

文章编号: 1000-5641(2018)04-0147-12

## 浙江省生态足迹时空差异及因素分解研究

李国志

(丽水学院 商学院, 浙江 丽水 323000)

**摘要:** 利用生态足迹模型, 对浙江省生态足迹和生态承载力进行测算, 并利用 IPAT 模型对生态足迹进行因素分解. 结果显示: 2002—2015 年间, 浙江省生态足迹从 7 852 万  $\text{ghm}^2$  增加到 15 484 万  $\text{ghm}^2$ , 生态压力较大. 同时, 生态效率快速提高, 经济可持续发展能力提升. 不同地区生态足迹和生态承载力差异较大, 丽水是唯一处于生态盈余的地区, 2015 年生态效率为 1.04 万元/ $\text{ghm}^2$ , 是全省最高的. 因素分解结果显示, 经济增长模式是生态足迹的抑制因素, 全省共减少生态足迹 8 164 万  $\text{ghm}^2$ ; 经济发展水平和人口规模是生态足迹的刺激因素, 全省增加生态足迹分别为 12 987 万  $\text{ghm}^2$  和 2 810 万  $\text{ghm}^2$ .

**关键词:** 生态足迹; 时空差异; IPAT模型; 因素分解

**中图分类号:** X171.1    **文献标志码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2018.04.015

## A study on spatial-temporal differences and factor decomposition of the ecological footprint of Zhejiang Province

LI Guo-zhi

(Business School, Lishui University, Lishui Zhejiang 323000, China)

**Abstract:** Using an ecological footprint model, this paper calculated the ecological footprint and ecological carrying capacity of Zhejiang Province, and further decomposed the ecological footprint using an IPAT model. The results showed that the ecological footprint increased from  $7.852 \times 10^7 \text{ ghm}^2$  to  $1.5484 \times 10^8 \text{ ghm}^2$  from 2002 to 2015, and that the ecological pressure was significant. At the same time, the ecological efficiency improved rapidly, and the capacity for economic sustainable development improved. The ecological footprint and ecological carrying capacity varied greatly in different regions. Lishui City was the only region with ecological surplus; the ecological efficiency was  $1.04 \times 10^4 \text{ yuan/ghm}^2$  in 2015, the highest among all the regions in Zhejiang Province. The results of factor decomposition showed that economic growth was the inhibiting factor for the ecological footprint, and it reduced the ecological footprint to  $8.164 \times 10^7 \text{ ghm}^2$  across the whole province. The level of economic development and population size were driving factors, and they increased the ecological footprint by  $1.2987 \times 10^8 \text{ ghm}^2$  and  $2.810 \times 10^7 \text{ ghm}^2$ , respectively, across the whole province.

收稿日期: 2017-09-15

基金项目: 国家社科基金重点项目(15AJY004)

作者简介: 李国志, 男, 教授, 研究方向为生态经济与区域经济. E-mail: lgz48325@126.com.

**Keywords:** ecological footprint; spatial-temporal difference; IPAT model; factor decomposition

## 0 引言

近年来,浙江省经济社会发展速度非常快,经济总量稳居全国前四,城乡居民收入水平快速攀升。但与此同时,生态破坏、环境污染和资源短缺等问题也日益严重,可持续发展受到了严峻的挑战,也引起了社会各界人士的广泛关注。浙江省第十四次党代会报告明确提出:“要促进生态环境面貌实现根本性改观……统筹推进‘山水林田湖’生态保护和修复,严守生态保护红线,健全完善跨区域生态补偿机制,加大对重要生态功能区、生态环境敏感区和脆弱区的保护力度”。因此,对浙江省生态足迹和生态压力问题进行研究,可以为政府制定生态保护政策提供必要的理论依据。

生态足迹概念最早是 1992 年由加拿大经济学家 Rees 提出<sup>[1]</sup>,随后 Wackernagel 和 Rees 提出了计算模型并加以完善<sup>[2]</sup>。生态足迹法作为一种算法在国内外得到广泛应用,大量学者对此进行了研究,主要集中于四个方面:一是生态足迹法的有效性。主要包括:Stuart 等认为生态足迹是反映生物多样性的关键指标<sup>[3]</sup>;Lubchenco 认为减少生态足迹是环境领域面临的重要挑战<sup>[4]</sup>;Bian 等认为生态足迹法用于测算环境成本非常有效<sup>[5]</sup>。二是理论方法的研究。主要包括:周涛等提出了生态足迹模型的修正方法<sup>[6]</sup>;刘超等、靳相木和柳乾坤、张星星和曾辉利用三维生态足迹模型进行测算<sup>[7-9]</sup>;杨青等、谭德明和何红渠、杨灿和朱玉林利用能值生态足迹模型进行测算<sup>[10-12]</sup>。三是具体区域生态足迹的测算及影响因素分析,包括国家、省域及单个城市等不同层面。如 Wackernagel 等测算了 1961—1999 年间奥地利、菲律宾等国的生态足迹总量<sup>[13]</sup>;Van 等测算了不丹、荷兰等国家的生态足迹<sup>[14]</sup>;Bagliani 等分析了意大利 Siena 地区的生态足迹<sup>[15]</sup>;Haberl 等核算了澳大利亚的生态足迹<sup>[16]</sup>;吴德存等分析了中国省域生态足迹的空间效应<sup>[17]</sup>;王俊杰分析了中国省级生态压力与生态效率<sup>[18]</sup>;胡正李等对北京、上海、天津和重庆等大都市生态足迹进行比较<sup>[19]</sup>;张童等分析了南京市生态足迹时空特征及脱钩效应<sup>[20]</sup>;史丹和王俊杰对中国生态压力与生态效率进行测度<sup>[21]</sup>。四是不同应用领域生态足迹的测算及分析。如曹淑艳和谢高地分析了城镇居民食物消费的生态足迹<sup>[22]</sup>;李赫龙等、孟丽红等、赵忠瑞等分析了水资源生态足迹和生态承载力<sup>[23-25]</sup>;曹瑞芬等、张红等分析了耕地的生态足迹和生态承载力<sup>[26-27]</sup>;王中航等分析了中国典型特大城市交通的生态足迹<sup>[28]</sup>。

现有文献利用各种方法,对不同区域生态足迹进行测算和影响因素分析,得出了许多富有价值的结论。本文在现有文献基础上,基于浙江省农作物复种比较普遍和近海水域面积较大的省情,测算生态足迹和生态承载力时,对耕地和水域的产量因子进行修正,这样测算结果更加符合浙江实际。此外,现有文献在分析生态足迹影响因素时,多采用回归分析方法,这样只能得到不同因素对生态足迹的影响弹性,不能反映出实际贡献值。本文借鉴 IPAT 模型框架及因素分解方法,对生态足迹进行因素分解,可以得到经济增长模式、经济发展水平和人口规模等因素对浙江省生态足迹总量的实际贡献值,这样可以为政策制定提供更加科学的依据。

## 1 研究区域、研究方法和数据来源

## 1.1 研究区域

浙江省位于我国东南部, 国土面积 10.55 万 km<sup>2</sup>, 是中国面积较小的省份之一, 下辖 11 个地级市. 2016 年末常住人口 5 590 万, 城镇化率为 67%. 地形以山地丘陵为主, 占全省国土面积的 74.63%, 素有“七山一水二分田”之说. 属亚热带季风气候, 四季分明, 气温适中(年均 15~18℃); 雨量充沛(年均降雨量 1 600 mm), 空气湿润, 是中国降水较丰富的地区之一; 境内有西湖、东钱湖等容积 100 万 m<sup>3</sup> 以上的湖泊 30 余个, 有苕溪、钱塘江等八大水系, 海岸线(包括海岛)长约 6 486 km, 居中国首位, 海洋资源十分丰富. 林地面积 668 万 hm<sup>2</sup>, 其中森林面积 584 万 hm<sup>2</sup>, 森林覆盖率位于中国前列. 浙江的水产品和林产品在全国占有重要地位, 工业和第三产业也在全国领先, 能源消费以煤炭、电力和石油为主.

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 生态足迹法

生态足迹法是通过量化土地面积, 对所研究区域的生态足迹(需求侧)和生态承载力(供给侧)进行测定并比较, 来评价区域可持续发展状况的一种方法.

#### (1) 生态足迹计算方法

生态足迹是指人口消费的所有资源所占用的生物生产性土地面积. 其计算公式为

$$EF = N \cdot ef = N \cdot \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^n (r_j \cdot c_i / p_i), \quad (1)$$

式中:  $EF$  为区域总生态足迹,  $N$  为人口数,  $ef$  为人均生态足迹;  $j$  为生物生产性土地类别(包括耕地、草地、林地、水域、建筑用地和化石燃料用地 6 大类);  $i$  为消费品种类,  $c_i$  为第  $i$  种消费品的人均年消费量,  $p_i$  为第  $i$  种消费品的世界平均产量;  $r_j$  为第  $j$  类生物生产性土地均衡因子, 用于调节各类土地(含水域)的生产力差异. 计算化石能源消费量时, 先将各类能源实际消耗量按照相应的发热量折算系数转化为发热量, 再除以人口数, 则可得化石能源的人均消费量, 此时  $p_i$  为世界平均能源足迹.

#### (2) 生态承载力计算方法

生态承载力即生态容量, 指一个区域可用于提供人口消费所需资源的生物生产性土地面积. 其计算公式为

$$EC = N \cdot ec = 0.88 \cdot N \cdot \sum_{j=1}^6 (a_j r_j y_j), \quad (2)$$

式中:  $EC$  为区域总生态承载力,  $N$  为人口数,  $ec$  为人均生态承载力;  $a_j$  为第  $j$  类生物生产性土地人均实际拥有面积;  $y_j$  为产量因子;  $r_j$  为均衡因子. 由于生态供给中要扣除 12% 的生物多样性土地面积, 因此在核算生态承载力时需乘以系数 0.88.

由于浙江省农作物复种现象比较普遍, 加上浙江省为沿海省份, 近海渔业水产捕捞量较大, 因此本文借鉴李正泉等的方法<sup>[29]</sup>, 对耕地产量因子和水域产量因子进行修正. 其中耕地产量因子计算公式为

$$y_j = f \cdot \sum_{i=1}^n [(z p_i / p_i) \times (s_i / S)], \quad (3)$$

式中:  $y_j$  为耕地产量因子;  $i$  为农作物种类;  $z p_i$  第  $i$  种农作物省域平均产量;  $p_i$  第  $i$  种农作物世界平均产量;  $s_i$  第  $i$  种农作物种植面积;  $S$  为全省农作物总种植面积;  $f$  为复种指数, 其值为农作物总种植面积与耕地面积比值.

水域产量因子计算公式为

$$y_j = (P/S_j)/p_i, \quad (4)$$

式中:  $y_j$  为水域产量因子;  $P$  为水产捕捞量(含近海渔业);  $S_j$  为水域面积(含近海水域);  $p_i$  水产品世界平均产量.

### (3) 生态压力和生态效率

生态压力可用生态盈亏值 ( $EB$ ) 来衡量. 生态盈亏指  $EF$  与  $EC$  之间的差额, 即  $EB = EF - EC$ . 当  $EB < 0$  时为生态盈余, 说明区域处于可持续发展状态; 当  $EB > 0$  时为生态赤字, 说明区域处于不可可持续发展状态.

生态效率最早是由德国学者 Schaltegger 和 Sturm 在 1990 年提出, 即增加的价值与增加的环境影响的比值. 世界经济发展合作组织 (OECD) 则认为生态效率是生态资源满足人类需求的效率, 可视为产出与投入的比值<sup>[30]</sup>. 此外, 还有部分学者(或机构)对生态效率概念进行了界定<sup>[31]</sup>. 总体而言, 学术界对生态效率的定义大同小异, 即把经济福利与环境质量结合在一起, 本质上是“以更少的环境影响创造更多的价值”. Hoffen 认为提高生态效率是提高地区竞争力的一种手段<sup>[32]</sup>. 基于生态效率内涵, 本文借鉴史丹和王俊杰的方法<sup>[21]</sup>, 利用单位生态足迹的 GDP 产出来测度生态效率 ( $EFE$ ), 即  $EFE = GDP/EF$ .  $EFE$  越大, 则说明区域生态效率越高; 反之, 则生态效率越低.

#### 1.2.2 IPAT 模型及因素分解

IPAT 模型是美国人口学家 Ehrlich 提出的关于环境压力 ( $I$ ) 与人口 ( $P$ )、富裕程度 ( $A$ )、技术 ( $T$ ) 之间的恒等式, 即  $I = P \times A \times T$ . IPAT 恒等式是人类活动与环境影响之间关系的理论模型框架, 被大量用来分析人口、经济和技术等因素对能源消费、碳排放等的影响. 生态足迹大小本质上即为人类活动对环境影响的程度, 因此本文借鉴 IPAT 模型框架来, 从人口、经济和技术 3 个维度对浙江省生态足迹进行因素分解. 具体公式为

$$EF = \frac{EF}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P, \quad (5)$$

其中:  $EF$  为生态足迹;  $GDP$  为实际国内生产总值;  $P$  为人口总量.

不妨令  $M = EF/GDP$ , 表示生态足迹强度, 即单位 GDP 的生态足迹, 与区域经济增长模式(粗放型或集约型)有关, 主要体现区域技术进步因素的影响;  $D = GDP/P$ , 表示人均 GDP, 与区域经济发展水平有关, 主要体现区域经济增长和富裕程度的影响;  $P$  主要体现区域人口规模的影响. 故上式可写为

$$EF = M \times D \times P. \quad (6)$$

因此, 第  $t$  期生态足迹量相对于基期生态足迹量的变化可以表示为

$$\Delta EF_{\text{tot}} = EF_t - EF_0 = M_t \times D_t \times P_t - M_0 \times D_0 \times P_0, \quad (7)$$

进一步变形可得

$$\Delta EF_{\text{tot}} = (M_t - M_0) \times D_0 \times P_0 + M_t \times (D_t - D_0) \times P_0 + M_t \times D_t \times (P_t - P_0). \quad (8)$$

不妨令

$$\Delta EF_M = (M_t - M_0) \times D_0 \times P_0,$$

$$\Delta EF_D = M_t \times (D_t - D_0) \times P_0,$$

$$\Delta EF_P = M_t \times D_t \times (P_t - P_0).$$

因此, 式 (5) 可化为

$$\Delta EF_{\text{tot}} = \Delta EF_M + \Delta EF_D + \Delta EF_P, \quad (9)$$

其中,  $\Delta EF_M$  表示增长模式效应, 用来反映区域经济增长模式变化对生态足迹的影响;  $\Delta EF_D$  表示发展水平效应, 用来反映区域经济发展水平变化对生态足迹的影响;  $\Delta EF_P$  表示人口规模效应, 用来反映区域人口数量变化对生态足迹的影响。

### 1.3 数据来源

计算生态足迹和生态承载力所需的基础数据如各类消费品人均年消费量、作物种植面积和人口总数等数据均来自于浙江省及所辖各市历年的统计年鉴和各类统计年报。各类生物生产性土地的均衡因子和产量因子均来自于联合国粮农组织 (FAO) 数据库, 具体数值见表 1。

表 1 均衡因子和产量因子

Tab. 1 Equilibrium factor and yield factor						
土地类型	耕地	建设用地	林地	化石能源用地	草地	水域
均衡因子	2.8	2.8	1.1	1.1	0.5	0.2
产量因子	式3	1.66	0.91	0	0.19	式4

## 2 浙江省生态足迹时空差异

### 2.1 浙江省生态足迹时序特征

根据前文所述方法和数据, 可以测算出浙江省历年生态足迹和生态承载力, 进而求出生态盈亏值和生态效率 (见图 1)。

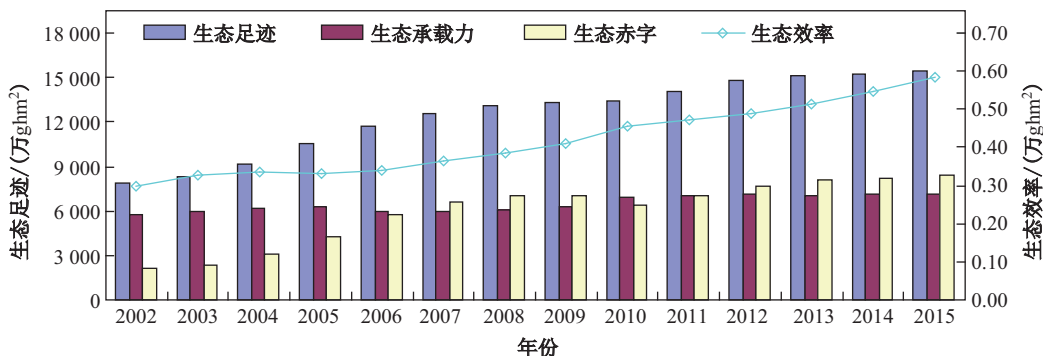


图 1 浙江省生态足迹、生态压力和生态效率

Fig. 1 Ecological footprint, ecological pressure and ecological efficiency of Zhejiang Province

由图 1 可知, 2002—2015 年间, 浙江省生态足迹从 7 852 万  $\text{ghm}^2$  快速增加到 15 484 万  $\text{ghm}^2$ , 13 年内增加了 7 632 万  $\text{ghm}^2$ , 年均增速为 5.36%; 生态承载力从 5 772 万  $\text{ghm}^2$  缓慢增加到

7 111 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 1.62%。可以发现, 研究期间浙江省生态压力较大, 生态赤字从 2 079 万ghm<sup>2</sup> 快速增加到 8 374 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 11.31%, 说明区域生态安全受到一定威胁。从生态效率来看, 单位生态足迹的 GDP 产出从 0.30 万元/ghm<sup>2</sup> 增加到 0.58 万元/ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 5.20%, 说明研究期间浙江省虽然生态足迹快速增加, 但生态效率也不断提高, 一定程度上说明经济的可持续发展能力逐渐提升。

从浙江省生态足迹构成看(见图 2), 研究期间各类生物生产性土地的生态足迹均有不同程度的增加。其中耕地由 2 120 万ghm<sup>2</sup> 增加到 2 632 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 1.68%; 草地由 471 万ghm<sup>2</sup> 增加到 619 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 2.12%; 林地由 1 570 万ghm<sup>2</sup> 增加到 2 168 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 2.51%; 水域由 942 万ghm<sup>2</sup> 增加到 1 394 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 3.06%; 建设用地由 393 万ghm<sup>2</sup> 增加到 619 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 3.56%; 化石能源用地由 2 355 万ghm<sup>2</sup> 增加到 8 052 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 9.92%。可见, 化石能源消费足迹是浙江省生态足迹快速增加的主要推动因素, 这与李正泉等<sup>[29]</sup>、沈伟腾和胡求光<sup>[33]</sup>的研究结论非常一致, 一定程度上也反映出浙江省经济增长的高能耗特征。

从浙江省生态承载力构成看(见图 3), 草地承载力非常小且研究期间变化不大, 耕地略有下降, 林地、水域和建设用地的承载力均有不同程度的增加。其中耕地由 2 806 万ghm<sup>2</sup> 下降到 2 686 万ghm<sup>2</sup>, 年均降速为 0.34%; 林地由 1 775 万ghm<sup>2</sup> 增加到 2 332 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 2.12%; 水域由 458 万ghm<sup>2</sup> 增加到 777 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 4.15%; 建设用地由 687 万ghm<sup>2</sup> 增加到 1 272 万ghm<sup>2</sup>, 年均增速为 4.85%。笔者以为, 林地和水域生态承载力的上升主要得益于浙

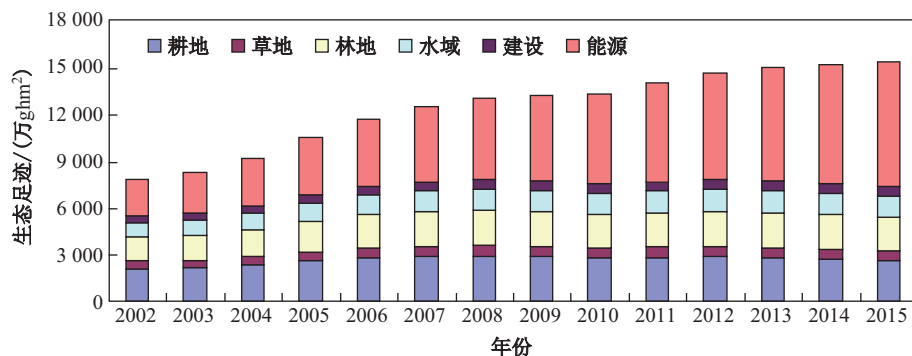


图2 浙江省生态足迹构成

Fig. 2 Composition of the ecological footprint of Zhejiang Province

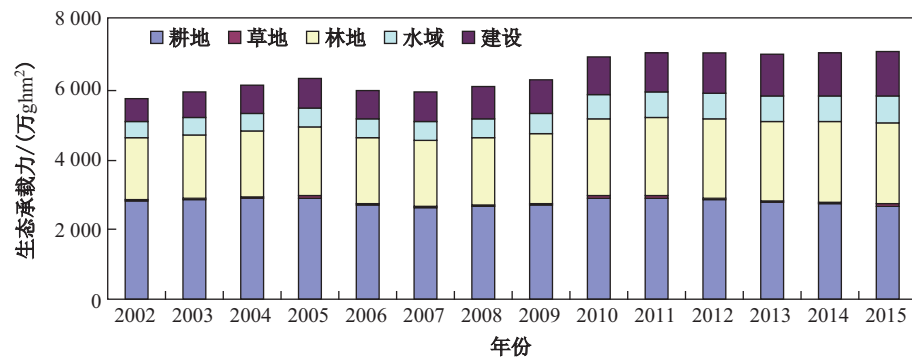


图3 浙江省生态承载力构成

Fig. 3 Composition of the ecological carrying capacity of Zhejiang Province

江省长期坚持的生态公益林建设和“五水共治”等生态建设举措,而耕地承载力下降和建设用地承载力上升则主要是由于城镇化快速发展所引起的.以生态公益林建设为例,近年来浙江省不断提高公益林生态补偿标准,2017年最低补偿标准达到600元/公顷/年,全省省级以上公益林面积超过4300万 $\text{hm}^2$ .值得说明的是,单从林地来看,其生态承载力要高于生态足迹,说明林业产业发展尚属于可持续状态,林产品生产尚有较大潜力,森林是浙江省重要的生态屏障.

## 2.2 浙江省生态足迹的地区差异

由表2可知,浙江省不同地区的生态足迹存在较大差异.从生态足迹总量看,以2002—2015年的平均值为例,可将11个地区分为高、中、低3个等级:宁波和杭州两地为高足迹区域,生态足迹总量大于2000万 $\text{ghm}^2$ ;温州、嘉兴、绍兴、金华和台州为中足迹区域,生态足迹总量介于1000万~2000万 $\text{ghm}^2$ 之间;湖州、衢州、舟山和丽水为低足迹区域,生态足迹总量小于1000万 $\text{ghm}^2$ .不同地区生态足迹总量的增长速度也有明显差异:衢州增长最快,2002—2015年的生态足迹平均增长速度高达9.14%;宁波、嘉兴和金华的增长速度在5%~9%之间;杭州、温州、湖州、绍兴、舟山、台州和丽水的增长速度均在5%以下,其中丽水为最低的3.33%.

表2 浙江省不同地区生态足迹

Tab. 2 Ecological footprint in different regions of Zhejiang Province

地区	生态足迹总量/(万 $\text{ghm}^2$ )				增速/%	人均生态足迹/( $\text{ghm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ )				增速/%
	2005年	2010年	2015年	均值		2005年	2010年	2015年	均值	
杭州	1950	2274	2559	2152	4.74	2.597	2.612	2.837	2.643	2.53
宁波	1500	2399	2919	2145	7.17	2.287	3.152	3.731	2.969	5.26
温州	1523	1861	2034	1656	4.23	1.959	2.038	2.230	2.010	1.08
嘉兴	865	1054	1446	1027	7.83	2.165	2.340	3.155	2.371	6.45
湖州	769	842	918	832	4.43	2.829	2.911	3.112	2.951	3.48
绍兴	1205	1294	1411	1252	4.38	2.745	2.635	2.840	2.684	2.83
金华	700	1182	1377	1043	6.03	1.441	2.203	2.524	2.032	3.81
衢州	363	457	541	431	9.14	1.650	2.150	2.535	2.010	8.23
舟山	251	279	387	297	4.02	2.446	2.491	3.355	2.739	3.04
台州	1178	1416	1558	1333	4.00	2.071	2.370	2.576	2.331	1.95
丽水	290	313	336	313	3.33	1.279	1.480	1.569	1.445	2.37

注:因版面原因,表中只列出2005、2010和2015这3年数据,其余年份数据可向作者索取;均值指2002—2015年的平均值;增速指2002—2015年的平均增长速度

从人均生态足迹看,可将11个地区分为三个层次:宁波、杭州、湖州、绍兴和舟山为第一层次,人均生态足迹在2.5 $\text{ghm}^2/\text{人}$ 以上;温州、嘉兴、金华、衢州和台州为第二层次,人均生态足迹介于2 $\text{ghm}^2/\text{人}$ 和2.5 $\text{ghm}^2/\text{人}$ 之间;丽水为第三层次,人均生态足迹小于2 $\text{ghm}^2/\text{人}$ .从人均生态足迹增长速度看,衢州、宁波和嘉兴年均增速超过5%;杭州、湖州、绍兴、金华、舟山和丽水年均增速介于2%和5%之间;温州和台州年均增速低于2%.

表 3 浙江省不同地区生态承载力

Tab. 3 Ecological carrying capacity in different regions of Zhejiang province

地区	生态承载力总量/(万ghm <sup>2</sup> )				增速/%	人均生态承载力/(ghm <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )				增速/%
	2005 年	2010 年	2015 年	均值		2005 年	2010 年	2015 年	均值	
杭州	928	995	1 021	945	1.03	1.237	1.143	1.132	1.173	-1.10
宁波	674	892	908	788	2.45	1.028	1.173	1.161	1.104	0.63
温州	986	990	977	926	1.45	1.268	1.084	1.071	1.143	-1.61
嘉兴	481	686	710	591	3.02	1.203	1.523	1.548	1.376	1.70
湖州	391	464	483	429	1.70	1.440	1.605	1.637	1.523	0.78
绍兴	529	628	657	579	1.92	1.206	1.278	1.323	1.246	0.40
金华	716	750	779	709	1.95	1.473	1.398	1.429	1.404	-0.18
衢州	359	306	311	318	-0.12	1.635	1.439	1.459	1.496	-0.95
舟山	106	140	148	125	2.51	1.036	1.252	1.283	1.154	1.54
台州	657	657	667	631	1.30	1.156	1.099	1.103	1.111	-0.70
丽水	494	444	449	449	0.35	2.181	2.096	2.097	2.088	-0.58

注: 因版面原因, 表中只列出 2005、2010 和 2015 这 3 年数据, 其余年份数据可向作者索取; 均值指 2002—2015 年的平均值; 增速指 2002—2015 年的平均增长速度

由表 3 可知, 浙江省不同地区的生态承载力也存在较大差异. 从生态承载力总量看, 杭州、宁波、温州和金华在 700 万ghm<sup>2</sup> 以上; 湖州、绍兴、台州和丽水介于 400 ~700 万ghm<sup>2</sup> 之间; 衢州和舟山小于 400 万ghm<sup>2</sup>. 从人均生态承载力看, 丽水最高, 超过 2 ghm<sup>2</sup>/人; 嘉兴、湖州、绍兴、金华和衢州介于 1.2 ~2 ghm<sup>2</sup>/人之间; 杭州、宁波、温州、舟山和台州小于 1.2 ghm<sup>2</sup>/人. 从增长速度看, 各地生态承载力总量和人均生态承载力均波动较小. 如生态承载力总量增长最快的为嘉兴, 年均增速为 3.02%, 而衢州最低, 年均增速为 -0.12%, 呈微弱的下降态势; 人均生态承载力方面, 宁波、嘉兴、湖州、绍兴和舟山呈微弱上升态势, 而杭州、温州、金华、衢州、台州和丽水则呈微弱的下降态势.

表 4 浙江省不同地区生态压力和生态效率

Tab. 4 Ecological pressure in different regions of Zhejiang Province

	年份	杭州	宁波	温州	嘉兴	湖州	绍兴	金华	衢州	舟山	台州	丽水
生态赤字	2002	507	524	377	61	135	294	37	-142	124	372	-209
	2005	1021	826	537	384	378	676	-16	3	145	520	-204
	2010	1279	1507	871	368	378	666	432	151	139	759	-131
	2015	1537	2011	1057	737	435	754	597	229	239	891	-113
生态效率	2002	0.39	0.32	0.21	0.47	0.32	0.27	0.29	0.71	0.32	0.21	0.41
	2005	0.41	0.38	0.24	0.43	0.33	0.26	0.40	0.50	0.44	0.24	0.46
	2010	0.62	0.42	0.35	0.62	0.52	0.43	0.41	0.70	0.69	0.35	0.75
	2015	0.81	0.51	0.48	0.67	0.71	0.58	0.52	0.87	0.73	0.48	1.04

注: 为节约版面, 表中只列出 2002、2005、2010 和 2015 这 4 年的数据, 其余年份数据可向作者索取

根据生态足迹和生态承载力数据, 可进一步分析浙江省不同地区的生态压力和生态效率, 结果如表 4 所示. 可以发现, 除丽水市外, 其余地区在研究期间均处于生态赤字状态, 且生态赤字呈快速增加态势. 以 2015 年数据为例, 杭州、宁波和温州 3 个地区生态赤字超过了 1 000 万ghm<sup>2</sup>, 其中宁波为最高的 2 011 万ghm<sup>2</sup>; 嘉兴、绍兴、金华和台州 4 个地区生态赤字介于 500



万~1 000 万ghm<sup>2</sup>之间;湖州、衢州和舟山3个地区生态赤字低于500 万ghm<sup>2</sup>;丽水是唯一处于生态盈余状态的地区,但研究期间生态盈余额在逐年下降,从2002年的209 万ghm<sup>2</sup>减少到2015年的113 万ghm<sup>2</sup>。总体而言,浙江省各地区生态安全形势比较严峻。

从生态效率看,研究期间各地区单位生态足迹的GDP产出均呈现快速上升态势,说明各地生态效率不断提高,经济的可持续发展能力有所增强。值得提出的是,2015年丽水市生态效率达到1.04 万元/ghm<sup>2</sup>,是所有地区中生态效率最高的。这与丽水实施生态立市战略密切相关。近年来,丽水市依托良好的生态环境和丰富的生态资源,大力推动产业的生态化转型,将生态旅游业打造为第一支柱产业。同时,浙江省对丽水市不考核GDP也为丽水生态产业发展提供了政策保障,使得丽水市生态效率大幅提高。

### 3 浙江省生态足迹因素分解

#### 3.1 全省分解结果

根据前文所述Kaya因素分解法,可得到2002—2015年浙江省生态足迹因素分解结果(见表5)。

表5 浙江省生态足迹因素分解结果

年份	总效应	增长模式效应	发展水平效应	人口规模效应
2002-2003	425	-636	798	263
2003-2004	937	-230	732	435
2004-2005	1 380	181	693	506
2005-2006	1 173	-261	1 240	194
2006-2007	786	-820	1 407	198
2007-2008	524	-671	1 041	153
2008-2009	221	-867	934	154
2009-2010	76	-1 348	770	654
2010-2011	717	-442	1 117	43
2011-2012	676	-413	1 051	38
2012-2013	373	-780	1 096	58
2013-2014	136	-946	1 054	28
2014-2015	209	-932	1 055	87
2002-2015	7 633	-8 164	12 987	2 810

由表5可知,研究期间,浙江省生态足迹总量均较上年有显著增加,其中2005年和2006年的生态足迹增量超过了1 000 万ghm<sup>2</sup>,2002—2015年间浙江省生态足迹总量累计增加7 633 万ghm<sup>2</sup>。

从增长模式效应看,除2005年外,其余年份均为负值,说明研究期间浙江省经济增长模式不断优化,集约化生产程度逐渐提升,较大幅度减少了生态足迹。2002—2015年间由于经济增长模式优化引起的生态足迹总量下降为8 164 万ghm<sup>2</sup>,其中2010年最为明显,生态足迹下降了1 348 万ghm<sup>2</sup>。这主要是由于生态足迹强度下降所引起的。2002—2015年,浙江省生态足迹强度从3.333 ghm<sup>2</sup>/万元下降到1.712 ghm<sup>2</sup>/万元,即同样创造1万元GDP,2015年产生的生态足迹要比2002年低1.621 ghm<sup>2</sup>。

从发展水平效应看,所有年份均为正值,说明研究期间浙江省经济发展水平明显提高,人均实际GDP逐年增加,极大地推动了生态足迹增长。2002—2015年间由于经济发展水平提高

导致的生态足迹增量为 12 987 万 $\text{ghm}^2$ , 其中 2006—2008 年和 2011—2015 年期间每年的增量均超过 1 000 万 $\text{ghm}^2$ . 这主要是由于浙江省经济快速发展导致的. 2002—2015 年间, 浙江省实际 GDP(1978 年价格)从 2 356 亿元增加到 9 043 亿元, 年均增速为 10.90%; 人均实际 GDP 从 0.548 万元/人增加到 1.633 万元/人, 年均增速为 8.76%. 李正泉等<sup>[29]</sup>利用回归分析方法也得出了类似的结论, 认为生态足迹与富裕程度(人均 GDP)呈显著性对数关系增长趋势.

从人口规模效应看, 所有年份均为正值, 说明研究期间浙江省人口数量不断增加, 一定程度上刺激了生态足迹增长. 2002—2015 年间由于人口规模扩张导致的生态足迹增量为 2 810 万 $\text{ghm}^2$ , 其中 2005 年和 2010 年的增量在 500 万 $\text{ghm}^2$  以上. 这与浙江省人口数量波动息息相关. 2002—2015 年, 浙江省人口数量从 4 303 万人增加到 5 539 万人, 增加了 1 236 万人, 年均增速为 1.96%.

### 3.2 不同地区分解结果

进一步对浙江省不同地区生态足迹进行因素分解, 结果如表 6 所示.

**表 6 浙江省不同地区生态足迹因素分解结果**

Tab. 6 Decomposition results of the ecological footprint in different areas of

地区	Zhejiang Province			
	总效应	增长模式效应	发展水平效应	人口规模效应
杭州	1 158	-800	1 339	619
宁波	1 732	-463	1 588	607
温州	846	-569	747	668
嘉兴	904	-158	838	224
湖州	395	-276	569	102
绍兴	603	-419	773	250
金华	734	-279	681	331
衢州	367	-48	360	56
舟山	155	-163	273	45
台州	622	-438	705	356
丽水	116	-145	223	38

从总效应看, 2002—2015 年间, 各地区生态足迹均有显著增加. 其中, 杭州和宁波的生态足迹增量在 1 000 万 $\text{ghm}^2$  以上; 温州、嘉兴、绍兴、金华和台州的生态足迹增量在 500 万~1 000 万 $\text{ghm}^2$  之间; 湖州、衢州、舟山和丽水的生态足迹增量小于 500 万 $\text{ghm}^2$ , 丽水为最低的 116 万 $\text{ghm}^2$ .

从增长模式效应看, 所有地区均为负值, 说明研究期间浙江省各地区经济增长模式均有所优化, 集约型增长态势明显. 增长模式效应较大的地区包括杭州、宁波、温州、绍兴和台州等地区, 生态足迹下降均超过 400 万 $\text{ghm}^2$ , 其中最大的是杭州, 生态足迹下降 800 万 $\text{ghm}^2$ ; 增长模式效应较小的地区包括嘉兴、衢州、舟山和丽水等地区, 生态足迹下降均小于 200 万 $\text{ghm}^2$ , 其中最小的是衢州, 生态足迹下降仅 48 万 $\text{ghm}^2$ . 增长模式效应为负主要是由生态足迹强度下降引起的. 以杭州和衢州为例, 2002—2015 年间, 杭州的生态足迹强度从 2.827  $\text{ghm}^2$ /万元下降为 1.212  $\text{ghm}^2$ /万元, 而衢州的生态足迹强度则从 3.114  $\text{ghm}^2$ /万元下降到 2.246  $\text{ghm}^2$ /万元.

从发展水平效应看, 所有地区均为正值, 说明研究期间各地区经济发展水平不断提高, 推动了生态足迹增长. 发展水平效应最大的两个地区为宁波和杭州, 生态足迹增量分别为 1 588 万 $\text{ghm}^2$  和 1 339 万 $\text{ghm}^2$ ; 发展水平效应较小的地区包括衢州、舟山和丽水等, 生态足迹增量在 500 万 $\text{ghm}^2$  以下, 最小的是丽水, 其生态足迹增量仅为 223 万 $\text{ghm}^2$ . 发展水平效应为正主要

是由各地区人均实际 GDP 增加所引起。以宁波和丽水为例, 2002—2015 年间, 宁波人均实际 GDP(1978 年价格)从 0.673 万元增加到 2.150 万元, 而丽水人均实际 GDP 则从 0.272 万元增加到 1.082 万元。

从人口规模效应看, 所有地区均为正值, 说明研究期间各地区人口数量不断增加, 推动了生态足迹增长。人口规模效应较大的地区包括杭州、宁波和温州, 其生态足迹增量均在 600 万  $\text{ghm}^2$  以上, 其中温州最大, 生态足迹增量为 668 万  $\text{ghm}^2$ ; 人口规模效应较小的地区包括湖州、衢州、舟山和丽水等地区, 其生态足迹增量均在 150 万  $\text{ghm}^2$  以下, 其中丽水最小, 生态足迹增量仅为 38 万  $\text{ghm}^2$ 。人口规模效应为正主要是由于各地区人口数量增加所引起。以温州和丽水为例, 2002—2015 年间, 温州人口数量由 612 万人增加到 912 万人, 增加了 300 万人; 丽水人口数量由 189 万人增加到 214 万人, 增加了 25 万人。

#### 4 政策启示

随着经济发展, 浙江省生态足迹呈快速增长态势, 生态赤字也逐年上升, 生态安全形势比较严峻, 但生态效率有所提高, 经济可持续发展能力提升。从不同地区看, 除丽水市尚处于安全状态外, 其余 10 个地区的生态安全均受到不同程度的威胁。因素分解结果显示, 浙江及所辖各市经济增长模式均有所优化, 抑制了生态足迹增长, 而经济发展水平和人口规模扩张则是生态足迹的驱动力量。

未来相当长的时期内, 浙江省的生态压力仍将十分巨大, 政府需要通过各种途径减缓生态足迹的增长速度, 降低生态承载强度。基于上述研究结论, 本文提出如下政策建议: 第一, 提高能源利用效率, 优化能源消费结构。化石能源消费足迹占据浙江省生态足迹“半壁江山”, 要缓解生态压力, 必须要抑制化石能源消费足迹增长。一方面要加大能源领域技术研发力度, 推动各行业节能技术广泛应用, 提高能源利用效率; 另一方面, 逐步增加太阳能、风能和水能等清洁能源的消费比重, 不断优化能源消费结构。第二, 加大林产品开发力度。浙江省林地生态承载力高于生态足迹, 林业生产尚处于可持续发展阶段, 应进一步加大林产品开发力度, 发挥比较优势, 提高林产品的市场占有率。第三, 加强生态保护和修复, 完善区际生态补偿机制。浙江省生态环境压力很大, 生态赤字比较严重, 必须加强生态保护和修复, 以生态承载力为基础, 划定生态红线, 推动主体功能区规划实施。同时, 按照“谁保护、谁受益, 谁破坏、谁付费”的原则, 建立区域间横向生态补偿制度, 对生态承载力净输出区(如丽水市)进行生态补偿。第四, 加强生态文明建设体制机制改革。积极探索生态产权制度改革, 推进市场化生态补偿机制建设; 加快资源税费和消费税改革, 建立有利于减缓生态足迹的生态税费机制; 逐步建立对生态环境损害的责任追究机制。

#### [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] WACKERNAGEL M, REES W E. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [3] STUART H, MATT W, BEN C. Global biodiversity: Indicators of recent declines[J]. *Science*, 2010, 328(5982): 1164-1168.
- [4] LUBCHENCO J. Entering the century of the environment: A new social contract for science[J]. *Science*, 1998, 279(5350): 491-497.
- [5] BIAN Z F, MIAO X X, LEI S G, et al. The challenges of reusing mining and mineral processing wastes[J]. *Science*, 2012, 337(6095): 702-703.
- [6] 周涛, 王云鹏, 龚健周, 等. 生态足迹的模型修正与方法改进 [J]. *生态学报*, 2015, 35(14): 4592-4603.
- [7] 刘超, 许月卿, 孙丕苓, 等. 基于改进三维生态足迹模型的张家口市生态可持续性评价 [J]. *水土保持通报*, 2016, 36(6): 169-176.
- [8] 靳相木, 柳乾坤. 基于三维生态足迹模型扩展的土地承载力指数研究——以温州市为例 [J]. *生态学报*, 2017, 37(9): 1-12.

- [9] 张星星, 曾辉. 珠江三角洲城市群三维生态足迹动态变化及驱动力分析 [J]. 环境科学学报, 2017, 37(2): 771-778.
- [10] 杨青, 逮承鹏, 周锋, 等. 基于能值-生态足迹模型的东北老工业基地生态安全评价——以辽宁省为例 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1594-1602.
- [11] 谭德明, 何红渠. 基于能值生态足迹的中国能源消费可持续性评价 [J]. 经济地理, 2016, 36(8): 176-182.
- [12] 杨灿, 朱玉林. 基于能值生态足迹改进模型的湖南省生态赤字研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(7): 36-44.
- [13] WACKERNAGEL M, MONFREDA C, ERB K H, et al. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines and South Korea for 1961-1999: Comparing the conventional approach to an actual land area approach[J]. Land Use Policy, 2003, 21(3): 261-269.
- [14] VAN V D, SMEETS E W. Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands[J]. Ecological Economics, 2000, 34(1): 115-130.
- [15] BAGLIANI M, GALLI A, NICCOLUCCI V, et al. Ecological footprint analysis applied to a subnational area: the case of the province of Siena in Italy[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 86(2): 354-364.
- [16] HABERL H, ERB K H, KRAUSMANN F. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: The case of Australia 1926-1995[J]. Ecological Economics, 2001, 38(1): 25-45.
- [17] 吴德存, 刘金平, 杨贺. 中国省域生态足迹空间效应及社会经济因素研究——基于空间杜宾面板 STIRPAT 模型 [J]. 经济问题探索, 2017(3): 162-169.
- [18] 王俊杰. 中国省级生态压力与生态效率综合评价——基于生态足迹方法 [J]. 当代财经, 2016(8): 13-15.
- [19] 胡正李, 葛建平, 韩爱萍. 中国大都市生态足迹的比较研究——以北京、上海、天津和重庆为例 [J]. 现代城市研究, 2017(2): 84-93.
- [20] 张童, 陈爽, 姚士谋, 等. 南京市生态足迹时空特征及脱钩效应分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(3): 350-358.
- [21] 史丹, 王俊杰. 基于生态足迹的中国生态压力与生态效率测度与评价 [J]. 中国工业经济, 2016(5): 5-21.
- [22] 曹淑艳, 谢高地. 城镇居民食物消费的生态足迹及生态文明程度评价 [J]. 自然资源学报, 2016, 31(7): 1073-1085.
- [23] 李赫龙, 林佳, 苏玉萍, 等. 福建省水资源生态足迹时空差异及演变特征 [J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2015, 31(6): 109-117.
- [24] 孟丽红, 叶志平, 袁素芬. 江西省 2007-2011 年水资源生态足迹和生态承载力动态特征 [J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 256-261.
- [25] 赵忠瑞, 解传奇, 丹曲, 等. 西藏水资源生态足迹评价与动态预测 [J]. 浙江大学学报(理学版), 2015, 42(5): 559-566.
- [26] 曹瑞芬, 张安录, 万珂. 耕地保护优先序省际差异及跨区域财政转移机制——基于耕地生态足迹与生态服务价值的实证分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(8): 34-42.
- [27] 张红, 陈嘉伟, 周鹏. 基于改进生态足迹模型的海岛城市土地承载力评价——以舟山市为例 [J]. 经济地理, 2016, 36(6): 155-161.
- [28] 王中航, 周传斌, 王如松, 等. 中国典型特大城市交通的生态足迹评价 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(4): 1129-1135.
- [29] 李正泉, 马浩, 肖晶晶, 等. 浙江省 1995-2013 年生态足迹动态变化探析 [J]. 生态科学, 2015, 34(6): 170-176.
- [30] OECD. Organization for economic co-operation and development eco-efficiency[R]. Geneva: OECD, 1998.
- [31] 胡巧玲. 基于生态效率的吉林省农业循环经济发展模式研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [32] HOFFEN J. Measuring the eco-efficiency of welfare generation in a national economy[D]. Tampere: Tampere University, 2001.
- [33] 沈伟腾, 胡求光. 浙江省生态足迹测算及其时空分异特征分析 [J]. 科技与管理, 2017, 19(3): 7-14.

(责任编辑: 张 晶)