、能源数据、经济数据等多元数据的利用, 以景观分类为基础, 对江苏省 2010 年的生态足迹和生态承载力进行计算, 并进行特征分析, 以便了解江苏省资源利用和人口消费对生态系统的压力, 从而有助于促进江苏省区域内人与自然和谐发展, 以期对江苏省区域可持续发展评估与规划等方面提供参考依据。

## 1 数据来源及分析方法

### 1.1 数据源与预处理

利用景观分类遥感数据为美国气象卫星 NASA 的陆地卫

收稿日期: 2013-10-08

基金项目: 国家科技支撑计划 (编号: 2012BAD16B0305、2012BAC23B01); 中国沙漠气象科学研究基金 (编号: sqj2012006)。

作者简介: 吕 雅 (1989—), 女, 江苏大丰人, 硕士研究生, 主要从事景观生态学研究。E-mail: 769844623@qq.com。

通信作者: 王让会, 教授, 主要从事生态学与地理学领域研究。E-mail: rhwang@nuist.edu.cn。

星 Landsat5 TM 数据, 来源于中国科学院遥感与数字地球研究所对地观测数据共享计划的数据集 (<http://ids.ceode.ac.cn/index.aspx>), 时间序列为 2010 年 3—11 月。以全国基础矢量数据为信息源, 数据格式为“.shp”, 数据坐标系统为 WGS-84。基础数据主要来源于《2004 中国能源统计年鉴》《2005 中国能源统计年鉴》《2011 中国能源统计年鉴》《2012 中国能源统计年鉴》《2011 江苏统计年鉴》。

### 1.2 分析方法

**1.2.1 景观分类方法** 利用 ENVI、ArcGIS 等软件对江苏省景观类型进行分类, 同时估算各景观类型在研究区域中所占的比例。本研究中的遥感影像分类采用的是国家一级类型分类标准, 将景观类型划分为耕地景观、林地景观、草地景观、水域景观、人工建筑景观和其他景观 6 大类<sup>[8]</sup>。

**1.2.2 生态承载力计算方法** 生态承载力是指生态系统的自我维持与自我调节能力, 以及资源与环境的共容能力。其计算公式如下:

$$EC = N \cdot ec = N \cdot \sum (a_i \cdot r_i \cdot y_i)。$$

式中:  $EC$  为生态承载力;  $N$  为人口数,  $ec$  为人均生态承载力;  $i$  为生物生产土地类型;  $a_i$  为  $i$  类实际生物生产土地面积, 即为江苏省景观分类结果;  $r_i$  为  $i$  类生物生产型土地的均衡因子;  $y_i$  为  $i$  类生物生产型土地的产量因子, 以便使结果可以进行区域间的比较<sup>[9]</sup>。最终生态承载力应该在均衡生态承载力的基础上, 根据联合国世界环境与发展委员会在《我们共同的未来》中建议扣除 12% 生物多样性保护面积<sup>[10]</sup>。

**1.2.3 生态足迹计算方法** 江苏省 2010 年的生态足迹计算主要由生物资源的消费和能源的消费两部分组成。生物资源消费主要包括农产品、动物产品、林产品、水果和木材等, 能源的消费根据主要包括煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和电力。生物生产面积根据联合国粮农组织计算的有关生物资源的世界平均产量资料折算为消费所需的生物生产面积, 化石燃料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, 将江苏省能源消费的热量折算成一定的化石燃料土地面积。计算公式如下<sup>[11]</sup>:

$$EF = N \cdot ef = N \cdot \sum (aa_i) = N \cdot \sum (c_i/p_i)。$$

式中:  $EF$  为总的生态足迹;  $N$  为人口数,  $ef$  为人均生态足迹;  $i$  为消费项目和投入类型,  $aa_i$  为  $i$  种消费项目的生物生产土地面积;  $c_i$  为  $i$  种消费项目的人均消费量,  $p_i$  为  $i$  种消费项目的年平均生产能力。

1.2.4 生态赤字/盈余计算方法 将计算的江苏省生态承载力和生态足迹进行比较, 如果计算的生态足迹需求小于区域所能提供的生态承载力, 就会出现生态盈余。如果大于区域所能提供的生态承载力, 则称为生态赤字。生态赤字说明该地区发展模式处于相对不可持续的状态<sup>[12]</sup>。

$$ED = EC - EF = N \cdot (ef - ec)。$$

式中:  $ED$  为生态赤字, 当  $ED > 0$  时, 生态盈余, 当  $ED < 0$  时, 生态赤字。另外,  $ec$  为人均生态赤字。

1.2.5 碳足迹计算方法 碳足迹源于生态足迹的概念, 最早出现于英国, 并在学界、非政府组织和新闻媒体的推动下迅速发展起来。碳足迹虽然起源于生态足迹的概念, 却有其特有的含义, 即考虑了全球变暖潜能的温室气体排放量的一种表征。我国学者在 Wiedmann 和 Minx 定义的基础上进一步修改, 即: 一项活动、一个产品 (或服务) 的整个生命周期、或者某一地理范围内直接和间接产生的  $CO_2$  排放量<sup>[13-14]</sup>。碳足迹的计算公式如下:

$$CF = C/Q; \tag{1}$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n CE_i V_i; \tag{2}$$

$$CE_i = C_i E_i。 \tag{3}$$

式中:  $CF$  为总“碳足迹”;  $C$  为基于能源消费的碳排放总量;  $Q$  为碳排放量与林地面积转换系数<sup>[15]</sup>, 为  $6.49 \text{ t/hm}^2$ 。  $CE_i$  为各种能源的标准煤消耗量;  $V_i$  是第  $i$  种能源的碳排放系数;  $C_i$  为各种能源实际的消耗量;  $E_i$  是各类能源折算成标准煤的系数,  $i$  为  $CO_2$  的产生类型。

1.2.6 能源消费碳足迹产值计算方法 能源消费碳足迹产值, 即为 VCF, 是指人均 GDP 与人均碳足迹之间的比值, 表示单位能源消费的碳足迹所产生的经济价值, 可量化处理某一区域经济与能源、生态环境发展。当 VCF 较高时, 表示该地区经济发展良好, 单位能源消费的碳足迹所创造的经济价

值较高<sup>[16]</sup>。

2 江苏省生态足迹特征分析

2.1 江苏省 2010 年实际生物生产土地面积计算

通过对研究区的 Landsat5 TM 遥感影像进行影像信息提取, 最终输出 2010 年研究区的景观类型分布结果见图 1。

分类结果, 江苏省耕地景观总面积约为  $470.90 \text{ 万 hm}^2$ , 人均面积约占  $0.060 \text{ hm}^2$ ; 林地景观总面积约为  $144.63 \text{ 万 hm}^2$ , 人均面积约占  $0.018 \text{ hm}^2$ ; 草地景观总面积约为  $20.49 \text{ 万 hm}^2$ , 人均面积约占  $0.003 \text{ hm}^2$ ; 水域景观总面积约为  $164.90 \text{ 万 hm}^2$ , 人均面积约占  $0.021 \text{ hm}^2$ ; 人工建筑景观总面积约为  $195.55 \text{ 万 hm}^2$ , 人均面积约占  $0.025 \text{ hm}^2$ ; 其他景观总面积约为  $29.53 \text{ 万 hm}^2$ , 人均面积约占  $0.004 \text{ hm}^2$ 。其中草地景观、其他景观 (如未开发利用区域、沿海滩涂、山体裸露岩石等) 占总面积比较少, 分别为  $2.00\%$  和  $2.88\%$ 。

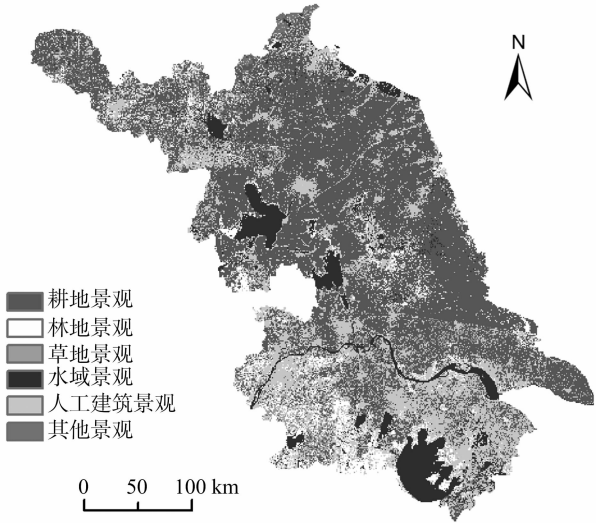


图1 基于TM数据的江苏省2010年遥感影像景观类型分布

2.2 江苏省 2010 年生态足迹与生态承载力

江苏省 2010 年生态足迹与可利用的生态承载力计算结果见表 1。

表 1 江苏省 2010 年生态足迹与生态承载力

人均生态足迹				人均生态承载力			
生物生产土地类型	人均面积 (hm <sup>2</sup> )	均衡因子	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)	生物生产土地类型	人均面积 (hm <sup>2</sup> )	产量因子	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)
耕地	0.198	2.82	0.558 4	耕地	0.060	1.66	0.280 9
林地	0.010	1.14	0.011 4	林地	0.018	0.91	0.018 7
草地	0.001	0.54	0.000 5	草地	0.003	0.19	0.000 3
水域	0.002	0.22	0.000 4	水域	0.021	1.00	0.004 6
建筑用地	0.018	2.82	0.050 8	建筑用地	0.025	1.66	0.117 0
化石燃料用地	1.591	1.14	1.813 7	CO <sub>2</sub> 吸收	0	0	0
总需求足迹			2.435 2	总供给面积			0.421 5
				扣除生物多样性保护 (12%)			0.050 6
				人均生态赤字			2.064 3

注:因江苏省目前没有留出专门用于吸收能源消费过程中排放的  $CO_2$ , 所以化石燃料用地的生态承载力为 0。

从表 1 可以看出, 江苏省 2010 年人均生态足迹为  $2.435 2 \text{ hm}^2$ , 江苏省 2010 年人均生态承载力为  $0.421 5 \text{ hm}^2$ , 减去 12% 的生物多样性保护面积  $0.050 6 \text{ hm}^2$ , 则可利用的人均生态承载力为  $0.370 9 \text{ hm}^2$ 。表明 2010 年江苏省人均生态足迹约为可利用的人均生态承载力的 6.57 倍, 江苏省 2010 年人均生态足迹赤字为  $2.064 3 \text{ hm}^2$ 。

从供需结构分析,江苏省土地供给以耕地为主,但是从消费结构来看以化石燃料用地为主。耕地对生态承载力的贡献率最大,为 66.64%,对生态承载力的贡献率依次为建筑用地、林地、水域、草地,化石燃料用地的贡献率最小,贡献率为 0%。而化石燃料用地对人均生态足迹的贡献率最大,为 74.48%,耕地对人均生态足迹的贡献率为 22.93%,建筑用地和林地对人均生态足迹的贡献率分别为 2.09% 和 0.47%,草地和水域对于江苏省人均生态足迹的贡献率比较低,都约为 0.02%。

2010 年江苏省人类的生产活动已经超出了自然生态系统的供给能力,生态赤字反映了江苏省人口对自然资源的过度利用状况。在 6 类生物生产土地类型中,江苏省的耕地、草地和化石燃料用地为生态赤字,其中化石燃料用地和耕地生态赤字较大,分别为 1.813 7、0.277 5  $\text{hm}^2/\text{人}$ (表 2)。

表 2 江苏省 2010 年不同生物生产土地的生态足迹、

生态承载力和生态赤字  $\text{hm}^2/\text{人}$

生物生产 类型	生态承载力均衡 面积	生态足迹均衡 面积	生态赤字/盈余
耕地	0.280 9	0.558 4	-0.277 5
林地	0.018 7	0.011 4	0.007 3
草地	0.000 3	0.000 5	-0.000 2
水域	0.004 6	0.000 4	0.004 2
建筑用地	0.117 0	0.050 8	0.066 2
化石燃料用地	0	1.813 7	-1.813 7

林地、水域和建筑用地为生态盈余。因江苏省目前没有留出专门用于吸收能源消费过程中排放的  $\text{CO}_2$ , 所以化石燃料用地的生态承载力为 0, 江苏省化石燃料用地的生态赤字即为化石燃料用地的生态足迹, 本研究中生态赤字的绝对值为 6 类生物生产土地类型中最大, 为 1.813 7  $\text{hm}^2/\text{人}$ (图 2)。

结果表明, 江苏省能源足迹所占的比例很大, 是江苏省生态足迹的主要足迹组分。其中, 能源消费以化石燃料为主, 而化石燃料又以煤为主。生物资源的消费主要以农产品为主。上述情况的出现主要是由于随着人们食物消费结构的改变, 高能量和高营养食物的消费量大幅增加所致。因此, 能源资

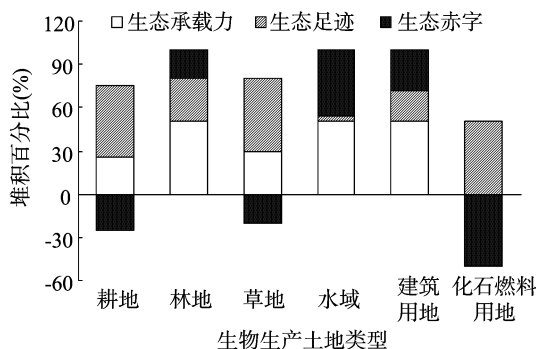


图2 江苏省2010年不同生物生产土地的生态承载力、生产足迹和生态赤字

源的高消费、过重的粮食生产是造成江苏省生态赤字的主要原因。同时, 近年来大面积城市化也是造成江苏省生态赤字不可忽略的主要原因之一。江苏省的自然生态系统承载力已经不足以维持本省区域内人们的经济社会活动, 它需要通过贸易从外部输入资源和能源, 用来弥补生态赤字。江苏省可持续发展能力有待提高。

### 3 江苏省 2000—2010 年能源碳足迹特征分析

#### 3.1 江苏省 2000—2010 年能源碳足迹

根据对江苏省 2010 年生态足迹的计算分析, 江苏省化石能源足迹所占比例很大, 是江苏省生态足迹的主要足迹组分。根据来自《中国能源统计年鉴》的数据, 本研究又对江苏 2000—2010 年能源碳足迹进行了计算与分析(图 3), 进一步揭示江苏省能源消费的结构。

从图 3 可以看出, 江苏省能源碳足迹从 2000 年的 1 183.59 万  $\text{hm}^2$  到 2010 年的 3 430.32 万  $\text{hm}^2$ , 碳足迹大幅上涨。煤炭、焦炭、原油、汽油、电力的碳足迹基本呈每年增长趋势, 煤炭的年增长率达到 10.20%。天然气从 2000—2004 年缓慢增加, 2005 年开始大幅上涨, 主要是由于国家实施的“西气东输”计划。原油在 2008 年有小幅下降, 而后继续呈增长势头。煤油、燃料油的碳足迹却有明显的波动式下降趋势。

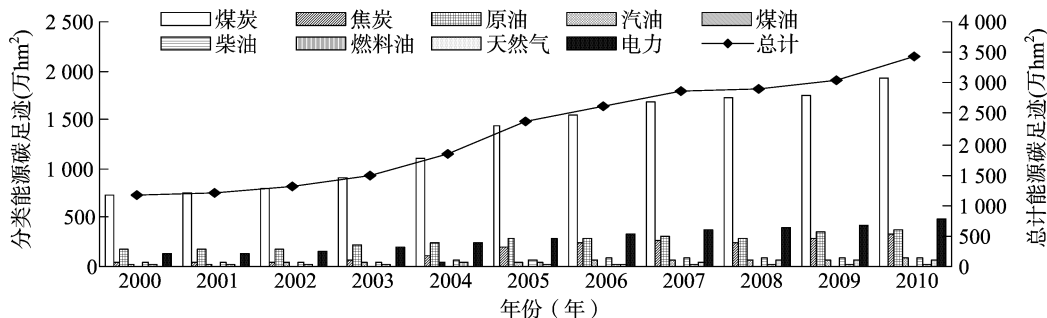


图3 江苏省2000—2010年能源碳足迹的比较

#### 3.2 江苏省 2000—2010 年能源消费碳足迹产值

从图 4 看出, 2000—2003 年江苏省年能源消费碳足迹产值呈现平稳增长趋势, 增长速度为 2.95%, 表明这 4 年江苏经济发展良好, 2003 年的年 VCF 为 8.75 万元/ $\text{hm}^2$ , 经济发展有待提高; 2004—2005 年, VCF 呈现下降趋势, 因为这个阶段江苏人均 GDP 增长速度低于人均碳足迹的增长速度, 年 VCF

下降率为 4.56%; 2006—2008 年 VCF 呈现高增长率, 从 2006 年的 8.55 万元/ $\text{hm}^2$  到 2008 年的 10.80 万元/ $\text{hm}^2$ , 增长速度为 12.4%, 说明江苏这 3 年的经济发展势头迅猛, 发展态势良好, 能源利用效率有较大的提高; 2009—2010 年 VCF 随着时间序列仍然呈现增长趋势, 至 2010 年江苏省 VCF 达到 12.12 万元/ $\text{hm}^2$ , 增长速度为 6.26%, 说明江苏省人均 GDP

增长速度比人均碳足迹的增长速度快很多,单位能源的碳足迹产生的经济价值一直在提高。

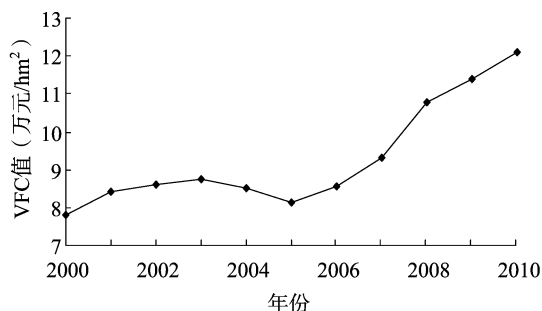


图4 江苏省2000—2010年能源消费碳足迹产值

从这 11 年可以看出,江苏省的碳排放逐年增长,江苏省的能源消耗碳足迹整体呈现持续增长趋势。江苏省经济发展保持良好的势头,能源利用率不断提高,实现了江苏经济的快速发展以及能源的和谐高效发展。但持续增长的碳排放,说明了经济发展方式和结构存在的问题,生态文明发展也是政府迫切要求的,所以节能减排迫在眉睫,采用新能源,降低碳足迹量,对于促进江苏省环境状况改善具有重大意义,提高居民生活水平的同时改善生活环境,提高生活质量。

#### 4 结论

本研究通过对遥感数据、能源数据、经济数据等多元数据的利用,以景观分类为基础,对江苏省 2010 年的生态足迹和生态承载力进行计算,并进行特征分析。进一步对江苏省 2000—2010 年的能源碳足迹进行了深入探讨。主要得到以下结论:(1)江苏省 2010 年人均生态足迹为  $2.435\ 2\ \text{hm}^2$ ,江苏省 2010 年人均生态承载力为  $0.421\ 5\ \text{hm}^2$ ,可利用的人均生态承载力为  $0.370\ 9\ \text{hm}^2$ 。2010 年江苏省人均生态足迹约为可利用的人均生态承载力的 6.57 倍,江苏省 2010 年人均生态足迹赤字为  $2.064\ 3\ \text{hm}^2$ 。(2)2010 年江苏省人类生产活动已经超出了自然生态系统的供给能力。在 6 类生物生产土地类型中,江苏省的耕地、草地和化石燃料用地为生态赤字,其中化石燃料用地和耕地生态赤字较大,分别为  $1.813\ 7$ 、 $0.277\ 5\ \text{hm}^2/\text{人}$ 。(3)江苏省能源碳足迹从 2000 年的  $1\ 183.59\ \text{万}\ \text{hm}^2$  到 2010 年的  $3\ 430.32\ \text{万}\ \text{hm}^2$ ,碳足迹大幅上涨。煤炭、焦炭、原油、汽油、电力的碳足迹基本呈每年增长趋势,煤炭的年增长率达到 10.20%,煤油、燃料油的碳足迹却有明显的波动式下降趋势。(4)江苏省 2000—2010 年能源消费碳足迹产值总体呈现增长趋势。2000—2003 年江苏省年能源消费碳足迹产值呈现平稳增长趋势,2004—2005 年 VCF 呈现下降趋势,2006—2008 年 VCF 又呈现高增长率,2009—2010 年 VCF 随着时间序列仍然呈现增长趋势,至 2010 年全省 VCF 达到  $12.12\ \text{万元}/\text{hm}^2$ ,增长速度为 6.26%,说明江苏省人均 GDP 增长速度比人均碳足迹的增长速度快

很多,单位能源的碳足迹产生的经济价值一直在提高。持续增长的碳排放,说明经济发展方式和结构存在的问题。

江苏省目前处于生态赤字状态,可持续发展能力有待提高。要实现江苏的两型社会,实现江苏的生态文明发展,应该设法提高江苏省的生态承载力、降低生态足迹需求。只有减轻生态压力,才能加快江苏省的生态文明建设步伐,实现江苏省可持续发展的目标。

#### 参考文献:

- [1] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121–130.
- [2] Rees W, Wackernagel M. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable – and why they are a key to sustainability[J]. Environmental Impact Assessment Review, 1996, 16 (4/5/6): 223–248.
- [3] 张可云,傅帅雄,张文彬. 基于改进生态足迹模型的中国 31 个省区区域生态承载力实证研究[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1084–1088.
- [4] 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.
- [5] 翁伯琦,王义祥,黄毅斌,等. 福建省生态足迹和生态承载力的动态变化[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2153–2157.
- [6] 杨莉,赵言文. 江苏省农村居民消费的环境压力评估与分析[J]. 江苏农业科学, 2010(6): 599–601.
- [7] 徐洪文,崔延松,卢妍. 淮安市水资源生态足迹分析[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(5): 480–481.
- [8] 蒋卫国,谢志仁,王文杰,等. 基于 3S 技术的安徽省景观生态分类系统研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 236–240.
- [9] 岳立,于翠,高新才. 基于区域的城市生态承载力评价与分析——以张掖市及张掖市甘州区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(4): 28–32.
- [10] 顾晓薇,王青,刘建兴,等. 辽宁省自然资源可持续利用的生态足迹分析[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 118–124.
- [11] 元相虎,李华,陈彬. 基于生态足迹模型中国可持续发展动态分析[J]. 中国人口资源与环境, 2005, 15(3): 38–42.
- [12] 李飞,宋玉祥,刘文新,等. 生态足迹与生态承载力动态变化研究——以辽宁省为例[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 718–723.
- [13] Wiedmann T, Minx J. A definition of ‘carbon footprint’[R]. ISA Research Report 07–01, 2007: 1–9.
- [14] 董会娟,耿涌. 基于投入产出分析的北京市居民消费碳足迹研究[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 494–501.
- [15] 赵荣钦,黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. 地理研究, 2010, 29(9): 1639–1649.
- [16] 李智,鞠美庭,刘伟,等. 中国 1996 年—2005 年能源生态足迹与效率动态测度与分析[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 54–60.