

长江经济带生态环境承载状态分析 及其影响因素研究

王兆峰¹ 周颖²¹

(1. 湖南师范大学旅游学院, 湖南 长沙 410081;

2. 湖南应用技术学院, 湖南 常德 415100)

【摘要】: 科学评价生态环境承载力是制定合理生态保护措施的理论前提,对推进生态文明建设具有重要意义,但是评价过程中存在生态环境承载力阈值和人类活动对生态环境的压力值难以量化等问题。基于 2009~2017 年的长江经济带生态数据,借鉴“生态环境质量指数动态评价法”,将生态环境承载力的量化测值转化为生态环境承载力运行状态研究,以此达到评价长江经济带生态环境承载力的目的。结果表明:(1)评价期内,长江经济带生态环境质量呈上升走势,生态环境总体处于可承载状态;11个省市中,上海、浙江、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等省市处于可承载状态,其中贵州生态环境质量指数提升最大,达 86.844;江苏、江西两个省份处于超载状态,安徽省处于基本可承载状态。(2)人均 GDP、第三产业、科技投入占 GDP 比重、环境治理投资额、绿地面积与长江经济带生态环境质量指数呈同增同减趋势且影响程度较大,分别为 7.33、6.92、8.28、6.71、7.21。(3)人口自然增长率、城镇化水平、人口密度、单位 GDP 能耗、单位 GDP 电耗与长江经济带生态环境质量指数成负相关,其中单元 GDP 能耗、电耗对环境质量负面影响程度最大,分别为 6.57、6.26。

【关键词】: 生态环境承载力 生态环境质量指数动态评价法 长江经济带

【中图分类号】: TU984;X24 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)06-1293-09

改革开放以来,中国经济快速发展的同时生态环境质量下行严重。目前资源枯竭、环境污染正成为制约经济发展的瓶颈,生态保护迫在眉睫。国家“十三五”规划提出:“以生态环境质量为核心,以解决生态环境领域突出问题为重点,加大生态环境保护力度,提高资源利用效率,为人民提供更多优质生态产品,协同推进人民富裕、国家富强、中国美丽”,明确生态文明建设总目标。其中科学评价生态环境承载力是制定生态保护措施的理论前提,也是经济社会发展的重要条件^[1]。须先弄清区域生态环境承载力,才能在此基础上制定适宜的环境保护政策,从而加强生态环境保护与经济协同发展。

当前学术界对生态环境承载力的概念、研究方法、研究对象等方面,取得了丰富的研究成果。(1)研究概念:早期承载力思想起源畜牧实践,将其定义为牧场在可恢复限度内能容纳的牲畜数量^[2,3],随着社会学、人类学发展,承载力被用于研究人类发展与自然环境之间的关系,并赋予承载力新的含义:在维持环境系统功能与结构不发生变化的前提下,区域环境系统所能承受的人类经济社会活动的阈值^[4,5,6,7,8,9,10,11,12]。(2)研究方法:测定生态环境承载力阈值的方法,主要有状态空间法、生态足迹法、权和指数法等。状态空间法来源于欧式几何空间法,通过构建三维坐标轴,每个坐标轴代表人类活动轴、环境轴、资源轴,以此确定最

作者简介: 王兆峰(1965~),男,教授,主要研究方向为旅游管理。E-mail: jdwzf@126.com;周颖 E-mail: 1441042305@qq.com
基金项目: 国家自然科学基金项目(41771162);湖南省国内培育一流学科建设项目(5010002)

佳承载曲面, 将位于状态空间中的点与原点的绝对距离作为衡量承载力依据^[13, 14];生态足迹法是评价生态环境承载力方法中应用最多的方法, 它侧重研究人类行为对生态环境的干扰, 衡量区域可持续发展状态和生态承载力评价^[15, 16, 17, 18, 19, 20];权和指数法先对各类指标进行无量纲化, 然后对各层面指标进行加权求和计算指数, 由此测定生态环境承载力^[21, 22, 23, 24]。(3)研究内容: 生态环境承载力研究内容包括: 综合资源分析^[25]、土地承载力研究^[26, 27, 28, 29]、水资源承载力研究^[30, 31, 32], 基于 PSR 模型构建指标体系用以研究区域生态环境承载力^[33, 34, 35, 36, 37, 38]。

当前, 学者从不同的研究内容、用不同的研究方法对区域生态环境承载力展开诸多研究, 但是以往的生态环境承载力研究方法, 如状态空间法、生态足迹法、权和指数法都立足于静态、封闭的生态环境系统^[12], 趋向评判区域生态环境质量发展现状, 缺乏承载力分析, 且多数研究仅从横面运用多种方法分析各区域生态环境承载力, 缺乏纵向深入探测生态环境承载力影响因素。因此本文以长江经济带为研究区域, 基于生态平衡理论和生态稳定性原理, 引入生态环境质量指数并对其进行动态变化趋势回归分析, 通过生态环境承载力运行状态评估长江经济带的生态环境承载力, 并从社会经济、生态质量层面构建生态环境承载力影响因素指标体系, 深入了解长江经济带生态环境发展状态, 为长江经济带生态文明建设提供理论依据。

1 研究区域与指标体系构建

1.1 研究区域

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等 11 省市, 面积约 205 万 km², 占全国的 21%人口且经济总量超过全国的 40%, 生态地位重要、综合实力较强、发展潜力巨大。但是长江经济带历经多年开发建设, 传统的经济发展模式仍未发生根本转变, 生态环境状况仍然面临严峻考验。近年来, 长江经济带生态性土地面积变化巨大, 随着城镇面积增加 39.03%, 农田、森林、草地等生态性土地急剧减少; 长江沿岸工矿企业污染物排放量大, 强度高, 废水排放总量占全国的 40%以上; 长江经济带既是生态功能区, 又是矿产和水资源富集区, 区域经济发展与环境保护矛盾突出^[38]。面临日益恶化的生态环境, 国家高度重视长江经济带生态环境保护, 出台实施《长江经济带发展规划纲要》, 明确长江经济带生态建设战略地位。依据典型性、代表性原则, 本文选取长江经济带作为研究区域, 对区域生态环境承载力进行动态分析, 为缓解经济发展与环境保护矛盾提供理论依据。

1.2 指标体系构建与数据来源

由于生态环境系统具有复杂、开放的特点, 导致难以量化生态环境承载力阈值。本文借鉴已有研究^[12]并结合《生态环境状况评价技术规范》^[39], 从生物丰度、水网密度、植被覆盖、土地退化、环境质量 5 个方面建立生态环境承载力指标体系(表 1), 其中环境质量方面, 考虑到区域实际情况, 主要选取工业“三废”指标衡量环境质量。由于经济、生态的双向影响以及生态环境系统的复杂性, 主要从社会经济、生态质量两大层面构建生态环境承载力影响因素指标体系^[40], 其中考虑研究区域实际情况和数据可行性, 只选取了主要影响因素指标(见表 2)。

本文选取 2009~2017 年长江经济带有关生态和经济数据, 其中大部分数据来源各省市《统计年鉴》《土地变更数据报告书》《土地规划》《环境状况公报》《水资源公报》, 部分缺失数据由插值法填充, 数据完整性和权威性较高。

表 1 生态环境承载力指标

因素层	指标层
生物丰度	林地 (km ²)
	草地 (km ²)

	水域湿地 (km ²)
	耕地 (km ²)
	建设用地 (km ²)
	未利用地 (km ²)
	区域面积 (km ²)
	林地 (km ²)
	草地 (km ²)
	耕地 (km ²)
植被覆盖指数	建设用地 (km ²)
	未利用地 (km ²)
	区域面积 (km ²)
	河流长度 (km)
水网密度	湖库面积 (km ²)
	区域面积 (km ²)
	轻度侵蚀 (km ²)
土地退化	中度侵蚀 (km ²)
	重度侵蚀 (km ²)
	废水排放量 (万 t)
环境质量	废气排放量 (万 t)
	废固排放量 (万 t)

表 2 生态环境承载力影响因素指标

因素层	指标层
经济社会	人口自然增长率 (%)
	人均 GDP (元)
生态质量	城镇化水平 (%)
	人口密度 (人/m ²)

	第三产业比重 (%)
	单位 GDP 电耗 (万 t)
	单位 GDP 能耗 (万 t)
	研发技术投入 (万元)
	工业废气排放 (万 t)
	工业废水排放 (万 t)
	工业废物固体排放 (万 t)
	森林覆盖率 (%)
	绿地面积 (hm ²)
	环境治理额 (亿元)

2 研究方法

2.1 生态环境质量指数

以往研究方法将生态环境视为静态、封闭的系统，忽视生态系统开放性、复杂性特征，由于人类活动对生态环境压力值和生态系统支撑值难以量化，直接确定生态环境承载力阈值困难重重，但是依据生态平衡理论和生态稳定性原理，可将生态环境承载力测定转化为分析生态环境运行状态，若区域生态环境处于可承载力状态，则生态系统处于良性循环状态，反之若处于超承载状态，则生态环境处于非良性循环状态。因此选用生态环境质量指数研究方法评价生态环境承载力，该方法是《生态环境状况评价技术规范》规定的标准技术方法，它不仅评估生态环境承载力现状，还包含对生态环境承载力动态变化趋势评价。具体计算方法如下：

$$EI=0.25 \times \text{index}_{\text{bio}}+0.2 \times \text{index}_{\text{riv}}+0.2 \times \text{index}_{\text{pla}}+0.15 \times (100-\text{index}_{\text{lan}})+0.1 \times \text{index}_{\text{env}} \quad (1)$$

$$\text{index}_{\text{bio}}=A_{\text{bio}} \times (0.35 \times \text{林地}+0.21 \times \text{草地}+0.28 \times \text{水域湿地}+0.11 \times \text{耕地}+0.04 \times \text{建设用地}+0.01 \times \text{未利用地})/\text{区域面积} \quad (2)$$

$$\text{index}_{\text{pla}}=A_{\text{veg}} \times (0.38 \times \text{林地}+0.34 \times \text{草地}+0.19 \times \text{耕地}+0.07 \times \text{建设用地}+0.02 \times \text{未利用地})/\text{区域面积} \quad (3)$$

$$\text{index}_{\text{riv}}=A_{\text{riv}} \times \text{河流长度}/\text{区域面积}+A_{\text{lak}} \times \text{湖库面积}/\text{区域面积}+A_{\text{res}} \times \text{水资源量}/\text{区域面积} \quad (4)$$

$$\text{index}_{\text{lan}}=A_{\text{ero}} \times (0.05 \times \text{轻度侵蚀面积}+0.25 \times \text{中度侵蚀面积}+0.7 \times \text{重度侵蚀面积})/\text{区域面积} \quad (5)$$

$$\text{index}_{\text{env}}=0.4 \times (100-A_{\text{废气}} \times \text{废气排放量}/\text{区域面积})+0.4 \times (100-A_{\text{废水}} \times \text{废水排放量}/\text{区域面积})+0.2 \times (100-A_{\text{solid}} \times \text{固体废弃物排放量}/\text{区域面积}) \quad (6)$$

式中：EI 为生态环境质量指数，其中 $\text{index}_{\text{bio}}$ 为生物丰度指数、 $\text{index}_{\text{pla}}$ 为植被覆盖指数、 $\text{index}_{\text{riv}}$ 为水网密度指数、 $\text{index}_{\text{lan}}$ 为土地退化指数， $\text{index}_{\text{env}}$ 为环境质量指数。 $A_{\text{bio}}=511.26$ 、 $A_{\text{veg}}=0.01$ 、 $A_{\text{riv}}=84.37$ 、 $A_{\text{lak}}=591.79$ 、 $A_{\text{res}}=86.38$ 、 $A_{\text{ero}}=236.04$ 、 $A_{\text{废气}}=0.0001$ 、 $A_{\text{废水}}=0.0001$ 、 $A_{\text{solid}}=0.0001$ 。

废气=4.09、A 废水=4.39、Aso1=0.07, 分别为生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地退化、废气排放、废水排放、固体废弃物排放归一化指数^[31]。

2.2 生态环境质量指数动态趋势分析

(1) 生态环境质量指数回归模型

$$EI_t = kt + b \quad (7)$$

式中: $k = \frac{\sum [(EI_t - \overline{EI})(t - \bar{t})]}{\sum (t - \bar{t})^2}$, 反映了 EI 的回归变化趋势和幅度。K $\geq$ 0, 整体呈提高或保持稳定趋势; K<0 反映生态环境质量总体呈下降趋势; b 为回归常数。

(2) 回归效果显著性评价

相关系数平方值: $R^2 = 1 - \frac{\sum (EI_{t_{估}} - EI_t)^2}{\sum (EI_t - \overline{EI})^2}$ 。 $R^2 > 0.5$, 回归效果好, 变化趋势明显; $R^2 = 0.1 \sim 0.5$, 回归效果中等, 变化趋势较明显; $R^2 < 0.1$, 回归效果差, 变化趋势不明显。

(3) 生态环境质量变化程度分析

$|\Delta EI| \leq 1$: 变化不明显。

$1 < |\Delta EI| \leq 3$: 略有变化。 ΔEI 为正值环境状况变好, 处于基本可承载状态; ΔEI 为负值环境状况变差, 为轻度退化状态, 即轻度超载状态。

$|\Delta EI| > 3$: 变化明显。 ΔEI 为正值, 生态环境质量明显提高, 属于可承载状态; ΔEI 为负值, 环境状况明显变差, 退化趋势明显, 属于超载状态。

3 实证分析

3.1 长江经济带生态环境承载力评价

从长江经济带 2009~2017 年生态环境质量指数变化趋势散点图(图 1)可以看出, 近 9 年来长江经济带生态环境质量指数(EI)呈波动上升走势, 相关系数 $R=0.735$ 。通过对变化趋势进行线性回归分析, 可得长江经济带生态环境质量指数变化趋势回归模型为:

$$EI_t = 0.763t + 257.68 \quad (t \text{ 为年份}) \quad (8)$$

由长江经济带生态环境质量指数变化趋势回归模型可得: 9 年来长江经济带生态环境质量指数上升了 6.876, 生态环境质量有所提高; $R=0.735 \geq 0.7$, 生态环境质量逐步得到改善且趋势稳定, 反映了长江经济带大体处于良性循环状态, 即目前该区域的生态环境承载力处于可承载状态。

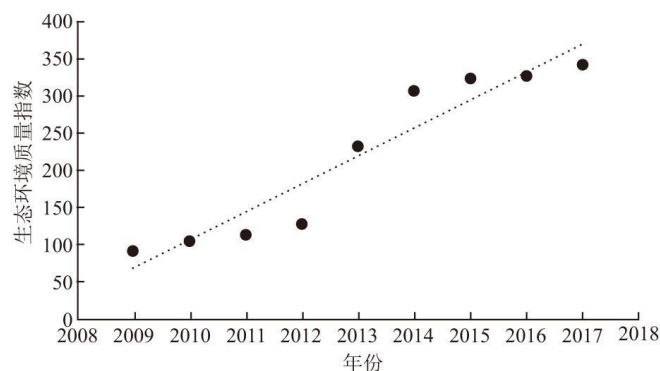


图 1 长江经济带生态环境质量指数变化趋势散点图

3.2 各省市生态环境承载力评价

围绕研究时段的起点和终点作长江经济带各省市生态环境质量指数变化图(图 2),可以看出在 2009 年四川、云南、江苏、上海等地生态环境质量指数较高,生态环境质量在长江经济带位于前列,而贵州、江西相较其他地区生态环境质量较差。在 2017 年四川、云南、贵州、浙江等地生态环境质量指数较高,而江苏、江西生态环境质量指数较其他省份低。各省市历经 9 年的开发和保护,大体可知四川、云南等地的生态环境质量指数较高,其生态环境质量一直位于长江经济带前列;贵州省生态环境质量改善明显,由 2009 年低值区变为 2017 年高值区;而江苏省与贵州省情况相反,其由 2009 年的高值区变为 2017 年的低值区,生态环境质量逐渐恶化;江西省的生态环境质量则一直是长江经济带各省市中的短板区域。



图 2 2009 年长江经济带各省市生态环境指数分布图

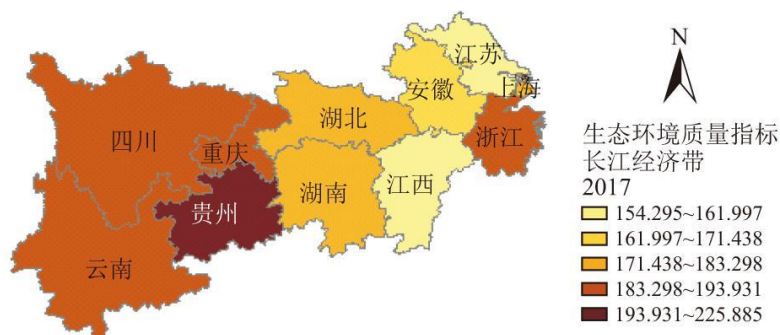


图 3 2017 年长江经济带各省市生态环境指数分布图

对长江经济带各省市 2009~2017 年生态环境质量指数变化趋势进行回归分析,求得各省市的生态环境质量指数变化趋势回归模型、相关系数 R 及 9 年来的生态环境质量指数变化值(表 2),从表 2 可看出:长江经济带 11 个省市,上海、浙江、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等 8 个省市的生态环境承载力处于可承载状态,江苏、江西两省处于超载状态,安徽省处于基本可承载状态。

表 3 各省市生态环境质量指数变化趋势线性回归一览表

省市	回归方程	R^2	ΔEI	承载力评价
上海	$EIt=0.768t-399.137$	0.97	22.683	可承载
江苏	$EIt=-0.278t+188.11$	0.64	-25.228	超载
浙江	$EIt=0.31t-504.952$	0.98	34.105	可承载
江西	$EIt=-0.599t+186$	0.04	-11.772	超载
安徽	$EIt=-0.901t+284$	0.13	1.917	基本可承载
湖北	$EIt=0.081t-530.505$	0.76	30.866	可承载
湖南	$EIt=0.029t-125.097$	0.96	22.168	可承载
重庆	$EIt=0.603t-294$	0.82	37.441	可承载
四川	$EIt=0.278t-427.05$	0.73	19.984	可承载
云南	$EIt=0.651t-216.14$	0.67	19.826	可承载
贵州	$EIt=0.853t-245.19$	0.88	86.844	可承载

(1)上海、浙江、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州:

$\Delta EI \geq 3$, 且 $R^2 > 0.5$, 生态环境质量明显提高, 生态环境承载力处在可承载状态, 且回归变化趋势显著, 即这些省市生态环境质量提高明显。上海、浙江等省市优先发展污染小的金融业、制造业, 推广使用清洁能源, 减少空气污染。而湖北、湖南在长江流域实施“退田还湖”“退耕还林”等措施, 提高长江流域的蓄水能力及增加绿化面积, 缓解生态压力。重庆、四川、云南、贵州由于特殊的地理位置, 区域内多丘陵难以进行大规模开发建设, 且森林覆盖率高有着优越的自然先天条件。这些综合因素使这 8 省市生态环境质量改善明显, 生态环境系统处于可承载状态。

(2)江苏、江西:

$\Delta EI < -3$, 生态环境质量下降明显, 处于明显退化状态, 生态环境承载力处于超载状态, 且江苏 $R^2 = 0.64 > 0.5$, 呈显著退化趋势, 而江西 $R^2 = 0.04 < 0.1$, 生态环境质量退化不明显。从目前看, 江苏、江西两省生态环境质量现状堪忧, 经济社会发展以牺牲生态环境为代价, 生态环境保护刻不容缓。

(3)安徽:

$1 < EI < 3$, $0.1 < R^2 = 0.13 < 0.5$, 生态环境质量略微提高, 生态环境承载力处于基本可承载状态, 且生态环境质量指数回归变化明显, 表明安徽省生态环境质量正向好发展。

3.3 生态环境质量影响因素分析

根据研究区域发展情况和数据可行性, 本文主要从社会经济与生态质量层面选取与生态环境紧密联系的指标数据。将表 2 的指标层作为自变量, 对长江经济带生态环境指数(EI)进行回归分析。为解决多重共线性问题, 本文采用逐步回归法, 它将统计上不显著的变量剔除, 保留多重共线性不明显的解释变量, 而且对被解释变量有较好的解释贡献, 这是一种克服多重共线性的有效方法。分析结果如表 4:

人均 GDP、第三产业、科技投入占 GDP 比重、环境治理投资额、绿地面积与长江经济带生态环境质量指数同增同减且影响程度较大, 分别为 7.33、6.92、8.28、6.71、7.21。人均 GDP 代表区域经济发展水平, 经济发展水平越高相应的对生态环境提出更高的要求, 例如解决经济发展中资源短缺问题, 这不仅引发人们对生态环境重要性的思考, 还促使区域政府、企业寻找可代替的清洁性可再生能源, 只有突破资源短缺问题, 才能长久有效发展经济。第三产业以服务业为主, 具有环境污染小、效益产出高的产业特征, 长江经济带第三产业比重逐渐增加, 倒推研究区域产业结构优化升级, 改善区域生态环境。目前大多数科学技术都是以最大程度保护生态环境为主要创新点, 在保护环境的基础上提高劳动生产率, 长江经济带科技创新能力不断增强, 用科学技术解决发展难题。长江经济带环境治理投资额在环境保护上发挥了重要作用。绿地具有涵养水源、减少水土流失、吸附灰尘的生态功能, 长江经济带绿地面积近 9 年保持稳增态势, 在一定程度上净化区域空气污染, 减少生态性灾害。

表 4 生态环境承载力影响因素分析

解释变量	变量系数	影响程度	P 值
人口自然增长率	-4.376*	0.53	0.078
人均 GDP	37.3429***	7.33	0.001
城镇化水平	-2.442**	3.22	0.014
人口密度	-0.345**	2.53	0.039
第三产业比重	27.43***	6.92	0.002
单位 GDP 能耗	-4.3263*	6.57	0.100
单位 GDP 电耗	-22.958***	6.26	0.004
科技投入占 GDP 比例	40.098***	8.28	0.001
森林覆盖率	7.046*	0.89	0.101
环境治理投资额	18.64**	6.71	0.007
绿地面积	26.163**	7.21	0.002
R ²	0.881		
调整后 R ²	0.864		

注：为控制文章篇幅，故省去相关解释变量回归方程。

人口自然增长率、城镇化水平、人口密度、单位 GDP 能耗、单位 GDP 电耗与长江经济带生态环境质量指数成负相关，其中单元 GDP 能耗、电耗对环境质量负面影响程度最大，分别为 6.57、6.26。众所周知，生态环境承载力有一定限值范围，限值范围内为可承载状态，超出则为超载状态，长江经济带人口不断增长、人口密度不断增加、城镇化水平不断提高，大量的侵占生态性土地，如耕地、草地等，破坏生态系统平衡，对生态环境承载力造成压力，从而降低生态环境质量。单位 GDP 能耗、电耗在长江经济带生态环境质量中负面影响程度较大，说明当前长江经济带经济发展仍以资源消耗为主，如何突破资源短缺，长久有效发展经济成为长江经济带亟待解决的问题。

在数据分析过程中，由于废水排放量、废气排放量、废固排放量与生态环境质量指数存在显著多重共线性问题，因此在评估影响变量对生态环境质量环境影响程度时，剔除了“三废”变量，以此解决解释变量与被解释变量间的多重共线性问题。

4 结论及讨论

4.1 结论

生态环境质量现状评价不能代替生态环境承载力评价，生态环境质量指数高仅代表该区域生态环境承载能力强，并不能保证人类活动强度一定处于生态环境可承载范围内。当人类长期进行破坏性开发时，优良的生态环境系统也会处于超载状态，并使生态环境系统发生功能性退化。因此采用生态环境质量指数动态评价法，立足于开放、变化的生态环境系统，依据生态平衡理论和生态稳定性原理，将承载力阈值量化转化为运行状态评价，避开计算人类对生态压力值和生态支撑值等难点，把生态环境承载力视为不断变化的动态过程，在发展过程中判断区域是否处于承载状态。

(1) 长江经济带近 9 年来的生态环境质量呈上升走势，生态环境总体处于可承载状态，但是 11 个省市中，江苏、江西两个省份处于超载状态，安徽省生态环境质量属于长江经济带生态环境质量的中上游，但从动态趋势看，安徽省处于基本可承载状态，政府应对该省的生态文明建设引起重视。

(2) 人均 GDP、第三产业、科技投入占 GDP 比重、环境治理投资额、绿地面积与长江经济带生态环境质量指数同增同减且影响程度较大，分别为 7.33、6.92、8.28、6.71、7.21。长江经济带未来生态文明建设应集中在科技技术创新，以创新促发展，促进环境保护，与此同时引导第三产业发展，以产业发展倒逼产业结构优化。

(3) 人口自然增长率、城镇化水平、人口密度、单位 GDP 能耗、单位 GDP 电耗与长江经济带生态环境质量指数成负相关，其中单元 GDP 能耗、电耗对环境质量负面影响程度最大，分别为 6.57、6.26。人口增长是自然发展规律，无法规避，但是资源消耗可靠技术力量完成。长江经济带应大力扶持新能源发展，将新能源应用于企业生产，在某些领域减少煤炭资源使用。

4.2 讨论

(1) 生态环境质量指数动态评价法相比生态足迹、权和指数法具有开放性、动态性等优点，它综合评价生态环境质量现状及其运行状态。但是其在计算指标方面还有待完善，构建客观、科学、明确的生态环境质量指标体系是计算核心。

(2) 生态环境系统构成复杂、多变，而生态环境承载力又与生态系统内部和经济社会发展等方面相关，这使生态环境承载力影响因素研究面临困难。本文只从社会经济、生态质量层面对长江经济带生态环境承载力影响因素进行分析，研究存在片面性。如何选取合理、科学的影响因素评价指标，是未来探究方向之一。

参考文献:

- [1]刘孟超, 席建超, 陈思宏. 多类型保护地生态承载力核算模型及应用[J]. 生态学报, 2020, 40(14):4795-4801.
- [2]PRICE D. Carrying capacity reconsidered[J]. Population and Environment, 1999, 21(1):5-26.
- [3]ROBERT E P, ERNESER W B. Introduction to the science of sociology[M]. Chicago: The University of Chicago Press, 1921:63-84.
- [4]黄娟, 汪明进, 孙坤鑫. 经济集聚、生态承载力与环境质量[J]. 中国流通经济, 2016, 30(11):58-65.
- [5]张林波, 李文华, 刘孝富, 等. 承载力理论的起源、发展与展望[J]. 生态学报, 2009(2):878-888.
- [6]王俭, 孙铁珩, 李培军, 等. 环境承载力研究进展[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4):768-772.
- [7]高吉喜. 可持续发展理论探索-生态承载力理论、方法与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001:15-25.
- [8]PASCUAL A L, SUBIROS J V. Carrying capacity as a tourism management strategy in a marine protected area: A political ecology analysis[J]. Conservation and Society, 2019, 17(4):366-376.
- [9]XIANG H F, QIONG G, YONG Z S. The concept of carrying capacity on ecological angle of view[J]. Acta Pratacultural Ence, 2000, 9(3):48-57.
- [10]赵东升, 郭彩赞, 郑度, 等. 生态承载力研究进展[J]. 生态学报, 2019, 2(2):2-2.
- [11]高鹭, 张宏业. 生态承载力的国内外研究进展[J]. 中国人口·资源与环境, 2007(2):23-30.
- [12]朱嘉伟, 谢晓彤, 李心慧. 生态环境承载力评价研究——以河南省为例[J]. 生态学报, 2017, 37(21):7039-7047.
- [13]刘锦怡, 陈斯典, 江天久. 海洋生态环境承载力研究——以深圳东部海域为例[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(4):560-565.
- [14]徐冬兰, 李玉强. 基于状态空间法的海洋生态环境承载力评价[J]. 统计与决策, 2013, 18(9):59-60.
- [15]刘东, 封志明, 杨艳昭. 基于生态足迹的中国生态承载力供需平衡分析[J]. 自然资源学报, 2012(4):614-624.
- [16]王恒博, 姚顺波, 郭亚军, 等. 基于生态足迹-服务价值法的生态承载力时空演化[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(10):2316-2327.
- [17]彭建, 吴健生, 蒋依依, 等. 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷[J]. 生态学报, 2006(8):301-307.
- [18]WILLIAM E, REES. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment & Urbanization, 2017, 2(1):66-77.

-
- [19]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,2013,35(14):12.
- [20]王文国,何明雄,潘科,等.四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J].自然资源学报,2011,26(9):1555-1565.
- [21]姜豪,陈灿平.城市综合承载力研究——以成都为例[J].软科学,2016,30(12):59-62.
- [22]徐琳瑜,杨志峰,李巍.城市生态系统承载力理论与评价方法[J].生态学报,2005(4):115-121.
- [23]金悦,陆兆华,檀菲菲,等.典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例[J].生态学报,2015(14):299-306.
- [24]MIN W J,WEI W,YI Z,et al. Analysis of complex ecosystem dynamic ecological footprint (ecological historical records) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12):2920-2926.
- [25]刘金花,李向,郑新奇.多尺度视角下资源环境承载力评价及其空间特征分析——以济南市为例[J].地域研究与开发,2019,38(4):115-121.
- [26]郭秀锐,毛显强.中国土地承载力计算方法研究综述[J].地球科学进展,2000(6):705-711.
- [27]靳亚亚,靳相木,李陈.基于承压施压耦合曲线的城市土地承载力评价——以浙江省 32 个城市为例[J].地理研究,2018,37(6):1087-1099.
- [28]CHRISTIANAWATI A,PRIMA F R,ARYATI S,et al. Analysis of the relationship of land carrying capacity and building area towards the development of KUALANAMU international airport in 2010 and 2017[J]. Journal of Degraded and Mining Lands Management, 2020, 7(2):2095-2103.
- [29]LAGA Z,MUSTARI K,ARSYAD U. Carrying capacity of horticulture intensive farming land in ENREKANG Regency (study:ANGGERAJA District) [J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020, 473:012036.
- [30]DONG W,LIU Z H. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in EBINUR Lake Basin[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(2):217-223.
- [31]JING L. Study on Prince Edward river basin' s water ecological carrying capacity based on water ecological district[C]. International Conference on Multimedia Technology. IEEE, 2011, 6(3):137.
- [32]金凤君,马丽,许堃.黄河流域产业发展对生态环境的胁迫诊断与优化路径识别[J].资源科学,2020(1):10.
- [33]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.
- [34]彭建,吴健生,潘雅婧,等.基于PSR模型的区域生态持续性评价概念框架[J].地理科学进展,2012,31(7):933-940.
- [35]马年圣,支晓娟,宋雨婷.基于PSR和GM(1,1)模型的西藏耕地生态安全评价与预测[J].干旱区资源与环境,2018,32(11):81-86.

[36]YUE J R,XIN Y G,SHU S D,et al.Study of ecological carrying capacity using PSR model based on ecosystem services and ecological sensitivity[J].Research of Soil and Water Conservation,2019,26(1):324-329.

[37]蒋依依,张敏.基于 PRS 模型的旅游地生态持续性空间差异评价——以云南省玉龙纳西族自治县为例[J].资源科学,2013,35(2):332-340.

[38]SA M,JOZI S A,MALMASI S,et al.A new model of ecological carrying capacity for developing ecotourism in the protected area of the north KARKHEH, Iran[J].Journal of the Indian Society of Remote Sensing,2019,47(11):1937-1947.

[39]中华人民共和国生态环境部.HJ 192-2015 生态环境状况评价技术规范[S].北京.中国环境科学出版社.2006:2-9.

[40]郑晶,于浩,黄森慰.基于 DPSIR-TOPSIS 模型的福建省生态环境承载力评价及障碍因素研究[J].环境科学学报,2017,37(11):4391-4398.