

---

# 长江经济带城市生态承载力时空格局研究\*<sup>1</sup>

王维<sup>1, 2, 3</sup> 张涛<sup>1, 2, 3</sup> 王晓伟<sup>1, 2, 3</sup> 文春生<sup>1, 2, 3</sup>

1. 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 湖北武汉 430079;
2. 华中师范大学可持续发展研究中心, 湖北武汉 430079;
3. 华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北武汉 430079)

**【摘要】**:生态承载力评价研究的开展,对于促进区域可持续发展具有重要的指导意义。以长江经济带130地市为例,从生态支撑力和生态压力两方面对生态承载力进行量化研究,通过构建较为完整的生态承载力综合评价指标体系,利用熵值法对评价指标进行赋权,对长江经济带城市生态支撑力、生态压力和生态承载力状况进行评价,探讨了2003、2008和2013年长江经济带生态支撑力、生态压力和生态承载力的空间格局及其影响因素。结果表明:2003~2013年间长江经济带生态支撑力逐渐上升,空间格局由上、下、中游梯度递减向中、上、下游梯度递减转变;生态压力持续增大,空间格局均为下、中、上游梯度递减;生态承载力先下降后上升,空间格局由上、中、下游梯度递减向中、上、下游梯度递减转变。生态承载力影响因素由环境治理和节能减排主导转变为由社会进步和经济发展主导。

**【关键词】**:生态支撑力;生态压力;生态承载力;时空格局;影响因素

**【中图分类号】**:X24;K903 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2017)12-1963-09

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201712004

目前,中国正处于转型发展的新时期,在社会、经济、文化取得长足发展的同时,出现了资源短缺、生态恶化等与人类可持续发展相悖的问题。为了实现社会发展、经济增长和生态优化的和谐共生,中国共产党第十八次全国代表大会将生态文明建设纳入“五位一体”的中国特色社会主义事业总体布局,意图通过整体素质的提高带动生态文明建设的发展。中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要明确指出:“坚持生态优先、绿色发展的战略定位,把修复长江生态环境放在首要位

---

<sup>1</sup>收稿日期:2017-02-23; 修回日期:2017-04-17

**基金项目**:教育部人文社会科学基金项目(15YJCZH175) [Humanities and Social Science Foundation of the Ministry of Education of China(15YJCZH175)]; 华中师范大学优秀博士学位论文培育计划项目(2016YBZZ004) [Funds for Excellent Doctoral Dissertation Cultivation Program in Central China Normal University(2016YBZZ004)]; 华中师范大学研究生教育创新支助项目(2016CXZZ21) [Graduate Education Innovation Support Project in Central China Normal University(2016CXZZ21)]; 华中师范大学研究生教育创新资助项目(2017CXZZ005) [Graduate Education Innovation Support Project in Central China Normal University(2017CXZZ005)]

**作者简介**:王维(1989~),男,博士研究生,主要研究方向为区域可持续发展。E-mail:976410969@qq.com

置,推动长江上中下游协同发展、东中西部互动合作,建设成为我国生态文明建设的先行示范带、创新驱动带、协调发展带”。长江经济带发展上升为国家战略的同时,也担当着我国生态文明建设的排头兵,切实研究长江经济带城市生态承载力对于加深对长江经济带生态文明建设情况大有裨益。

生态承载力研究作为度量可持续发展能力的重要手段之一,其理论及研究方法深受国内外可持续发展研究工作者的关注,成为生态学、地理学与环境科学的交叉前沿领域<sup>[1]</sup>。近年来,国内外学者以不同的研究方法从不同的时空尺度对其进行了不同侧面的研究:①研究方法,主要包括综合总供给—综合总需求模型<sup>[2]</sup>、状态空间法和人工神经网络模型<sup>[3]</sup>和压力—状态—响应概念模型<sup>[4]</sup>等;②研究范围,囊括了湖区<sup>[5]</sup>、山区<sup>[6]</sup>和谷区<sup>[7]</sup>等;③研究尺度,分为空间尺度和时间尺度,空间尺度上包括省级<sup>[8]</sup>和地级<sup>[9]</sup>等;时间尺度上既有单个时间节点<sup>[10]</sup>的研究也有时间段<sup>[11]</sup>的研究;④研究对象,主要包括水生态承载力<sup>[12]</sup>、耕地生态承载力<sup>[13]</sup>和湿地生态承载力<sup>[14]</sup>等;⑤研究内容,主要有生态承载力概念与内涵<sup>[15]</sup>、生态承载力计算与评价<sup>[16]</sup>和生态承载力空间分异<sup>[17]</sup>等。研究成果丰富,但大多数成果是从生态弹性力、资源承载力和环境承载力的角度对生态承载力进行评价研究,较少从生态、资源、环境、社会和经济的综合角度进行综合评价研究,且少有涉及影响因素方面的研究。因此,本文以长江经济带 130 地市为例,通过构建较为完整的生态承载力综合评价指标体系,分析 2003、2008 和 2013 年生态承载力的时空格局变化状况,探讨长江经济带生态承载力变化的影响因素,以期对长江经济带生态文明建设和区域可持续发展提供决策参考。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

文中分析数据均来自于《中国城市统计年鉴》、《上海市统计年鉴》、《江苏省统计年鉴》、《浙江省统计年鉴》、《安徽省统计年鉴》、《江西省统计年鉴》、《湖北省统计年鉴》、《湖南省统计年鉴》、《重庆市统计年鉴》、《四川省统计年鉴》、《贵州省统计年鉴》、《云南省统计年鉴》、《中国国民经济和社会发展统计公报》、《中国区域经济统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》(2004 年、2009 年、2014 年),对于个别缺失的数据,利用前后两年或相邻地区数据通过插值计算得到。空间分析的市域边界图由《上海市地图集》、《江苏省地图集》、《浙江省地图集》、《安徽省地图集》、《江西省地图集》、《湖北省地图集》、《湖南省地图集》、《四川省地图集》、《重庆市地图集》、《贵州省地图集》和《云南省地图集》(2010 年)拼合而成,所选地市均为城市编制,并不包含自治州。为保证研究区域的全覆盖和数据上的连续性,对相关调整的区域进行合并处理。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 评价指标体系的建立

根据城市生态承载力系统涉及的社会、经济和环境等方面,遵循全面性、系统性、科学性、可比性和可操作性等指标体系构建原则,借鉴已有的相关成果<sup>[4, 10, 11]</sup>,构建本文的生态承载力评价指标体系(表 1)。该体系总共可分为 4 个层面,第一层面为目标层,即为生态承载力;第二层面为准则层,包括生态支撑力和生态压力 2 个方面;第三层面为因素层,共有气候、水文、植被覆盖、资源供给、环境治理、社会进步、经济发展、资源消耗、环境破坏、人口压力和经济增长等 11 个影响因素;第四层面即为指标层,包含 45 项具体指标。

表 1 长江经济带生态承载力评价指标体系

目标层	准则层	因素层	指标层	权重
生态支撑力	气候	水文	年平均降雨量 (mm)	0.036
			地表水资源 (亿 m <sup>3</sup> )	0.030
	植被覆盖	资源供给	地下水资源 (亿 m <sup>3</sup> )	0.034
			森林覆盖率 (%)	0.040
	环境治理	人均耕地面积 (hm <sup>2</sup> )	0.016	
			人均公园绿地面积 (m <sup>2</sup> )	0.020
		人均原煤产量 (t/人)	0.020	
		工业废水排放达标率 (%)	0.017	
		工业固废综合利用率 (%)	0.027	
		工业 S02 排放达标率 (%)	0.024	
		城市生活污水处理率 (%)	0.022	
		生活垃圾无害化处理率 (%)	0.015	
		城市绿化覆盖率 (%)	0.019	
		空气质量优于二级及以上天数比重 (%)	0.020	
	社会进步	贫困发生率 (%)	0.022	
			人均预期寿命 (岁)	0.020
		农民人均纯收入 (元)	0.025	
		城镇人均可支配收入 (元)	0.019	
		人均医疗卫生费用投入 (元)	0.016	
		人均文化事业投入费用 (元)	0.014	
普通高等院校本专科毕业生人数 (人)		0.015		
科学教育支出占地方财政一般预算支出比重 (%)		0.018		
人均 GDP (元)		0.045		
生态承载力		经济发展	第三产业占 GDP 比重 (%)	0.042
	社会消费品零售总额 (亿元)		0.057	
	资源消耗	万元 GDP 能耗 (吨标煤)	0.022	
		万元 GDP 电耗 (kW ?h)	0.018	
		煤炭消费占能源消费比重 (%)	0.016	
		居民人均生活用水量 (m <sup>3</sup> /人)	0.017	
		居民人均生活用电量 (kW ?h/人)	0.024	
		工业废水排放量 (万 t)	0.029	
环境破坏	工业粉尘排放量 (万 t)	0.020		
	工业固废产生量 (万 t)	0.032		
	so <sub>2</sub> 排放量 (万 t)	0.022		
	化学需氧量排放量 (万 t)	0.028		
	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	0.010		
	人口自然增长率 (%)	0.006		
生态压力	人口压力	采矿业从业人员比重 (%)	0.008	
		城镇失业率 (%)	0.008	
	城市化率 (%)	0.009		
	城镇居民生活恩格尔系数 (%)	0.011		

经济增长	农村居民恩格尔系数 (%)	0.023
	采矿业产值占工业总产值比重 (%)	0.021
	第二产业占 GDP 比重 (%)	0.020
	地区生产总值增长率 (%)	0.026

### 1.2.2 数据的标准化处理

为了排除原始数据中数量级大小不同而产生的影响，本文采用极差标准化方法对原始数据进行标准化处理。又因生态支撑力指标和生态压力指标存在正逆之分，所以两种处理方式存在不同，计算公式分别为：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

正指标：

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}$$

逆指标：

式中： $x'_{ij}$ 为标准化处理后的指标值； $x_{ij}$ 为第  $i$  项指标的第  $j$  个观测值； $\min(x_{ij})$ 为该项指标中的最小值； $\max(x_{ij})$ 为该项指标中的最大值。

### 1.2.3 指标权重的确立

本文采用熵值法确定指标权重，步骤如下：

(1) 为保证赋值数有意义，将各标准化值加上 0.001，由此得到的  $x'_{ij}$  为：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} + 0.001,$$

正指标为：

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} + 0.001$$

逆指标为：

(2) 计算第  $i$  个系统第  $j$  项指标的比重  $S_{ij}$ ：

$$S_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{j=1}^m x'_{ij}}$$

(3) 计算第 j 项指标的熵值  $h_j$ :

$$h_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m S_{ij} \ln S_{ij}$$

(4) 根据熵值  $h_j$  计算差异度  $a_j$  的值:

$$a_j = 1 - h_j$$

(5) 计算指标权重  $w_j$ :

$$w_j = \frac{a_j}{\sum_{j=1}^p a_j}$$

根据公式计算得出长江经济带生态承载力评价系统中各指标权重(表 1)。

#### 1.2.4 评价模型的建立

城市生态承载力评价系统包含城市生态支撑力和城市生态压力两个子系统, 本文采用综合评价法对其进行评价, 计算步骤如下:

(1) 生态支撑力指数表达式:

$$ESC = \sum_{i=0}^n C_i \times W_i$$

式中:ESC 为生态支撑力指数;  $C_i$  为生态系统中各支撑要素;  $W_i$  为要素 i 对应的权重值。ESC 值越大, 表示生态支撑力越强。

(2) 生态压力指数表达式:

$$EP = \sum_{i=0}^n P_i \times W_i$$

式中:EP 为生态压力指数;  $P_i$  为生态系统中各压力要素;  $W_i$  为要素  $i$  对应的权重值。EP 值越大, 表示生态压力越大。

(3) 生态承载力指数表达式:

$ECC = \alpha ESC + \beta EP$ ; 式中:ECC 为生态承载力指数;  $\alpha$ 、 $\beta$  为贡献系数, 考虑到本文生态支撑力与生态压力贡献度对等, 故二者皆取值 0.5。ECC 值越大, 表示生态承载力越强。

### 1.2.5 影响因素的测定

选取生态支撑力和生态压力系统各指标数据与生态承载力数值进行相关分析, 探讨其对生态承载力的影响, 相关系数表达式:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

式中: $n$  为样本总数,  $x_i$  和  $y_i$  为影响因素和生态承载力数值,  $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  为影响因素和生态承载力系统平均值。R 取值范围是  $[-1, 1]$ , 如  $R > 0$ , 则说明二者正相关;  $R < 0$ , 则二者负相关;  $R = 0$ , 二者不相关;  $|R|$  的值越接近于 1, 表示二者相关性越强;  $|R|$  的值越接近于 0, 表示二者相关性越弱。

## 2 结果与分析

首先将计算所得数值划分为 3 个阶段, 0.00~0.35 为低级阶段, 0.35~0.70 为中级阶段, 0.70~1.00 为高级阶段。然后把长江经济带划分为 3 个区域, 长江下游地区, 包括上海市、江苏省、浙江省和安徽省所辖的 41 地市; 长江中游地区, 包括江西省、湖北省和湖南省所辖的 42 个地市; 长江上游地区, 包括重庆市、四川省、贵州省和云南省所辖的 47 个地市。最后为了直观的进行分析, 利用 ArcGIS 软件将计算所得数值进行可视化表达。

### 2.1 生态支撑力

从图 1 可以看出, 2003 年长江经济带城市生态支撑力大多处于低级阶段, 处于中级阶段的地市仅有淮安市 (0.416)、盐城市 (0.442)、宿迁市 (0.380)、蚌埠市 (0.370)、滁州市 (0.407)、宿州市 (0.369)、亳州市 (0.410)、荆门市 (0.390)、雅安市 (0.461)、保山市 (0.455)、临沧市 (0.452)、红河哈尼族彝族自治州 (0.493) 和德宏州 (0.437) 13 个城市; 2008 年长江经济带城市生态支撑力得到加强, 虽然没有地市达到高级阶段, 但中级阶段增加了湘潭市 (0.351)、曲靖市 (0.350)、玉溪市 (0.350)、文山市 (0.396)、西双版纳傣族自治州 (0.364) 和怒江傈僳族自治州 (0.372) 6 个城市; 2013 年长江经济带城市生态支撑力得到进一步加强, 吉安市 (0.908)、宜春市 (0.805)、抚州市 (0.702)、常德市 (1.000)、张家界市 (0.713)、益阳市 (0.822)、永州市 (0.790)、遵义市 (0.977)、

毕节市(0.842)、铜仁市(0.919)、凯里市(0.775)和都匀市(0.815)12个城市进入高级阶段。

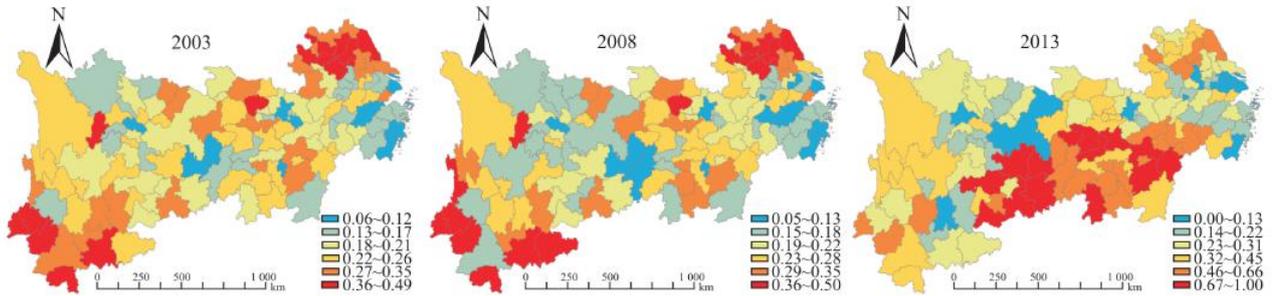


图1 长江经济带城市生态支撑力时空分布

Fig. 1 Spatial and Temporal Distribution of Urban Ecological Support in the Yangtze River Economic Zone

从空间分布来看, 2003年长江经济带下游地区生态支撑力指数均值为0.230, 中游地区为0.211, 上游地区为0.246, 呈现出长江经济带上、下、中游地区生态支撑力梯度递减的空间格局。2008年长江经济带下游地区生态支撑力指数均值为0.227, 较2003年下降1.304%, 中游地区为0.221, 较2003年上涨4.739%; 上游地区为0.247, 较2003年上升0.407%。2003~2008年间长江经济带中上游地区生态支撑力出现上升, 上升幅度为中游地区高于上游地区, 生态支撑力分布格局未变, 依然是上、下、中游梯度递减。2013年长江经济带下游地区生态支撑力指数均值为0.269, 较2008年增长18.502%; 中游地区为0.482, 较2008年上涨118.099%; 上游地区为0.351, 较2008年上升42.105%。2008~2013年间长江经济带下、中、上游地区生态支撑力均呈现上升趋势, 涨幅为中游地区高于上游地区高于下游地区, 生态支撑力分布格局转变为中、上、下游梯度递减, 区域生态支撑力差距逐渐减小。

## 2.2 生态压力

从图2可以看出, 2003年长江经济带城市生态压力大多处于低级阶段, 生态压力处于中低级阶段的地市仅有上海市(0.563); 2008年长江经济带城市生态压力上升缓慢, 处于中级阶段的的城市仍然只有上海市(0.579); 2013年长江经济带城市生态压力上升速度加快, 南京市(0.324)、无锡市(0.366)、苏州市(0.326)、嘉兴市(0.303)、武汉市(0.313)和成都市(0.308)进入中级阶段, 而上海市(1.000)则进入高级阶段。

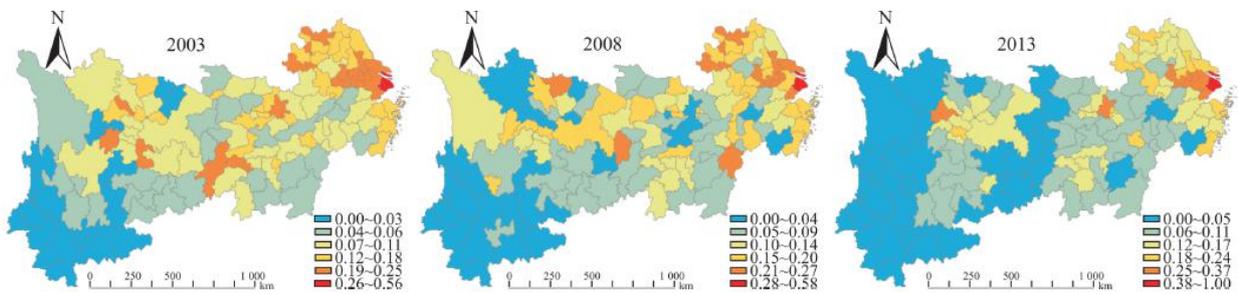


图2 长江经济带城市生态压力时空分布

Fig. 2 Temporal and Spatial Distribution of Urban Ecological Pressure in the Yangtze River Economic Zone

从空间分布来看, 2003年长江经济带下游地区生态压力指数均值为0.166, 中游地区为0.095, 上游地区为0.059, 呈现出

长江经济带下、中、上游地区生态压力梯度递减的空间格局。2008年长江经济带下游地区生态压力指数均值为0.174，较2003年增长4.819%，中游地区为0.097，较2003年上涨2.105%；上游地区为0.067，较2003年上升13.559%。2003~2008年间长江经济带下、中、上游地区生态压力均出现上升，上升幅度为上游地区大于下游地区大于中游地区，生态压力分布格局依然为下、中、上游梯度递减。2013年长江经济带下游地区生态压力指数均值为0.187，较2008年增长7.471%；中游地区为0.092，较2008年下降5.155%；上游地区为0.068，较2008年上升1.493%。2008~2013年间长江经济带上下游地区生态压力持续上升，幅度为下游地区大于上游地区，生态压力分布格局依旧是下、中、上游梯度递减，区域生态压力差距逐渐增大。

### 2.3 生态承载力

从图3可以看出，2003年长江经济带城市生态承载力大多处于中级阶段，处于高级阶段的有雅安市(0.731)、保山市(0.716)、临沧市(0.721)、红河哈尼族彝族自治州(0.735)和德宏州(0.717)；2008年长江经济带城市生态承载力出现下降，其中雅安市(0.637)从高级阶段下降为中级阶段；2013年长江经济带城市生态承载力逐渐加强，江西省、湖南省和贵州省多个城市进入高级阶段。

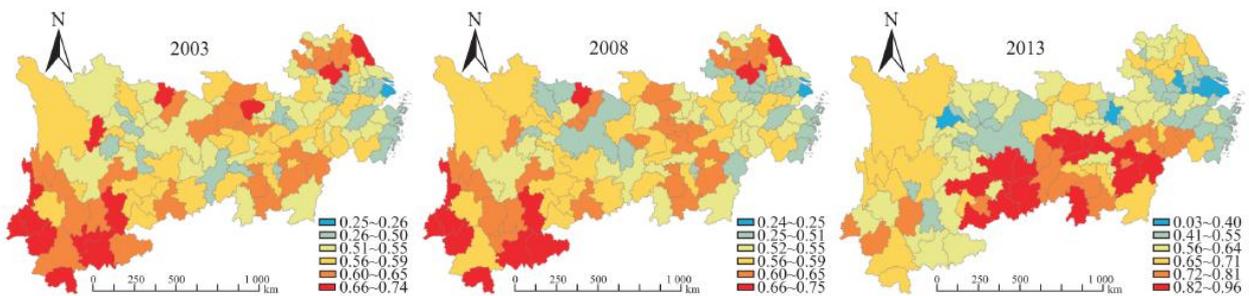


图3 长江经济带城市生态承载力时空分布

Fig. 3 Temporal and Spatial Distribution of Urban Ecological Carrying Capacity in the Yangtze River Economic Zone

从空间分布来看，2003年长江经济带下游地区生态承载力指数均值为0.532，中游地区为0.558，上游地区为0.594，呈现出长江经济带上、中、下游地区生态承载力梯度递减的空间格局。2008年长江经济带下游地区生态承载力指数均值为0.527，较2003年下降0.940%，中游地区为0.562，较2003年上涨0.717%；上游地区为0.591，较2003年下降0.505%。2003~2008年间长江经济带上下游地区生态承载力均出现下降，下降幅度为下游地区大于上游地区，生态承载力分布格局仍为上、中、下游地区梯度递减。2013年长江经济带下游地区生态承载力指数均值为0.541，较2008年增长2.657%；中游地区为0.695，较2008年上涨23.665%；上游地区为0.642，较2008年上升8.629%。2008~2013年间长江经济带下、中、上游地区生态承载力呈现上升趋势，涨幅为中游地区高于上游地区高于下游地区，生态承载力分布格局转变为中、上、下游梯度递减，区域生态承载力差距逐渐增大。

### 2.4 影响因素分析

根据相关系数公式计算得出生态支撑力和生态压力各系统要素对生态承载力的影响具有明显的时空差异。如图4所示，2003年长江经济带生态承载力相关性最强的十大因素为生活垃圾无害化处理率(0.679)、污水处理厂集中处理率(0.550)、工业废物综合利用率(0.533)、万元GDP水耗量(0.423)、人均地区生产总值(0.417)、万元GDP电耗量(0.392)、地区生产总值(0.309)、固定资产投资(0.307)、建成区绿化覆盖率(0.296)和实际使用外资金额(0.296)，可以明显看出提升生态承载力的主要途径为提高环境治理率和降低单位GDP能耗值，经济发展水平较低，降低生态压力是生态承载力提升的主要途径；2008年相关性十大因素为污水处理厂集中处理率(0.723)、固定资产投资(0.626)、生活垃圾无害化处理率(0.609)、普通高等学校数(0.608)、普通

高等学校在校学生数(0.588)、普通高等学校专任教师数(0.587)、社会消费品零售总额(0.585)、地区生产总值(0.558)、实际使用外资金额(0.542)和人均地区生产总值(0.510),在经济快速发展时期,生态承载力的提升主要依靠环境治理水平和地区教育水平(环保意识),影响生态承载力的主要因素开始由降低生态压力向提升生态支撑力转变;2013年影响生态承载力的10大因素为普通高等学校数(0.834)、普通高等学校专任教师数(0.823)、社会消费品零售总额(0.810)、普通高等学校在校学生数(0.806)、地区生产总值(0.779)、固定资产投资(0.758)、建成区绿化覆盖面积(0.757)、供水总量(0.750)、实际使用外资金额(0.745)和金融机构存款(0.735),社会素质的提高和经济实力的增强是城市生态承载力提升的重要基础,生态承载力主要影响因素转变为由社会进步和经济发展主导。

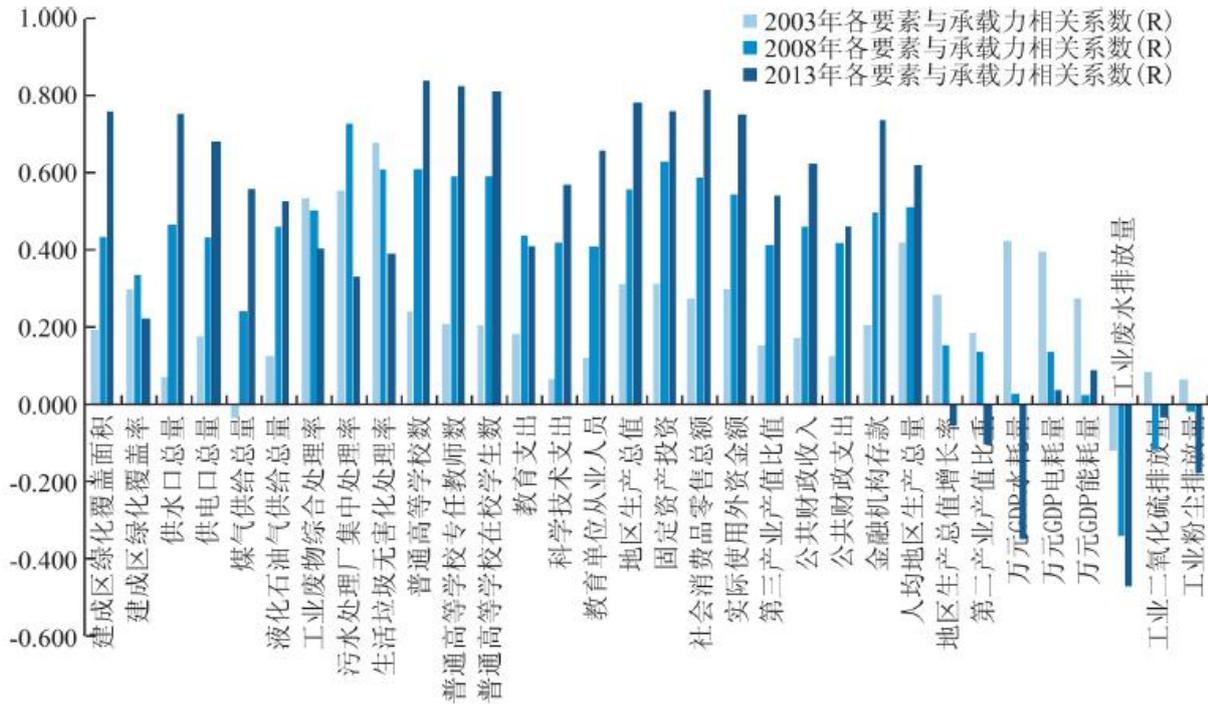


图4 生态承载力与影响因子的相关系数(R)

Fig. 4 Correlation Coefficient of Ecological Carrying Capacity and Influence Factor (R)

### 3 结论与建议

(1)通过对长江经济带2003、2008和2013年生态支撑力、压力、承载力及其影响因素的分析,可以得出如下结论:①生态支撑力持续加强,涨幅为中游地区大于上游地区大于下游地区,空间格局由上游地区高于下游地区高于中游地区向中游地区高于上游地区高于下游地区转变,区域间差距逐渐减小;②生态压力出现持续上升,涨幅为下游地区大于上游地区大于中游地区,空间格局均为下游地区高于中游地区高于上游地区,区域间差距逐渐增大;③生态支撑力先下降后上升,涨幅为中游地区大于上游地区大于下游地区,空间格局由上游地区高于中游地区高于下游地区向中游地区高于上游地区高于下游地区转变,区域间差距逐渐增大;④长江经济带生态承载力影响因素由环境治理和节能减排主导转变为由社会进步和经济发展主导,生态承载力的提升逐渐从减少污染排放的初级阶段发展成为提升环境品质的高级阶段转变。

(2)本研究初步探讨了长江经济带中下游地区的生态支撑力、生态压力、生态承载力及其影响因素等问题,各地区社会经济水平与生态资源结构各不相同。根据研究结论对三大区域提出如下政策建议:①下游地区作为长江经济带经济龙头区和人口密集区,长期承载着巨大的经济体量和人口重量,生态承载力较低,在人均水资源拥有量和人均耕地面积上显现出相对的不足,

应加强水资源综合利用设施建设和耕地及永久基本农田保护,满足人们日常生活供需所求;另一方面,加强腹地建设,积极发展卫星城镇,舒缓中心城市的人口压力。②中上游地区由于区位及历史原因,经济发展落后于下游地区,提升城市经济实力能有效提高城市生态承载力。在经济新常态的发展趋势下,下游地区产业向中上游地区转移,尤其是资源集约型的第二产业,工业废气的排放成为区域生态承载力下降的主要原因,降低大气污染物要严格控制工业废气排放总量和达标率。③中上游地区作为长江经济带重点生态功能区,区域生态承载台承载力较高且生态资源丰富,由于城市建设活动的影响,区域生态资源系统受到一定程度的破坏。应加强城市生态红线管控,修复破损生态资源,建立长效“保护—利用”健康可持续发展机制;另一方面,依托区域良好的生态资源优势,建立环境友好和资源节约的生态产业链,推进清洁生产消费,从而更好地促进经济发展与生态资源保护的良性运转。

#### 参考文献:

[1] 向芸芸,蒙吉军. 生态承载力研究和应用进展 [J]. 生态学杂志, 2012, 31(11): 2958—2965.

【XIANG Y Y, MENG J J. Advances in research and application of ecological carrying capacity [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31 ( 11) : 2958—2965. 】

[2] 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等. 基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 [J]. 生态学报, 2014, 34(3): 718—726.

【SU P P, YE S F, GUO Z Y, et al. Evaluation of comprehensive carrying capacity of coastal ecosystem based on AD-AS model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (3) : 718 —726. 】

[3] 熊建新,陈端吕,彭保发,等. 基于 ANN 的洞庭湖区生态承载力预警研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(2): 102—107.

【XIONG J X, CHEN D L, PENG B F, et al. Study on ecological carrying capacity of Dongting lake area based on ANN [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2014, 34 (2) : 102—107. 】

[4] 王奎峰,李娜,于学峰,等. 基于 P-S-R 概念模型的生态环境承载力评价指标体系研究——以山东半岛为例 [J]. 环境科学学报, 2014, 34(8): 2133—2139.

【WANG K F, LI N, YU X F, et al. Study on the evaluation index system of ecological environment carrying capacity based on P-S-R concept model [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34 (8) : 2133—2139. 】

[5] 熊建新,彭保发,陈端吕,等. 洞庭湖区生态承载力时空演化特征 [J]. 地理研究, 2013, 32(11): 2031—2040.

【XIONG J X, PENG B F, CHEN D L, et al. Temporal and spatial evolution of ecological carrying capacity in Dongting lake area [J]. Geography Research, 2013, 32 (11) : 2031—2040. 】

[6] 汪玉琼,郭建军,李凯,等. 石羊河流域上游山区生态承载力时空格局动态评价 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(2): 166—172.

【WANG Y Q, GUO J J, LI K, et al. Temporal and spatial patterns of ecological carrying capacity in the upper

---

mountainous area of Shiyang river basin [J]. Journal of Lanzhou University(Natural Sciences), 2013, 49 (2) : 166—172.】

[7] 温敏霞, 刘世梁, 崔保山. 纵向岭谷区生态承载力的时空动态及驱动因子研究 [J]. 科学通报, 2007, 52(11) : 64—70.

【WEN M X, LIU S L, CUI B S. Spatial and temporal dynamics and driving factors of ecological carrying capacity in Longitudinal range-gorge region [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52 (11) : 64—70.】

[8] 赵雪雁. 甘肃省生态承载力评价 [J]. 干旱区研究, 2006, 23(3) : 506—512.

【ZHAO X Y. Evaluation of ecological carrying capacity in Gansu province [J]. Arid Zone Research, 2006, 23 (3) : 506 —512.】

[9] 李翔, 许兆义, 孟伟. 城市生态承载力研究 [J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(2) : 3—7.

【LI X, XU Z Y, MENG W. Study on urban ecological carrying capacity [J]. China Safety Science Journal, 2005, 15 (2) : 3—7.】

[10] 殷培杰, 杜世勇, 白志鹏. 2008 年山东省 17 城市生态承载力分析 [J]. 环境科学学报, 2011, 31(9) : 2048—2057.

【YIN P J, DU S Y, BAI Z P. Analysis of ecological carrying capacity of 17 cities in Shandong province in 2008 [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31 (9) : 2048—2057.】

[11] 陈乐天, 王开运, 邹春静, 等. 上海市崇明岛区生态承载力的空间分异 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(4) : 734—739.

【CHEN L T, WANG K Y, ZOU C J, et al. Spatial differentiation of ecological carrying capacity in Chongming island, Shanghai [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28 (4) : 734 —739.】

[12] 刘子刚, 郑瑜. 基于生态足迹法的区域水生态承载力研究——以浙江省湖州市为例 [J]. 资源科学, 2011, 33(6) : 1083—1088.

【LIU Z G, ZHENG Y. Study on regional water ecological carrying capacity based on ecological footprint method—a case study of Huzhou city, Zhejiang province [J]. Resources Science, 2011, 33 (6) : 1083—1088.】

[13] 施开放, 刁承泰, 孙秀锋, 等. 基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究 [J]. 生态学报, 2013, 33(6) : 1872—1880.

【SHI K F, DIAO C T, SUN X F, et al. Study on the supply and demand balance of cultivated land ecological capacity in Chongqing based on the ecological footprint of cultivated land [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (6) : 1872—1880.】

---

[14] 付强, 李伟业, 冯艳. 基于改进型 PCNN 与模糊算法的湿地生态承载力评价 [J]. 水土保持研究, 2008, 15(4) :56-59.

【FU Q, LI W Y, FENG Y. Evaluation of wetland ecological carrying capacity based on improved PCNN and fuzzy algorithm [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15 (4) :56-59. 】

[15] 王西琴, 高伟, 何芬, 等. 水生态承载力概念与内涵探讨 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2011, 9(1) : 41-46.

【WANG X Q, GAO W, HE F, et al. Discussion on the concept and connotation of water ecological carrying capacity [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2011, 9 (1) : 41-46. 】

[16] 陈栋为, 陈晓宏, 孔兰. 基于生态足迹法的区域水资源生态承载力计算与评价——以珠海市为例 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(6) : 2224-2229.

【CHEN D W, CHEN X H, KONG L. Calculation and evaluation of regional water resources ecological carrying capacity based on ecological footprint method—a case study of Zhuhai city [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18 (6) :2224-2229. 】

[17] 李娜, 马延吉. 辽宁省生态承载力空间分异及其影响因素分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27( 3) : 8-13.

【LI N, MA Y J. Spatial differentiation and its influencing factors of ecological carrying capacity in Liaoning province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(3) : 8-13. 】