

1998~2013年长江三角洲能源消费碳足迹时空变化

张民侠¹, 乌日汗², 郑怀兵¹ (1. 南京森林警察学院, 江苏南京 210023; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏南京 210008)

摘要 [目的]研究近15年来长江三角洲能源消费碳足迹的时空变化。[方法]计算了1998~2013年长江三角洲地区化石能源消费碳足迹和碳足迹产值,并利用GIS技术研究了该地区16城市碳足迹的时空变化。[结果]长江三角洲能源碳足迹呈持续增长趋势,从1998年的0.19 hm²/人上升至2013年的0.54 hm²/人,年均增长速度为7.09%;长江三角洲碳足迹的空间格局分布呈中部高、南北部低的特征,高值主要分布在沪宁沿线城市;各市碳足迹总体呈增长趋势,但各市之间的差异较大。[结论]该研究为实现我国低碳发展提供了科学依据。

关键词 能源消费;碳足迹;时空变化;长江三角洲

中图分类号 S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)26-0062-04

Spatial and Temporal Change of Carbon Footprint of Energy Consumption in the Yangtze River Delta during 1998-2013

ZHANG Min-xia¹, WU Ri-han², ZHENG Huai-bing¹ (1. Nanjing Forest Police College, Nanjing, Jiangsu 210023; 2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008)

Abstract [Objective] To study spatial and temporal change of carbon footprint of energy consumption in the Yangtze River Delta during 1998-2013. [Method] The carbon footprint and its output value of fossil energy consumption in the Yangtze River Delta were calculated from 1998 to 2013. Based on GIS technology, the temporal and spatial variation of carbon footprint in 16 cities in the region were also investigated. [Result] Carbon footprint of energy consumption in the Yangtze River Delta showed an upward trend, increasing from 0.19 hm²/person in 1998 to 0.54 hm²/person in 2013, with an average annual growth rate of 7.09%. Seen from the spatial distribution, the carbon footprint in the Yangtze River Delta was high in the center but low in the north and south. The high values were distributed mainly along Shanghai-Nanjing. On the whole, the carbon footprint in each city showed an increasing trend, but there were great differences between the 16 cities. [Conclusion] The research can provide scientific references for the realization of low-carbon development in China.

Key words Energy consumption; Carbon footprint; Spatial and temporal change; Yangtze River Delta

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernment Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告^[1]指出,自20世纪中叶至今观测到的全球变暖现象,90%以上是由于人类活动排放温室气体形成的温室效应造成。由于工业革命以后大量化石能源的使用,人类生产、生活导致的温室气体排放约占全球温室气体排放总量的90%以上。因此,人类活动中化石能源的使用是温室气体排放的最主要来源,是全球变暖的重要驱动力。全球气候变暖已成为世界各领域的研究热点,加强对碳排放的研究,尤其对化石能源碳排放的深入研究,对于了解碳排放的渠道来源及其循环过程、机理,提出有效的节能减排措施及制订区域差别化的碳排放政策具有重要的理论和实践意义。

碳足迹是目前国内外普遍认可的用于应对气候变化、解决定量评价碳排放强度的研究方法之一^[2-3]。目前关于碳足迹的研究成果颇多,但国内碳足迹研究仍处于起步阶段。Chuai等^[4]对我国东北、华北、华东、华中和华南、西南、西北六大区域的碳足迹时空变化进行了研究。吴文佳等^[5]研究了2001~2009年我国碳排放与碳足迹时空格局。赵先贵等^[6]对1999~2010年山西省的碳足迹进行了动态分析和碳排放等级评估。周国富等^[7]对京津冀地区能源消耗的碳足迹及其影响因素进行了分析。然而,关于碳足迹较高的华东地区及其内部碳足迹的空间差异研究鲜见报道。笔者选取长江三角洲地区为研究区域,研究1998~2013年的能源碳

足迹时空变化,以期为区域低碳经济路径选择提供参考与科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 长江三角洲位于我国东部沿海开放带和沿江产业密集带的交汇部,地跨2省1市,包括上海市、江苏省的南京、苏州、常州、无锡、镇江、扬州、泰州和南通8市以及浙江省的杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、舟山和台州7市,共16个城市。区域面积11.25 km²,总人口8 601.50万(2013年户籍人口),地区生产总值占全国的17.19%(2013年),是我国改革开放以来发展最快的地区之一。

1.2 能源消费碳足迹 该研究的能源主要是煤炭、石油和天然气等传统能源,其中煤炭包括原煤和焦炭,石油包括原油、汽油、煤油、柴油和燃料油,原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油的折算标准煤的参考系数分别为0.714 3、0.971 4、1.428 6、1.471 4、1.471 4、1.457 1、1.428 6 kg标准煤/kg,天然气为1.33 kg标准煤/m³。能源消费碳排放量根据IPCC方法中最常用的方法获得:

$$C = E \times F$$

式中, C 为碳排放量; E 为某能源消费量; F 为该能源碳排放系数。由于生产工艺、地域分布和技术水平等差异,各国的排放系数往往不同^[8]。碳排放系数参考了文献^[9],即煤炭、石油、天然气的碳排放系数分别为0.717 2、0.557 2、0.420 2 t碳/t标准煤。该研究的碳足迹源于生态足迹的概念,是指用林地面积度量的经济规模主体的资源消费和吸收水平。因此,该研究能源消费碳足迹是“人均”概念,单位为hm²/人,具体公式如下^[10]:

$$C_f = \sum_{i=1}^3 C_{fi} = \sum_{i=1}^3 \frac{C_i}{P \times F_{cl}}$$

基金项目 江苏省林业三新工程项目(LYSX[2016]52)。

作者简介 张民侠(1970-),女,陕西白水人,副教授,博士,从事森林资源管理与可持续经营研究。

收稿日期 2016-07-11

式中, i 为煤炭、石油、天然气3种能源; C_f 为能源消费的总碳足迹; C_{fi} 为*i*能源消费的碳足迹; C_i 为*i*能源消费的碳排放量; P 为人口数量; F_{cl} 为碳排放量与林地面积转换系数的比值,取世界自然基金会(WWF)提供的转换系数 6.49 t/hm^2 。

碳足迹产值(Value of Carbon Footprint, VCF)定义为人均GDP与人均碳足迹比值,反映某一国家或区域的能源消费集约化程度与经济效益。当VCF较高时,表示单位能源消费碳足迹创造的经济价值较高。

笔者利用ArcGIS 10.3软件分析了1998、2005和2013年长江三角洲各市的能源消费碳足迹空间变化。

1.3 数据来源 能源消费实物量、人口和经济数据来源于相关年份长江三角洲16城市统计年鉴、《长江和珠江三角洲及港澳特别行政区统计年鉴》及《中国能源统计年鉴》。

2 结果与分析

2.1 能源消费变化 随着长江三角洲地区经济的快速发展,对能源资源的需求也在不断增加。根据长江三角洲16市统计年鉴,2013年长江三角洲化石能源消费总量为46 200万t标准煤,是1998年15 100万t标准煤的3.06倍(图1),其中2013年煤炭28 300万t标准煤,石油15 200万t标准煤,天然气2 700万t标准煤,分别是1998年的2.98、2.72和387.15倍。

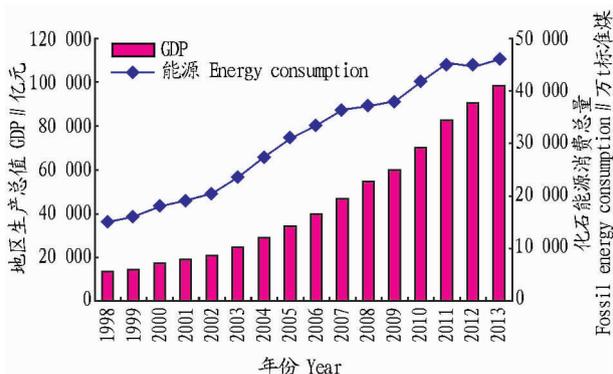


图1 1998~2013年长江三角洲化石能源消费总量与GDP增长
Fig.1 Fossil energy consumption and GDP growth in the Yangtze River Delta during 1998-2013

1998年长江三角洲煤炭、石油和天然气的比重分别为63.06%、36.89%和0.05%,2013年分别为61.32%、32.82%和5.87%。由此可知,该地区能源消费构成以煤炭为主,且能源消费结构有一定的改善,煤炭和石油的比重逐渐降低,而天然气的比重呈上升趋势。这说明清洁能源开始逐渐取代传统能源,能源消费品种向效率高、碳排放小的方向转变。

2.2 碳足迹变化 1998~2013年长江三角洲地区化石能源消费碳足迹由 $0.19 \text{ hm}^2/\text{人}$ 上升至 $0.54 \text{ hm}^2/\text{人}$,平均增长速度为7.09%。从图2a可以看出,长江三角洲地区总能源消费碳足迹呈增长趋势,2003~2010年增长速度较快,而2011~2013年增长速度放缓,这可能与国家加强节能减排,力求完成节能减排目标有关。1998~2013年煤炭消费的碳足迹逐年上升,与总能源碳足迹的变化趋势类似,从1998年的 $0.13 \text{ hm}^2/\text{人}$ 逐渐上升至2002年的 $0.17 \text{ hm}^2/\text{人}$,2003年开始加快增长,2007年碳足迹达 $0.30 \text{ hm}^2/\text{人}$,2008~2013年增长速度放缓。与1998年相比,2013年煤炭消费的碳足迹增加了 $0.23 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。1998~2013年石油消费的碳足迹总体呈上升趋势,但是上升幅度比煤炭消费的碳足迹小,在这期间,石油消费的碳足迹仅增加了 $0.09 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。同期天然气的碳足迹增长缓慢,直至2013年其碳足迹仅为 $0.02 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。

从图2b可以看出,长江三角洲地区化石能源消费碳足迹以煤炭为主,其所占比重65.00%以上,石油次之,天然气最小。煤炭消费碳足迹比重呈小幅下降趋势,从1998年的68.73%下降至2013年的67.94%。石油消费碳足迹所占比重总体呈下降趋势,由31.24%下降到28.25%,原因主要是天然气的推广使用。天然气自2002年开始大范围使用,且所占比重较小,至2013年仅占3.81%。

从图3可以看出,长江三角洲能源消费碳足迹产值总体呈稳步增加趋势,从1998年的 $8.64 \times 10^4 \text{ 元/hm}^2$ 增加到2013年的 $21.22 \times 10^4 \text{ 元/hm}^2$,年均增长率为6.17%。这说明近15年来,长江三角洲地区能源利用效率不断提高,单位土地面积产值加快,单位能源消费带来的经济价值也不断增加。但是相对这一时期人均GDP高达13.70%的年均增长速度,碳足迹产值的增长仍显得滞后,这也说明经济增长对煤炭和石油等化石能源的依赖作用较为突出。

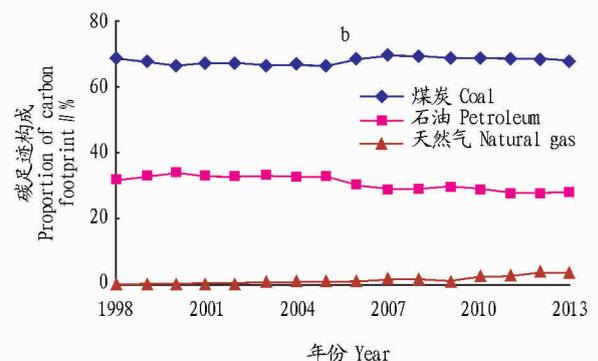
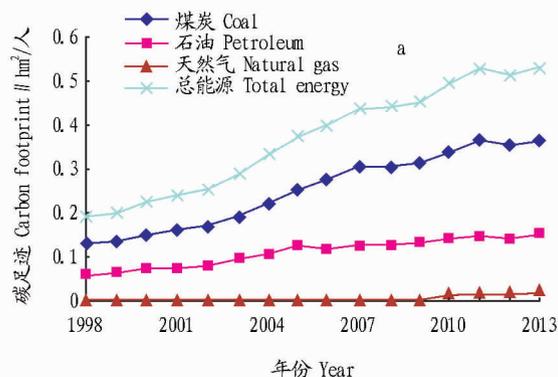


图2 1998~2013年长江三角洲能源消费碳足迹及其构成变化

Fig.2 Changes in carbon footprint of fossil energy consumption and its composition in the Yangtze River Delta during 1998-2013

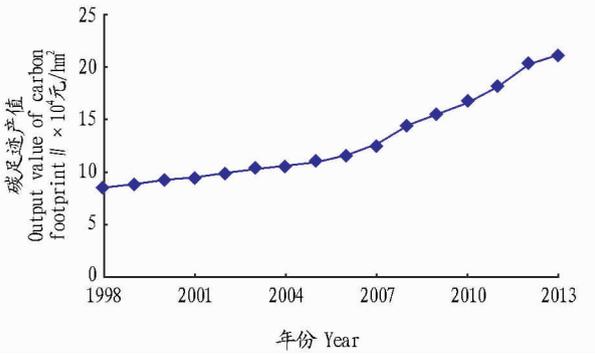


图3 1998~2013年长江三角洲能源消费碳足迹产值变化

Fig.3 Changes in output value of carbon footprint of energy consumption in the Yangtze River Delta during 1998 - 2013

2.3 能源消费空间变化 从图4可以看出,长江三角洲各市能源消费量以上海市最大,其次是宁波、南京、苏州、无锡,该5市的能源消费量之和占长江三角洲16城市总消费量的70%以上,其他11市的消费量之和约占30%。1998~2013年长江三角洲各市的能源消费量均呈上升趋势,且各市之间

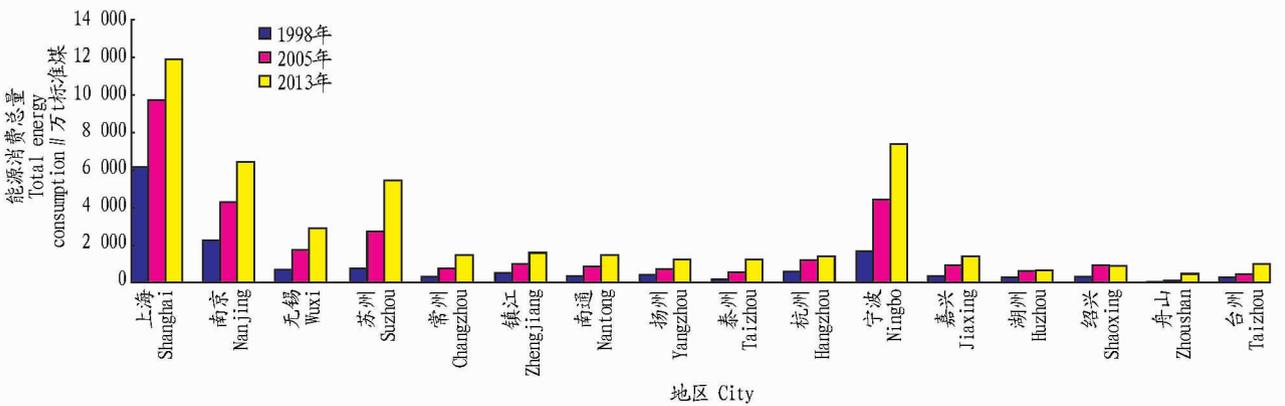


图4 1998、2005和2013年长江三角洲各市能源消费总量

Fig.4 Total energy consumption in cities in the Yangtze River Delta in 1998, 2005 and 2013

碳足迹最大,为0.47 hm²/人,其次是南京、宁波和镇江,分别为0.39、0.29和0.21 hm²/人,这几个城市的碳足迹均高出长江三角洲碳足迹0.19 hm²/人;2005和2013年宁波市碳足迹最大,分别为0.73和1.21 hm²/人,约为长江三角洲碳足迹的2.00倍,其次是南京、上海、苏州、无锡、镇江,2005和2013年宁波市的碳足迹均高出长江三角洲碳足迹0.38和0.54 hm²/人。由此看出,长江三角洲各市碳足迹的空间分布呈中部高、南北部低的格局特征,高值主要分布在沪宁沿线城市(图5)。

从长江三角洲各市碳足迹变化来看,1998~2005年各市碳足迹均呈增长趋势;2005~2013年,除了杭州、湖州和绍兴外,其他城市碳足迹均呈增长趋势。1998~2013年,各市碳足迹均呈增长趋势,其中宁波、苏州、南京和无锡增幅较大,分别增加了0.92、0.74、0.55和0.46 hm²/人;杭州、台州、绍兴、湖州等增幅相对较小,分别增加了0.08、0.12、0.13、0.13 hm²/人。因此,长江三角洲各市碳足迹总体呈增长趋势,但

的差距呈扩大趋势。其中,增幅最大的是上海,增长了5 653.27万 t 标准煤,增幅最小的是湖州,增长了338.70万 t 标准煤。2005~2013年湖州和绍兴的能源消费量呈下降趋势,主要是由于2市石油消费量显著下降,分别下降10.26万和39.56万 t 标准煤。

各市能源消费量的构成也有所不同。除了上海、南京、宁波和舟山以外,各市能源消费均以煤炭为主,煤炭消费量占能源总消费量的60.00%以上。上海、南京、宁波和舟山以石油为主,2013年占比分别达到52.65%、55.40%、53.55%和67.69%,主要由于石化产业是南京、宁波和舟山市的主导产业,而上海由于优化能源消费结构使煤炭消费比重下降所致,其煤炭消费比重由1998年的59.25%下降至2013年的39.13%。从各市能源消费量构成变化来看,1998~2013年绝大部分城市煤炭消费比重减少,石油消费比重也下降,天然气比重均明显增加。这说明长江三角洲各市能源消费结构有所改善,但是能源结构以煤炭为主的格局在短期内难以得到根本性改变。

2.4 碳足迹空间变化 从各市碳足迹来看,1998年上海市

各市之间差异较大。

3 讨论

长江三角洲地区快速的工业化进程对能源和矿产资源产生了巨大需求。长江三角洲地区能源、矿产资源贫乏,只有江苏、浙江有少量的煤矿资源,尤其是20世纪90年代以来经济的高速发展及重工业化过程,加剧了对能源和矿产资源的消耗,也加深了该地区对外能源和矿产资源的依赖程度。因此,要缓解长江三角洲能源对外依赖度,减少区域碳排放,须转变增长方式。首先,优化能源消费结构,增加高科技、低污染产业的持续增长,逐步淘汰高能耗、高排放的产业,尽可能减少煤、石油等高碳能源的依赖和温室气体排放;其次,节约能源,提高能源利用率,走高效、节能、环保的发展模式;第三,加强对土地资源的管理,提高土地节约集约利用水平,控制建设用地扩张,严格保护碳汇用地,提高生态用地的固碳能力。

目前对于碳足迹的概念和计算边界缺乏统一的定义,研

究结果可比性较差,在今后研究中有待进一步探索。笔者在计算能源消费碳排放时,因数据限制,仅考虑了化石能源消

费带来的碳排放,未计算农村生物质能燃烧带来的碳排放,这需要在今后的研究中进一步深入探讨和完善。

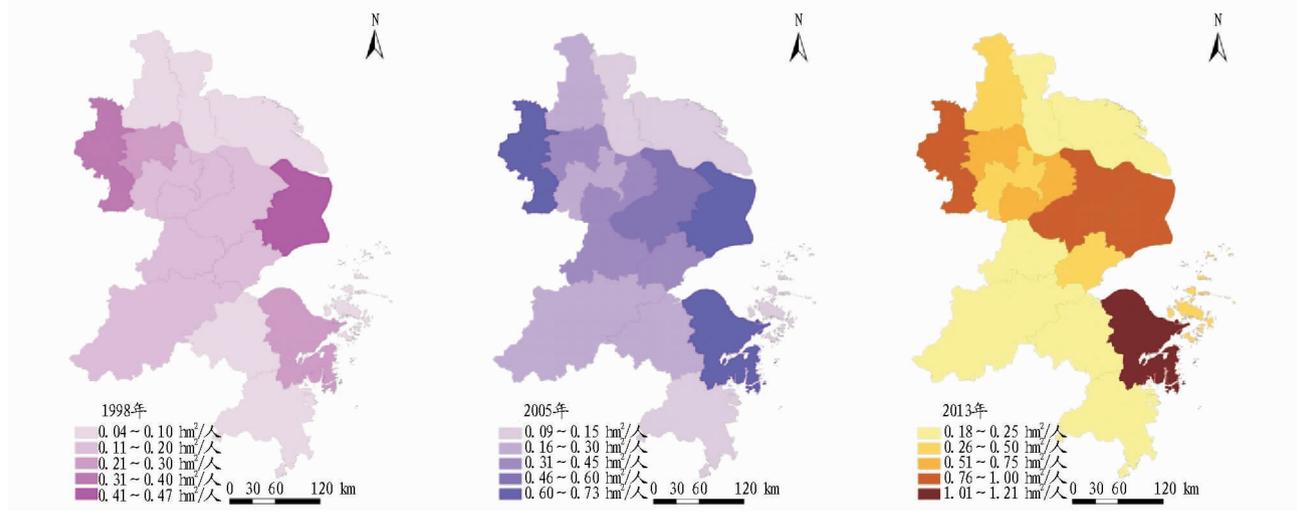


图 5 1998、2005 和 2013 年长江三角洲各市碳足迹空间差异

Fig. 5 Spatial differences of carbon footprint in various cites in the Yangtze River Delta in 1998, 2005 and 2013

4 结论

该研究以经济快速发展的长江三角洲地区为例,利用 1998~2013 年长江三角洲 16 市能源消费及其社会经济统计数据,分析了能源消费碳足迹的时空变化,得出以下结论:

(1) 长江三角洲地区能源消费碳足迹由 1998 年的 $0.19 \text{ hm}^2/\text{人}$ 上升至 2013 年的 $0.54 \text{ hm}^2/\text{人}$, 年均增长速度为 7.09%。能源消费碳足迹以煤炭为主,且处于绝对主导地位;石油所占比例呈下降趋势;天然气自 2002 年推广使用以来比重有所增加,但煤炭的基础能源地位在未来一段时期内仍将保持。

(2) 1998~2013 年长江三角洲能源消费碳足迹产值由 $8.64 \times 10^4 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 增加至 $21.22 \times 10^4 \text{ 元}/\text{hm}^2$, 年均增长率为 6.17%, 与这一时期人均 GDP 年均增长 13.70% 的速度相比显得较为滞后,将来摆脱过于依赖煤炭和石油等化石能源的困境有助于促进碳足迹产值的大幅提升。

(3) 长江三角洲碳足迹的空间分布呈中部高、南北部低的格局特征,高值主要分布在沪宁沿线城市,包括宁波、南京、上海、苏州、无锡和镇江等市,台州、杭州、绍兴、湖州和苏中城市相对较低。各市碳足迹总体呈增长趋势,但各市之间

的差异较大。

参考文献

- [1] IPCC. Summary for policymakers of climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [2] WACKERNAGEL M, REES W. Our ecological footprint reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996.
- [3] 焦文献, 陈兴鹏, 贾卓. 甘肃省能源消费碳足迹变化及影响因素分析 [J]. 资源科学, 2012, 34(3): 559-565.
- [4] CHUAI X W, LAI L, HUANG X J, et al. Temporospatial changes of carbon footprint based on energy consumption in China [J]. Journal of geographical sciences, 2012, 22(1): 110-124.
- [5] 吴文佳, 蒋金亮, 高全洲, 等. 2001-2009 年中国碳排放与碳足迹时空格局 [J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6722-6733.
- [6] 赵先贵, 肖玲, 马彩虹, 等. 山西省碳足迹动态分析及碳排放等级评估 [J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(9): 21-26.
- [7] 周国富, 宫丽丽. 京津冀能源消耗的碳足迹及其影响因素分析 [J]. 经济问题, 2014(8): 27-31.
- [8] 耿涌, 董会娟, 郝凤明, 等. 应对气候变化的碳足迹研究综述 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(10): 6-12.
- [9] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析 [J]. 地理学报, 2010, 65(9): 1048-1057.
- [10] 曹淑艳, 谢高地. 中国产业部门碳足迹追踪分析 [J]. 资源科学, 2010, 32(11): 2046-2052.

本刊提示 参考文献只列主要的、公开发表的文献,序号按文中出现先后编排。著录格式(含标点)如下:(1)期刊——作者(不超过3人者全部写出,超过者只写前3位,后加“等”)。文章题名[J]。期刊名,年份,卷(期):起止页码。(2)图书——编著者.书名[M]。版次(第一版不写)。出版地:出版者,出版年:起止页码。(3)论文集——析出文献作者.题名[C]//。主编.论文集名.出版地:出版者,出版年:起止页码。