

基于改进参数的长三角城市生态足迹分析及其可持续性评价

闻熠¹, 高峻², 徐迪², 林章林³

(1.九江学院 江西长江经济带研究院, 江西 九江 332005; 2.上海师范大学
城市发展研究院, 上海 200234; 3.复旦大学 工商管理博士后流动站, 上海 200433)

摘要:首先基于“国家公顷”对生态足迹模型参数进行本土化探索,测算了长三角城市群 4 个城市(上海、杭州、南京、合肥)2006—2016 年的人均生态足迹及人均生态承载力等参数,并融合多种指数对研究区的可持续状况进行了评价与分析。结果显示:2006—2016 年这 4 个城市人均生态足迹和生态压力指数均呈现上升趋势,表明人类活动对自然生态系统压力在增大;单位万元 GDP 生态足迹在下降,说明对资源的利用效率在提高;4 个城市的生态可持续指数均在 0.2 以下,属于强不可持续状态。通过研究可知近些年来这 4 个城市人类活动对资源存在过度消耗行为,生态系统正承受着巨大的压力,区域的可持续发展状况不乐观,需要采取相关措施,使之朝着可持续方向发展。

关键词:国家公顷;生态足迹;可持续发展;长三角城市群

中图分类号:X24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)01-0312-07

Analysis on Ecological Footprint and Evaluation of Sustainability of Typical Cities in Yangtze River Delta Based on Improved Parameters

WEN Yi¹, GAO Jun², XU Di², LIN Zhanglin³

(1.Jiangxi Yangtze River Economic Zone Research Institute, Jiujiang University, Jiujiang, Jiangxi 332005, China; 2.Institute of Urban Studies, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 3.Postdoctoral Station of Business Administration, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Firstly, the parameters of ecological footprint model were explored locally based on ‘national hectare’, and the per capita ecological footprint and per capita ecological carrying capacity of four cities in the Yangtze River Delta urban agglomeration (Shanghai, Hangzhou, Nanjing, Hefei) from 2006 to 2016 were calculated. Then, the sustainable situation of the study area was evaluated and analyzed by some indexes. The results show that the ecological footprint per capita and the ecological pressure index of the four cities presented the rising trend from 2006 to 2016, indicating that the pressure of human activities on natural ecosystems was increasing; the ecological footprint per 10 000 yuan GDP was decreasing, indicating that the utilization efficiency of resources was improving; the ecological sustainability index of the four cities was below 0.2, which belonged to a strong unsustainable state. Through the research, we can see that in recent years, human activities in these four cities have excessive consumption of resources. Ecosystem is under tremendous pressure. The sustainable development of the region is not optimistic, and relevant measures need to be taken to make it develop in a sustainable direction.

Keywords: national hectare; ecological footprint; sustainable development; Yangtze River Delta Urban Agglomeration

从 1987 年挪威首相布伦特莱夫人在《我们共同的未来》报告中首次提出“可持续发展”概念,到 2015

年联合国大会上提出的可持续发展目标(Sustainable Development Goals,SDGs),可持续发展始终是人类

收稿日期:2019-03-27

修回日期:2019-04-08

资助项目:国家自然科学基金重点项目“遥感产品和网络大数据支持下的中国城市群可持续性评价”(41601459)

第一作者:闻熠(1988—),男,湖北黄冈人,博士研究生,研究方向为城市生态足迹及可持续性评价。E-mail:hblzsh11@163.com

通信作者:林章林(1978—),男,湖北武汉人,博士,主要研究方向为旅游地理,旅游法律法规。E-mail:zllin2011@163.com

的追求目标。在该理念提出后,国内外学者积极投身这一领域的分析和探索上来,这其中最为经典的模型为加拿大生态经济学家 William Rees 及其博士生 Wackernagel 提出的生态足迹模型^[1-4]。生态足迹模型于 1999 年引入我国后^[5-9],被广泛应用于国家^[10-14]、省域^[15-23]、城市群^[24-27]、市域^[28-33]等不同空间尺度的可持续发展研究中。但是在一些研究中,生态足迹模型中两个重要参数:均衡因子和产量因子,往往均采用的是全球平均值,而中国国土幅员辽阔,生物多样性复杂,如果计算模型采用全球平均值,则会忽略区域自然环境的时空差异,从而在一定程度上影响了研究结果的科学性和可比性^[34-35]。因此有必要对模型参数进行修正,使得核算方法更加本土化,从而使研究结果能更好地体现研究区的实际情况。

长三角城市群地区在国家现代化建设大局和全方位开放格局具有举足轻重的地位,但另一方面人类活动对自然资本的需求日益增加,生态系统正承受着巨大的压力,区域的可持续性和生态安全面临着严重的挑战^[36]。本文从“国家公顷”的角度出发,首先对生态足迹模型参数进行本土化探索,然后对 2006—2016 年长三角城市群 4 个城市(上海、南京、杭州、合肥)生态足迹和生态承载力进行测算,并基于相关参数对研究区的可持续发展状况进行评价与分析,旨在为研究区及相类似地方的可持续发展对策提供科学依据和理论参考。

1 研究方法

“国家公顷”的概念是相对全球尺度提出来的,是指国家土地平均生产力的标准面积,为在国家生产力水平上衡量省际土地供需量提供了方法^[37]。在测算某区域生态足迹时,往往将人类对自然资源的消耗转化为 6 种生态生产性面积,即耕地、林地、草地、水域、化石燃料和建筑用地 6 大类型。由于不同类型土地的平均生产力相差很大,并且不同区域同类型的土地生产力也有差异,因此以上 6 种土地类型的生态足迹不能直接相加,需要通过乘以各自的均衡因子和产量因子转化成可以直接比较的标准面积。在“国家公顷”模型中,均衡因子是指国内某类生物生产性土地的平均生产力与全国所有生物生产性土地的平均生产力的比值,产量因子为研究区某类生物生产性土地的平均生产力与中国同类土地的平均生产力的比值。

1.1 基于“国家公顷”的本土化模型参数计算

(1) 均衡因子计算。本文借鉴何爱红的研究方法^[38],来计算均衡因子计算中。该方法中,把各类生物产品产量转化为统一的热值形式进行计算,具体计算如公式 1 所示:

$$EQF_j = \frac{\overline{P_i}}{P} = \frac{Q_j}{S_i} / \frac{\sum Q_i}{\sum S_i} = \frac{\sum_k P_k^i \cdot \gamma_k^i}{S_i} / \frac{\sum_i \sum_k P_k^i \cdot \gamma_k^i}{\sum S_i} \quad (1)$$

式中:EQF_j 指全国第 j 类土地的均衡因子; $\overline{P_i}$ 指全国第 j 类土地的平均生产力(kJ/hm²); \overline{P} 指全国全部土地的平均生产力(kJ/hm²);Q_j 为全国第 j 类土地的总生物量(kJ);S_j 为全国第 j 类土地的生物生产面积(hm²);P_kⁱ 为全国第 k 类土地的第 i 类生物资源产量(kg); γ_k^i 为第 k 类土地上第 i 类生物资源的单位热值(kJ/kg)。其中单位热值数据通过查阅《农业技术经济手册(修订版)》和前人的研究成果得到。由于能源消费足迹是通过吸收能源消费产生的 CO₂ 所需要的林地面积来表征的,因此能源用地的均衡因子与森林相同;而城镇建设多占用的是农地,因此其均衡因子用耕地的代替。

(2) 产量因子计算。本文的研究区为长三角城市群 4 个省会城市,因此将计算长三角“三省一市”,即上海,浙江省,江苏省,安徽省各自的产量因子。本文采用“热值法”对研究区的产量因子进行探索,具体方法是各类土地利用类型的生产力用热值的形式来表示,即将生物产量乘以该类生物的单位热值。其中,某生物产品的单位热值是指每千克该产品包含的热量,通过这种转化计算可将每种生物产品的计量单位转换成统一的单位,热值量可以通过查阅《农业技术经济手册(修订版)》得到,如果若某些生物产品的热值在手册中查不到,则以近似产品的热值或多个近似产品的热值平均值来代替^[37,39-40],其计算公式如下(公式 2)。

$$YF_i^j = \frac{\overline{P_i^j}}{P_i} = \frac{Q_i^j}{S_i} / \frac{Q_i}{S_i} = \frac{\sum (P_k^i)^j \cdot \gamma_k^i}{S_i} / \frac{\sum P_k^i \cdot \gamma_k^i}{S_i} \quad (2)$$

式中:YF_i^j 为第 j 研究区第 i 类土地的产量因子; $\overline{P_i^j}$ 为第 j 省第 i 类土地的平均生产力(10⁹ J/hm²); $\overline{P_i}$ 为全国第 i 类土地的平均生产力(10⁹ J/hm²);Q_i^j 为第 j 省第 i 类土地的总产出(10⁹ J);S_i^j 指第 j 省第 i 类土地的总面积(hm²);Q_i 为全国第 i 类土地的总生物产量(10⁹ J);S_i 为全国第 i 类土地的总面积(hm²);(P_kⁱ)^j 为第 j 省第 i 类土地第 k 种产品的年产量(kg)。由于能源用地的生态足迹是通过吸收消耗能源所产生的 CO₂ 的森林面积来表征,所有本研究对能源用地产量因子取 0,建设用地因为主要是占用耕地,所以其产量因子和耕地相同。

1.2 生态足迹和生态承载力计算

“国家公顷”模型中,研究区总生态足迹(EF)和生态承载力(EC)的计算公式如下:

$$EF = \sum \left(\frac{P_i}{Y_i} \times EQF_j \right) \quad (3)$$

$$EC = \sum (A_j \times EQF_j \times YF_j) \quad (4)$$

式中: P_i 为 i 种产品的总产量; Y_i 为 i 种产品全国平均产量; EQF_j 为 j 类土地类型均衡因子; YF_j 为研究区 j 类土地类型产量因子; A_j 为为 j 类型生产性土地的面积 (hm^2)。将总的生态足迹和生态承载力除以研究区人口数量, 即可得到人均生态足迹和人均生态承载力。

1.3 可持续性评价指数

本文选取单位万元 GDP 生态足迹 (WEF), 生态压力指数 (EPI), 生态可持续指数 (ESI) 这 3 个指数, 对研究区的可持续性状况进行全面的评估。

(1) 单位万元 GDP 生态足迹。该指数主要是用来表征研究区内生态资源利用效率, 体现了区域社会经济发展与资源利用之间的关系, 即利用所消耗的资源创造价值的大小, 如 GDP 等^[29]。其计算方法为区域总生态足迹与国内生产总值的比值, 其计算公式为:

$$WEF = \frac{EF}{GDP} \quad (5)$$

式中: WEF 表示研究区单位万元 GDP 生态足迹; EF 表示研究区总生态足迹; GDP 表示研究区总国内生产总值。WEF 的倒数即为研究区的生态资源利用效率, 显然 WEF 越高, 表示区域内自然资源的利用效率越低, 反之则越高。

(2) 生态压力指数。它是从与人均生态承载力的比较角度来指针区域的可持续性, 反映区域生态环境所受压力强度的大小^[41-42]。其计算方法是区域人均生态足迹与人均生态承载力的比值, 其计算公式为:

$$EPI = \frac{ef}{ec} \quad (6)$$

式中: EPI 指区域生态压力指数; ef 表示研究区人均生态足迹; ec 表示研究区人均生态承载力。EPI 指数无量纲, 一般来说, EPI 指数越大, 说明生态环境所遭受的压力越大, 生态系统处于不安全状态, 区域的可持续性受到挑战。

(3) 生态可持续指数 (ESI)。为了进一步反映各城市的可持续状况, 本文将引生态可持续指数 (ESI)。它表示一个地区生态可持续利用程度, 是指一定区域的生态可持续供给满足人类生态需求的程度^[29, 43]。其公式为:

$$ESI = \frac{ec}{(ef + ec)} \quad (7)$$

式中: ESI 为生态可持续指数; ef 为人均生态足迹; ec 为人均生态承载力。ESI 的取值在 0~1, 其值

越大, 表示生态可持续发展程度越强; 反之, 则生态可持续发展程度越弱。

2 研究区与数据

2.1 研究区域

本文选取长三角城市群 4 个典型城市作为研究区, 即一个直辖市 (上海) 和 3 个省会城市 (南京, 杭州, 合肥)。根据各自的统计年鉴显示, 截至 2016 年, 上海总面积 6 340 km^2 , 常住人口 2 418.33 万人, 人均 GDP 为 124 606 元; 南京总面积 6 587 km^2 , 常住人口 833.5 万人, 人均 GDP 为 127 264 元; 杭州总面积 16 853.57 km^2 , 常住人口为 946.8 万人, 人均 GDP 为 132 617 元; 合肥总面积为 11 445.1 km^2 , 常住人口为 796.5 万人, 人均 GDP 为 90 564 元。该区域皆属于亚热带季风气候区, 温和多雨, 年平均气温在 21℃ 左右。

2.2 数据来源与计算方法

2.2.1 数据来源 本文研究中的生物生产量和能源消费量数据来源于 2006—2016 年的《上海统计年鉴》, 《南京统计年鉴》, 《杭州统计年鉴》, 《合肥统计年鉴》, 国家平均生物生产力数据由 2006—2016 年《中国统计年鉴》以及国家统计局网站相关数据计算得到; 土地利用面积数据源于国土资源部土地调查成果共享应用服务平台, 各类生物产品的单位热值采用《农业技术经济手册 (修订版)》。

2.2.2 基于“国家公顷”模型的均衡因子和产量因子计算

(1) 均衡因子计算。根据上述数据, 生物资源消费项目中, 耕地生物资源账户主要有粮食、豆类、蔬菜、油料作物等; 草地生物资源账户选取牛羊肉、奶类为消费项; 林地消费足迹由木材、水果产量来反映; 水域消费足迹仅考虑淡水产品产量; 土地利用类型主要包括: 耕地、林地、草地和水域。将各类生物的单位热值转化成热量形式, 并根据生物产品类型划归到各类土地型 (表 1), 共计 48 个计算项目, 各类生物的热值转换单位摘自《农业技术经济手册 (修订版)》。

将上述数据代入到公式 1 中, 计算得到 2006—2016 年我国各类土地利用类型的均衡因子, 见表 2。

由表 2 可以看出, 6 类土地利用类型中, 耕地的均衡因子最高, 其次是水域、林地和草地; 同时, 在不同年份中, 各类土地利用类型的均衡因子相差不大, 其中耕地、草地和水域基本稳定, 林地存在小幅波动。

(2) 产量因子计算。在“国家公顷”模型中, 产量因子指研究区某类生物生产性土地的平均生产力与全国同类土地的平均生产力的比值。由于本文的研究区为长三角城市群, 因此将计算长三角“三省一

市”,即上海,浙江省,江苏省,安徽省各自的产量因子。本文同样采用“热值法”对研究区的产量因子进行探索,具体方法是将各类土地利用类型的生产力用热值的形式来表示,即将生物产量乘以该类生物的单位热值。其中,某生物产品的单位热值是指每千克该

产品包含的热量,通过这种转化计算可将每种生物产品的计量单位转换成统一的单位,计算公式如公式 2 所示,将上述数值代入公式 2 中,分别得到了 2006—2016 年长三角城市群三省一市各自的产量因子,见表 3—6。

表 1 中国各类土地生产情况

土地利用类型	生物资源账户
耕地	稻谷、小麦、大麦、高粱、玉米、豆类、薯类、棉花、花生、油菜籽、向日葵、芝麻、麻类、甘蔗、甜菜、烟叶、猪肉、蔬菜、菠萝、西瓜、甜瓜、草莓、禽蛋、蜂蜜
林地	木材、竹材、橡胶、松脂、生漆、油桐籽、油茶籽、蚕茧、茶叶、苹果、柑桔、梨、葡萄、香蕉、红枣、柿子
草地	牛肉、羊肉、牛奶、羊毛
水域	鱼类、虾蟹、贝类、其他

表 2 2006—2016 年我国各类土地均衡因子

年份	耕地	林地	草地	水域	化石 能源地	建筑 用地
2006	4.68	0.18	0.04	0.30	0.18	4.68
2008	4.67	0.18	0.04	0.31	0.18	4.67
2010	4.65	0.19	0.04	0.33	0.19	4.65
2012	4.63	0.20	0.04	0.34	0.20	4.63
2014	4.57	0.23	0.04	0.36	0.23	4.57
2016	4.60	0.21	0.042	0.39	0.21	4.60

表 3 2006—2016 年上海市各类土地产量因子

年份	耕地	林地	草地	水域	化石 能源地	建筑 用地
2006	1.13	1.25	2.99	3.47	1.13	0
2008	1.16	1.21	2.14	3.66	1.16	0
2010	1.63	1.32	2.88	3.61	1.63	0
2012	1.51	1.43	2.58	3.51	1.51	0
2014	1.41	1.45	2.28	3.52	1.41	0
2016	1.32	1.65	2.22	3.2	1.32	0

表 4 2006—2016 年浙江省各类土地产量因子

年份	耕地	林地	草地	水域	化石 能源地	建筑 用地
2006	2.41	1.25	2.32	1.35	2.41	0
2008	2.32	1.37	2.15	1.28	2.32	0
2010	2.46	1.55	2.27	1.36	2.46	0
2012	2.57	1.62	2.38	1.47	2.57	0
2014	2.55	1.72	2.01	1.66	2.55	0
2016	2.63	1.88	2.72	1.83	2.63	0

表 5 2006—2016 年江苏省各类土地产量因子

年份	耕地	林地	草地	水域	化石 能源地	建筑 用地
2006	1.23	1.63	1.91	2.31	1.23	0
2008	1.46	1.71	1.41	2.46	1.46	0
2010	1.67	1.37	1.45	2.34	1.67	0
2012	1.71	1.46	1.17	2.67	1.71	0
2014	1.03	1.55	1.35	2.87	1.03	0
2016	1.95	1.64	1.66	2.43	1.95	0

表 6 2006—2016 年安徽省各类土地产量因子

年份	耕地	林地	草地	水域	化石 能源地	建筑 用地
2006	1.71	1.01	2.01	1.11	1.71	0
2008	1.83	1.29	2.15	1.23	1.83	0
2010	1.85	1.33	2.09	1.46	1.85	0
2012	2.11	1.61	2.17	1.37	2.11	0
2014	2.24	1.47	2.35	1.21	2.24	0
2016	2.33	1.29	2.62	1.87	2.33	0

由上表中数据可以看出,2006—2016 年,长三角三省一市各类土地产出水平年际变化不大,但总体来说较高,其中耕地、草地,水域的产量水平均高于全国平均水平;其中,耕地产量水平最高的是浙江省;林地的产量因子与全国平均水平相当;水域的产量因子上海最大,其次是江苏;草地产量因子最大的浙江省。

3 结果与分析

3.1 研究区人均生态足迹时间序列变化

依据研究区 2006—2016 年统计数据和基于“国家公顷”模型计算得到的中国本土均衡因子,结合公式 3 对研究区 2006—2016 年生态足迹进行测算,其中四城市历年的各土地利用类型人均生态足迹如图 1 所示。由图中可以看出,这 4 个城市能源和耕地生态足迹占了总生态足迹的绝大部分,其中上海,南京和杭州能源生态足迹占了总生态足迹的 50%以上,但是比例在逐年下降,上海能源生态足迹比重由 2006 年的 82.4%下降到 2016 年的 67.3%,南京由 77.2%下降到 73.5%,杭州由 58.4%下降到 48.8%;合肥市耕地生态足迹比例超过能源生态足迹,其中耕地生态足迹比例在下降,由 2006 年的 59.6%下降到 2016 年的 50.7%,能源生态足迹的比例则在上升,由 2006 年的 35.1%上升到 2016 年的 37.1%。

将各个组份的人均生态足迹累加得到研究区 4 城市的人均总生态足迹,其年际变化情况如图 2 所

示。由图中可以看出,4 城市人均总生态足迹均呈现上升趋势,上升幅度各不相同。上海市人均生态足迹由 2006 年的 2.270 5 $\text{hm}^2/\text{人}$ 上升至 2016 年的 3.260 5 $\text{hm}^2/\text{人}$;南京的人均生态足迹由 2006 年的 2.655 6 $\text{hm}^2/\text{人}$ 上升至 2016 年的 3.875 6 $\text{hm}^2/\text{人}$,增幅相对

于上海较大;杭州人均生态足迹由 2006 年的 2.384 8 $\text{hm}^2/\text{人}$ 上升至 2016 年的 3.086 8 $\text{hm}^2/\text{人}$;合肥的人均生态足迹由 2006 年的 2.577 3 $\text{hm}^2/\text{人}$ 上升至 2016 年的 3.707 9 $\text{hm}^2/\text{人}$,是长三角 4 个省会城市中增幅最大的。

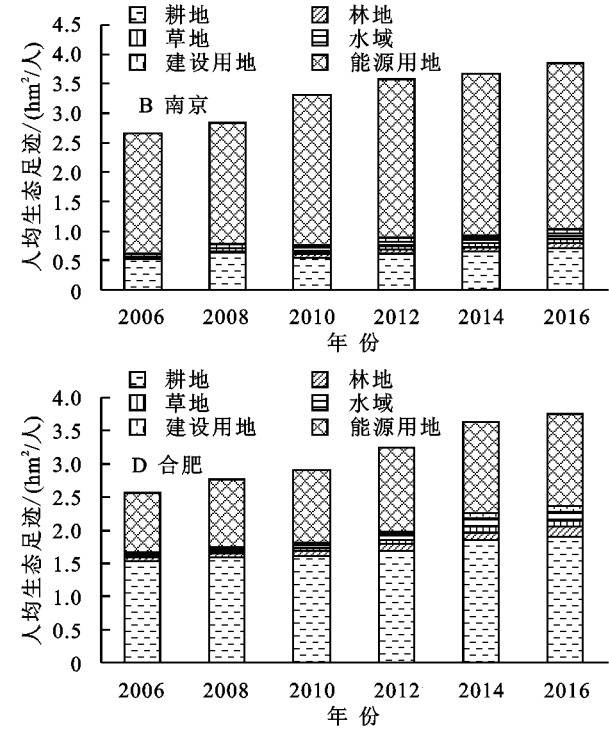
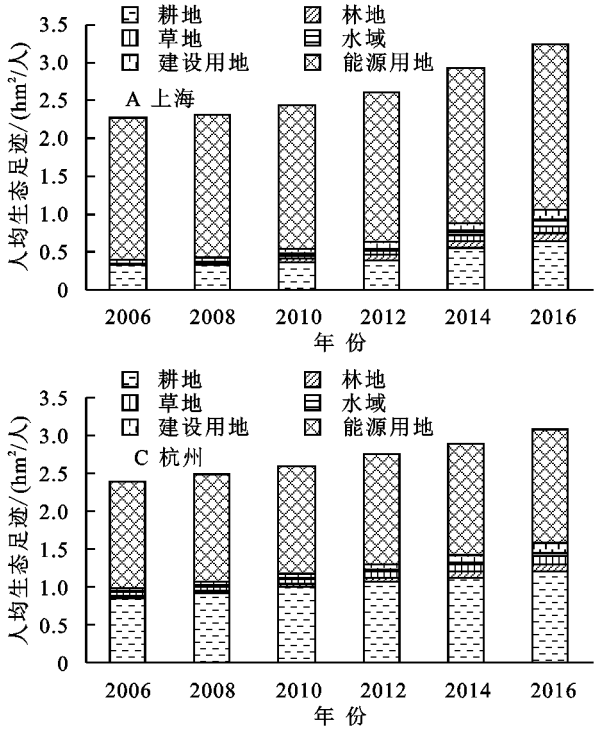


图 1 2006—2016 年研究区人均生态足迹结构

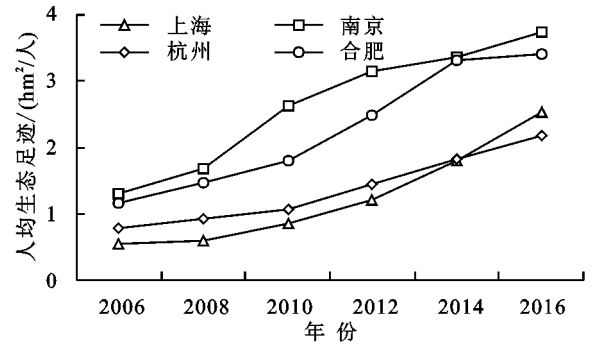


图 2 2006—2016 年研究区人均生态足迹变化

3.2 研究区人均生态承载力时间序列变化

依据研究区 2006—2016 年统计数据和基于“国家公顷”模型计算得到的中国本土均衡因子和产量因子,结合公式 4,对研究区 2006—2016 年人均生态承载力计算,其时间序列变化如图 3 所示。

由图 3 可知,四城市人均生态承载力变化幅度不大,都呈现下降趋势。其中合肥市的变化幅度最大,由 2006 年的 0.611 9 $\text{hm}^2/\text{人}$ 下降至 2016 年的 0.551 2 $\text{hm}^2/\text{人}$;其次是杭州,由 2006 年的 0.377 1 $\text{hm}^2/\text{人}$ 下降至 2016 年的 0.287 1 $\text{hm}^2/\text{人}$;南京的人均生态承载力呈现“先下降后上升又下降”的趋势,具体来说首先由 2006 年的 0.246 8 $\text{hm}^2/\text{人}$ 下降至 2010 年的

0.225 8 $\text{hm}^2/\text{人}$,接着上升至 2012 年的 0.236 8 $\text{hm}^2/\text{人}$,2012 年后又呈现下降趋势;上海的人均生态承载力基本没变化,维持在 0.088 $\text{hm}^2/\text{人}$ 左右。

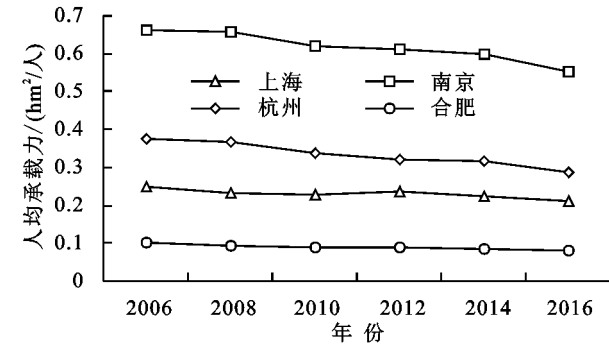


图 3 2006—2016 年研究区人均生态承载力变化

3.3 研究区可持续性评价

(1) 单位万元 GDP 生态足迹变化情况。由公式 (4),计算得到 2006—2016 年这 4 个城市的单位万元 GDP 指数(图 4)。可以看出,这 4 个城市中,合肥的单位万元 GDP 生态足迹最高,其次分别是杭州,南京和上海;单位万元 GDP 生态足迹均呈现下降趋势,其中上海市由 4.2 $\text{hm}^2/\text{万元}$ 下降到 2.1 $\text{hm}^2/\text{万元}$,南京市由 4.9 $\text{hm}^2/\text{万元}$ 下降到 3.13 $\text{hm}^2/\text{万元}$,杭州市由 5.1 $\text{hm}^2/\text{万元}$ 下降到 3.42 $\text{hm}^2/\text{万元}$,合肥

市由 5.6 hm²/万元下降到 4.19 hm²/万元,这说明在资源消费增加的同时,这 4 个城市对资源的利用率逐年提高,生产方式由粗放转向集约,并向资源的循环利用发展。

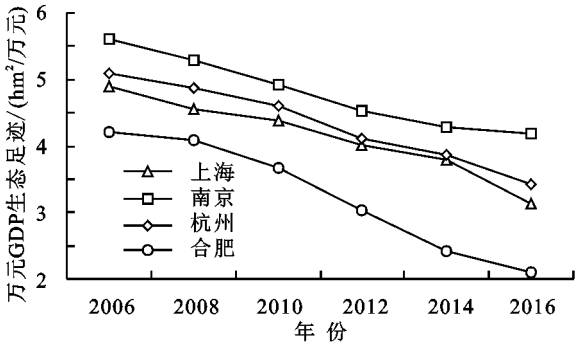


图 4 2006—2016 年研究区单位万元 GDP 生态足迹变化

(2) 生态压力指数。由公式(5)计算得到这 4 个城市 2006—2016 年的生态压力指数,见图 5 所示。从图中可知,2006—2016 年这 4 个城市的生态压力指数均呈现上升趋势,其中杭州和合肥两市增长较为缓慢,增幅不大,增幅最大的为上海,其次是南京。这表明人类活动对自然生态系统的压力在逐渐增大。

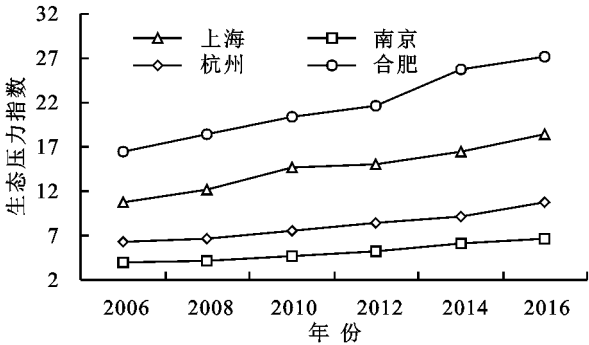


图 5 2006—2016 年研究区生态压力指数变化

(3) 生态可持续性指数。当 ESI 等于 0.5 时,说明人均生态足迹和人均生态承载处于平衡状态。根据生态可持续指数远离 0.5 的程度,可持续发展程度可从强到弱划分为 6 个等级,见表 7 [29]。

表 7 生态可持续指数分级表

等级	生态可持续指数	可持续发展程度
1	$ESI \geq 0.8$	强可持续
2	$0.65 \leq ESI < 0.8$	中等可持续
3	$0.5 \leq ESI < 0.65$	弱可持续
4	$0.35 \leq ESI < 0.5$	弱不可持续
5	$0.2 \leq ESI < 0.35$	中等不可持续
6	$ESI < 0.2$	强不可持续

将人均生态足迹和人均生态承载力代入公式 6 ,得到这个 4 个城市 2006—2016 年生态可持续指数,其结果如图 6 所示。

由图 6 可知,这 4 个城市 2006—2016 年,除了合肥市 2006 年的 ESI 指数大于 0.2 以外,其余皆小于

0.2,属于强不可持续状态,根据变化趋势来看,其强不可持续的发展状态还将进步加深,这 4 个城市的生态可持续发展建设面临严峻的挑战。

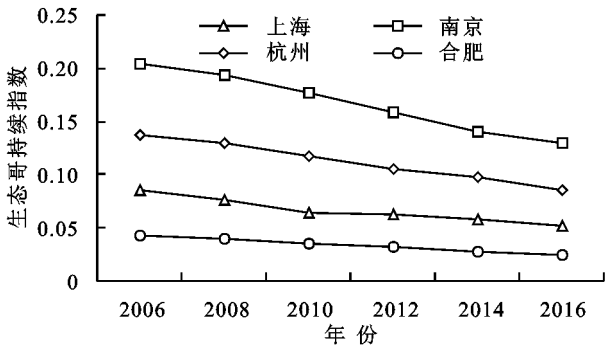


图 6 2006—2016 年研究区生态可持续指数变化

4 讨论

本文基于“国家公顷”对生态足迹模型参数进行修正,测算了 2006—2016 年长三角城市群 4 个省会城市的生态足迹,并对研究区的可持续状况进行评估,研究显示:这 4 个城市生态足迹在逐年攀升,并且均出现了生态赤字现象,这说明人类活动对自然资源的存在过度消耗的行为。究其原因,主要是这 4 个城市皆为省会或直辖市,经济快速发展,城市面积在快速扩张,使得本地对资源需求的大幅上升,城市作为一个有机体,每天需要消耗大量资源能源,同时也要排放大量的废弃物,因而使得生态足迹呈现上升趋势;并且随着生态压力的扩大,这 4 个城市的生态可持续指数逐年下降,其值皆在 <0.2 以下,属于强不可持续状态。虽然这 4 个城市单位万元 GDP 生态足迹在逐年较小,对资源的利用效率在提高,但经济和生态环境协调发展的任务依然十分艰巨,需要采取有效措施来使它们向着可持续方向发展。

本研究既可为经济发达城市提供生态文明建设评价技术,也可为我国其他类型地区生态足迹和可持续发展研究提参考和借鉴。但限于笔者水平所限,本研究计算生态足迹的方法还存在不少欠缺,更完善的计算方法有待进一步研究。例如,对消费项目的列举可能不够完全,因此计算结果有一误差,同时由于对外贸易数据难于获取,本文没有考虑贸易调整对生态足迹的影响,这在以后的研究中要深入分析。

5 结论

(1) 从人均生态足迹估算结果可知,这 4 个城市的人均生态足迹均呈现上升趋势,上升幅度各不相同,上海增长了 43.6%,南京增长了 46%,杭州增长了 29.4%,合肥增长了 43.9%;其中南京市人均生态

足迹增幅最大,2006—2016 年增长了 1.22 hm^2 ,其次是合肥。这表明随着城市发展和人口增加,人类活动对自然资本的消耗也在逐渐增大。从而使得人均生态足迹也在逐年攀升。同时,耕地和化石能源生态足迹是贡献量最大两种,说明能源和粮食是长三角城市群最主要的资源消费。

(2) 通过计算这 4 个城市 2006—2016 年的生态压力指数,单位万元 GDP 生态足迹以及生态可持续发展指数可知:从单位万元 GDP 生态足迹来看,这 4 个城市均呈现下降趋势,这表明对区域资源利用效率在逐渐提高;生态压力指数在逐年增大,这表明生态系统承受着人类活动带来的巨大压力;随着生态足迹的逐年扩大和生态承载力的逐年减小,这 4 个城市的生态可持续指数皆在下降且都小于 0.2,其可持续发展程度属于强不可持续,从发展趋势分析,其不可持续程度还将进一步加深,这 4 个城市的可持续发展建设仍面临严峻考验。

参考文献:

- [1] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [2] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint[J]. *Ambio*, 1999, 28(7): 604-612.
- [3] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective[J]. *Ecological Economics*, 1997, 20(1): 3-24.
- [4] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121-130.
- [5] 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, 68(5): 598-609.
- [6] 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, 67(5): 607-616.
- [7] 张志强,徐中民,程国栋.生态足迹的概念及计算模型[J].*生态经济*, 2000(10): 8-10.
- [8] 杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹分析理论与方法[J].*地球科学进展*, 2000, 15(6): 630-636.
- [9] 徐中民,张志强,程国栋.可持续发展定量研究的几种新方法评介[J].*中国人口·资源与环境*, 2000, 10(2): 60-64.
- [10] 陈成忠,王晖.基于生态足迹模型的中国生态可持续性动态分析[J].*安徽农业科学*, 2009, 37(10): 4546-4547, 4549.
- [11] 陈成忠,林振山,梁仁君.基于生态足迹方法的中国生态可持续性分析[J].*自然资源学报*, 2008, 23(2): 230-236.
- [12] 陈涛,徐瑶.基于 GIS 和生态足迹模型的中国可持续发展状况评价[J].*遥感信息*, 2006(3): 73-76.
- [13] 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.
- [14] 吴隆杰.基于生态足迹指数的中国可持续发展动态评估[J].*中国农业大学学报*, 2005, 10(6): 94-99.
- [15] 刘海,殷杰,陈晶,等.基于生态足迹的江西省可持续发展评价[J].*测绘科学*, 2017, 42(5): 62-69.
- [16] 张楠,汪安平.基于生态足迹理论的江苏省可持续发展研究[J].*安徽农业科学*, 2017, 45(26): 68-70.
- [17] 刘运伟,李琳莉.基于生态足迹理论的四川省可持续发展评价研究[J].*林业经济*, 2015, 37(1): 106-109.
- [18] 王晓鹏,丁生喜.基于生态足迹的青海省社会经济可持续发展研究[J].*中国人口·资源与环境*, 2011, 21(S2): 40-43.
- [19] 魏媛,吴长勇.基于生态足迹模型的贵州省生态可持续性动态分析[J].*生态环境学报*, 2011, 20(1): 102-108.
- [20] 童亿勤.基于本地生态足迹模型的浙江省可持续发展评价[J].*长江流域资源与环境*, 2009, 18(10): 896-902.
- [21] 于波涛.基于生态足迹理论的黑龙省可持续发展力研究[J].*生态经济*, 2008(4): 87-90.
- [22] 何爱红,王亦龙,向党,等.基于生态足迹的宁夏回族自治区可持续发展评价[J].*干旱区地理*, 2013, 36(5): 906-912.
- [23] 孙露.基于生态足迹理论的呼包鄂城市群可持续发展研究[D].呼和浩特:内蒙古大学, 2014.
- [24] 楚芳芳,蒋涤非.基于能值改进生态足迹的长株潭城市群可持续发展研究[J].*长江流域资源与环境*, 2012, 21(2): 145-150.
- [25] 管新建,孟钰,胡彩虹,等.中原城市群生态足迹动态分析及可持续性评价[J].*中国农村水利水电*, 2012(10): 31-34, 38.
- [26] 杨天姿.基于能值生态足迹的山东省沿海城市群可持续发展研究[D].山东青岛:中国海洋大学, 2010.
- [27] 杜悦悦,彭建,高阳,等.基于三维生态足迹的京津冀城市群自然资本可持续利用分析[J].*地理科学进展*, 2016, 35(10): 1186-1196.
- [28] 郑薇.基于生态足迹的天津市可持续发展评价研究[J].*环境保护与循环经济*, 2017, 37(5): 32-38.
- [29] 杨丹荔,罗怀良,蒋景龙.基于生态足迹方法的西南地区典型资源型城市攀枝花市的可持续发展研究[J].*生态科学*, 2017, 36(6): 64-70.
- [30] 白婷.基于改进生态足迹模型的重庆市可持续发展能力研究[D].重庆:西南大学, 2017.
- [31] 郭慧文,严力蛟.城市发展指数和生态足迹在直辖市可持续发展评估中的应用[J].*生态学报*, 2016, 36(14): 4288-4297.

- [23] Miller T E, Goldberg D E. Effects of different resource additions of species diversity in an annual plant community[J]. Ecology, 1990,71(1):213-225.
- [24] 郭曼,郑粉莉,和文祥,等.黄土丘陵区不同退耕年限植被多样性变化及其与土壤养分和酶活性的关系[J].土壤学报,2010,47(5):979-986.
- [25] Wu L, He N, Wang Y, et al. Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil after grazing exclusion in *Legmus chinensis* grasslands of Northern China[J]. Journal of Environmental Quality, 2008, 37(2): 663-668.
- [26] Bai Y F, Han X G, Wu J G, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland[J]. Nature, 2004,431(7005):181-184.
- [27] 杜峰,山仑,梁宗锁,等.陕北黄土丘陵区撂荒演替生态位研究[J].草业学报,2006,15(3):27-35.
- [28] 郝文芳,杜峰,陈小燕,等.黄土丘陵区天然群落的植物组成、植物多样性及其与环境因子的关系[J].草地学报,2012,20(4):609-615.
- [29] 周萍,刘国彬,侯喜禄.黄土丘陵区铁杆蒿群落植被特性及土壤养分特征研究[J].草业学报,2008,17(2):9-18.
- [30] Kusuma P, Dean-Hively W, McCarty G W. Evaluating the relationship between biomass, percent groundcover and remote sensing indices across six winter cover crop fields in Maryland, United States [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015,39:88-102.
- [31] Ji S J, Geng Y, Li D F, et al. Plant coverage is more important than species richness in enhancing aboveground biomass in a premature grassland, northern China [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2009,129(4):491-496.
- [32] 袁晓波,牛得草,吴淑娟,等.黄土高原典型草原地上生物量估测模型[J].生态学报,2016,36(13):4081-4090.
- [33] Jiang Y B, Zhang Y J, Wu Y P, et al. Relationships between aboveground biomass and plant cover at two spatial scales and their determinants in northern Tibetan grasslands[J]. Ecology and Evolution, 2017,7(19): 7954-7964.
- [34] Feng X, Fu B, Piao S, et al. Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water resource limits [J]. Nature Climate Change, 2016, 6(11):1019-1022.
- [35] Jackson R B. Trading water for carbon with biological carbon sequestration [J]. Science, 2005, 310(5756): 1944-1947.
- [36] 方昭,张少康,刘海威,等.黄土丘陵区草本群落生物量空间分布格局及其影响因素[J].草业学报,2018,27(2):26-35.
- [37] 周萍,刘国彬,侯喜禄.黄土丘陵区不同坡向及坡位草本群落生物量及多样性研究[J].中国水土保持科学, 2009,7(1):67-73.

(上接第 318 页)

- [32] 陆俐呐,葛察忠,林爱军,等.基于生态足迹和生态承载力的湖北省利川市可持续发展研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(S2):124-129.
- [33] 张佳琦,段玉山,伍燕南.基于生态足迹的苏州市可持续发展动态研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(2):177-184.
- [34] 刘某承.中国生态足迹的时间动态与空间格局[M].北京:化学工业出版社,2014.
- [35] 刘某承,李文华.基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J].生态与农村环境学报,2010,26(5):401-406.
- [36] 王祥荣,樊正球,谢玉静,等.城市群生态安全保障关键技术研究与集成示范:以长三角城市群为例[J].生态学报,2016,36(22):7114-7118.
- [37] 黄羿,杨林安,张正栋,等.基于“国家公顷”生态足迹模型的广东省生态安全研究[J].生态经济,2012(7):47-51,56.
- [38] 何爱红.中国中部地区的生态足迹与可持续发展研究[M].北京:中国社会科学出版社,2013.
- [39] 薛若晗.基于“国家公顷”的生态足迹模型研究[J].安徽农业科学,2014,22(22):7318-7320.
- [40] 李智强,吴诗嫚.基于“国家公顷”生态足迹模型的土地可持续利用研究:以抚州市为例[J].开发研究,2011(4):59-63.
- [41] 刘运伟,赵亚玲,廖仕梅.基于生态足迹理论的欠发达民族山区生态安全动态研究:以四川凉山彝族自治州为例[J].生态科学,2015,34(1):142-147.
- [42] Wang Z H, Yang L, Yin J H, et al. Assessment and prediction of environmental sustainability in China based on a modified ecological footprint model[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018,132:301-313.
- [43] 陈晨,夏显力.基于生态足迹模型的西部资源型城市可持续发展评价[J].水土保持研究,2012,19(1):197-201.