

# 基于夜间灯光数据的长江经济带经济发展与生态环境承载力关系分析

张丹丹<sup>1, 2</sup> 沈菊琴<sup>31</sup>

(1. 河海大学 商学院, 江苏 南京 211100;

2. 新加坡国立大学 艺术与社会科学学院, 新加坡 117570;

3. 河海大学 农业科学与工程学院, 江苏 南京 211100)

**【摘要】:**通过对 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 两种夜间灯光影像数据进行提取校正, 测度长时间序列长江经济带经济发展水平; 在此基础上利用耦合协调度模型分析长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调时空变化规律、区域差异及空间溢出效应。研究发现: 1998~2019 年长江经济带经济发展与生态环境承载力之间的耦合协调程度稳步提升, 由中度失调阶段升级到拮抗阶段。在区域差异上, 耦合协调水平总体空间差异处于“趋同-分异-趋同”不断调整的过程中, 总体空间差异主要源自于区域间差异, 而区域间差异主要来自上下游之间差异; 在空间格局上, 耦合协调水平表现出显著的空间集聚效应, 各省市呈现出多极分化趋势。通过分析耦合协调水平的溢出效应发现, 富裕程度、创新投入、外商投资、环境规制有利于提升本地耦合协调水平, 产业结构、人口规模对本地耦合协调水平具有显著抑制作用; 产业结构、外商投资和人口规模通过正向溢出效应对邻近地区耦合协调水平产生推动作用。

**【关键词】:** 经济发展 生态环境承载力 耦合协调关系 夜间灯光影像数据 空间溢出效应

**【中图分类号】:** X826 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227 (2022)09-1884-11

长江经济带是中国长期发展的战略地带, 与沿海经济带共同构成国土开发与经济布局“T”型空间结构战略<sup>[1]</sup>。依托黄金水道, 长江经济带经济发展潜力巨大, 在交通、信息、能源、城市发展、对外贸易等方面拥有得天独厚的优势。2019 年, 长江经济带覆盖的 11 个省市 GDP 总量超过 45 万亿, 占全国 GDP 的 46.4%。相比于 1998 年, 长江经济带 GDP 总量翻了 3 番, 支撑经济快速发展主要依靠大农业、能源重化工、物流等产业<sup>[2]</sup>。对于高新技术产业和高端制造业, 多数在下游省份和大城市集中并得到规模化发展。长江经济带经济长期高速增长的背后, 是以资源过度开发、积累环境欠债为代价, 甚至部分地区的生态环境恶化形势已经冲破了环境可容纳能力的极限。作为中国经济发展与环境保护矛盾最为尖锐的地区之一, 推动长江经济带的经济与生态环境协调发展是实现可持续发展的关键环节<sup>[3]</sup>。近年来习近平总书记提出长江经济带要以“共抓大保护、不搞大开发”为导向, 转变长江经济带发展方式, 实现科学发展、有序发展、高质量发展。在新发展理念指引下, 如何正确认识长江经济带经济发展与生态环境之间的关系, 成为目前“人-地”系统理论研究和社会各界关注的重要问题, 对推动长江上中下游地区协调发展和沿江

**作者简介:** 张丹丹(1991~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为环境经济与环境会计. E-mail: zhangdandan@hhu.edu.cn

**基金项目:** 国家社会科学基金项目(15BGL054); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(B210203074); 江苏省社会科学基金项目(19GLD002)

地区高质量发展具有重要意义<sup>[4,5]</sup>。研究长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调关系,有利于为长江经济带环境经济协同发展提供系统性、科学性的数据支撑,为政府部门制定区域发展规划、缩小空间差异提供新的视角。

国内外关于区域经济发展与生态环境的研究始于 20 世纪中叶,以环境经济学为主要理论依据,围绕两者交互关系、作用机理、动态规律展开<sup>[6]</sup>。根据李嘉图的“资源相对稀缺论”,生态环境不会对经济增长产生影响。Eric 基于新李嘉图视角,认为资源对经济发展的贡献有限,并处于经济发展“倒金字塔”的底部<sup>[7]</sup>。同时环境库茨涅兹曲线(EKC)的研究也是学者关注热点,诸多研究验证了经济发展与生态环境呈倒“U”关系<sup>[8,9,10,11]</sup>,也有学者否认了 EKC 假说的有效性,提出经济增长与环境之间呈现单调上升型、N 型等其他形状<sup>[12,13]</sup>。以 Rapport 为代表的学者,强调经济增长与环境保护在一定程度上相互矛盾<sup>[14]</sup>。Sachs 等<sup>[15]</sup>指出由于资源开发挤出效应的存在,资源充裕的地区在经济增长形势下将面临更为严峻的污染问题,即存在“资源诅咒”效应。这些研究主要基于传统经济理论,聚焦于经济发展与生态环境之间的互动关系。随着经济发展阶段的转变以及对生态环境和经济发展两者之间关系研究的深入,人们认识到二者是对立统一、可协调的,逐步形成了协调发展论。Beckerman 认为加强对污染问题的关注、提高公民环境意识,能够实现生态环境保护与经济增长的可持续性发展<sup>[16]</sup>。Alam 立足于探讨经济增长与环境改善之间的相容性,认为实现经济的持续增长是保障环境可持续性的前提与基础,为认知经济增长与环境改善的关系提供了新的参考依据<sup>[17]</sup>。李健等<sup>[18]</sup>运用 MFA 方法和 Tapio 脱钩模型,研究京津冀地区经济发展与资源环境之间的脱钩协同关系。杨红娟等对生态文明视角下社会、经济、环境和资源的关系进行了研究,认为协调发展为最优路径<sup>[19]</sup>。近年来学者们倾向于引入耦合理论来描述两者关系。由于耦合理论能够较好地对两个及两个以上系统作出综合评价,且具有直观性和易解释性的优点,以此为基础测算区域多系统协调发展水平成为相关领域研究的趋势,并将其应用于全国<sup>[20,21]</sup>、流域<sup>[4,5]</sup>及省域<sup>[22]</sup>层面的研究中。

总的来看,已有研究从多个视角对环境经济的关系进行了探讨,但仍存在有待完善之处:(1)较多研究采用 GDP 数据衡量经济发展指标,考虑到人为因素对经济数据的干扰,经济发展水平需要寻找更适合的替代变量;(2)关于环境经济系统耦合协调发展时空分异特征的分析较多,未能从绝对差异定量揭示耦合协调水平的分布演进规律;仅局限于环境经济可持续性现状评估,鲜有探索区域异质性下二者耦合协调关系的空间溢出效应。夜间灯光影像具有“数量”和“空间”双重属性,是构建不同尺度区域经济发展水平的基础。因此,本文采用长江经济带 1998~2019 年 11 个省市夜间灯光数据作为经济发展的衡量指标,基于耦合协调视角,分析长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调度的时空演化及空间差异,并运用空间面板模型揭示耦合协调水平的空间溢出效应,旨在推动长江经济带经济发展与生态环境在互动中实现可持续发展。

## 1 区域经济发展与生态环境耦合协调发展机制

在当前我国新常态发展的背景下,厘清环境与经济系统之间的互动关系尤为重要。生态环境系统与经济系统的耦合,是基于人们生产生活过程中物质、能量、信息的交换过程完成的,价值流在交换链中实现循环和转换。基于“人-地”系统演化理论,经济与生态环境系统之间的耦合具有复杂性和互动性,表现为:

### (1) 生态环境系统对经济系统的支撑与保障作用。

生态环境系统是经济活动的物质基础,是区域系统持续升级的必要条件。一方面,生态环境系统为经济发展提供丰富的生产要素资源,如依赖于水、土、气等要素的工业、农业及旅游业等产业,其优劣程度往往决定了产业经济的发展方向和发展动能。与此同时,良好的生态环境有助于提升城市宜居共享程度,吸引劳动力流入,加大地区发展优势,进而推动产业发展。另一方面,生态系统的自我调节能力可吸纳、降解人类最终向环境排放的污染物质,保障社会经济的可持续发展。

### (2) 经济系统对生态环境系统的胁迫与建设作用。

在经济高速增长阶段,城市规模迅速扩张加大了对耕地与生态空间的占用,同时人口集聚与产业集聚导致水资源与土地资源的短缺,加剧污水与汽车尾气的排放,加重了土地、水等资源的负荷。追求经济快速增长往往是以破坏生态环境的平衡与和谐

为代价,当环境恶化达到临界值会增加经济活动的成本,加速生态环境的退化,甚至陷入“环境贫困陷阱”<sup>[23]</sup>。为平衡二者的关系,结合“波特假说”,利用环境规制手段推动企业提升管理能力、加大研发力度、合理配置资源来减少污染形成,以缓解生态系统压力。当经济实现高质量发展时,新兴技术产业得到有效发展,根据内生增长理论,技术进步将显著降低对资源的依赖,提升生产效率并改善环境质量。生态环境系统与经济系统在不断发展过程中相互依赖、相辅相成,只有坚持高效能、低污染的绿色发展才能实现经济效益与环境效益的统一。

## 2 材料与方法

### 2.1 评价指标的选择与构建

#### 2.1.1 基于夜间灯光数据的区域经济发展评价

##### (1) 夜间灯光数据的提取及校正

夜间灯光影像数据具有时效性、覆盖面广、灵敏度高以及独立性等特点,被广泛应用于气象监测、人口密度评价、土地利用调查、社会经济评价等方面<sup>[24, 25, 26]</sup>。目前常用的全球夜间灯光数据主要来自极轨卫星计划 DMSP/OLS 夜间灯光影像和新一代对地观测卫星 NPP/VIIRS 夜间灯光影像。其中 DMSP/OLS 影像可提供 1992~2013 年夜间灯光数据, NPP/VIIRS 影像可提供 2012 年及以后夜间灯光数据,但 DMSP/OLS 影像与 NPP/VIIRS 影像存在数据尺度不一致的问题,导致了夜间灯光影像间的不连续。为反映夜间灯光数据的长期动态变化,本文对 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 两类夜间灯光影像进行整合,步骤如下:①数据提取。为避免影像网格变形产生的误差,以行政区域对夜间灯光影像进行提取并转换至兰伯特等积方位投影坐标系。②DMSP/OLS 数据校正<sup>[27]</sup>。选定黑龙江省鸡西市为不变目标区,以 F162007 为基准影像,采用不变目标法建立一元二次回归模型,对 DMSP/OLS 数据进行回归校正。针对年内不同传感器影像数据差异<sup>[28]</sup>,对回归校正后的数据进行年内融合,并在年内融合校正的基础上进行年际校正处理,以提高灯光影像间的连续性。③NPP/VIIRS 数据校正。以经济强度法去除 NPP/VIIRS 月度影像中的异常值,将处理后的月度影像合并为年度影像,利用校正后的 2013 年 DMSP/OLS 影像中的亮值像元为掩膜<sup>[29]</sup>,提取 2012~2019 年 NPP/VIIRS 年度影像中的对应像元为稳定像元。④两种夜间灯光数据校正。计算出校正后的 2012、2013 年 DMSP/OLS 影像和 NPP/VIIRS 影像中县级尺度上的夜间灯光总和,分别结合二次回归方程对 2012 和 2013 年各省份 DMSP/OLS 影像和 NPP/VIIRS 影像的夜间灯光总和进行回归分析,利用所建立的回归模型将 2014~2019 年 NPP/VIIRS 数据拟合到 DMSP/OLS 数据尺度上,得到整合后的 1992~2019 年 31 个省市夜间灯光数据,并在此基础上选取 1998~2019 年长江经济带 11 个省市的夜间灯光数据作为本研究的基础数据。

##### (2) 区域经济发展指数构建

夜间灯光总强度和夜间灯光密度均可表征区域经济发展,高亮度地区城市集聚效用明显,社会经济发展程度高,低亮度区域人口及经济密度低,土地利用强度低<sup>[30]</sup>。本文以行政区域的夜间灯光密度作为区域经济发展指数,测算 1998~2019 年的长江流域 11 个省市区域经济发展水平,公式如下:

$$DNL = \sum_{i=1}^n DN_i / n \quad (1)$$

式中: DNL 为夜间灯光密度;  $DN_i$  为夜间灯光影像中  $i$  像元的灰度值;  $n$  为像元总数。

#### 2.1.2 生态环境承载力评价

区域生态学中生态承载力涵盖了资源、环境子系统的反馈调节功能、供容能力及社会经济子系统的发展能力<sup>[31]</sup>。作为支撑人居环境与经济发展的基础，区域内生态系统特有的资源和环境条件对产业结构与布局产生约束；同时，产业及人口的集聚将造成资源配置空间改变与环境污染时空转移，最终影响整个生态域内的资源与环境承载力。长江经济带横跨东、中、西部三个板块，不同省份在经济、文化、资源、环境等方面均存在明显差异，因而生态环境承载力具有明显的区域特征。对于生态环境承载力评价指标体系，可从资源禀赋、环境压力以及生态维护层面进行构建。其中，资源禀赋类指标是从生态系统的物质资源情况反映生态承载力情况，分别选取人均水资源量、人均农作物播种面积、人均公园绿地面积等指标。环境压力类指标旨在反映生态系统自身受到人类生产生活的干扰程度，主要从生活垃圾及工业固体废物产生、废水及废气排放 4 个方面进行考虑。生态维护类指标从工业固废综合利用、城市污水处理以及污染治理投资角度反映人类对生态环境系统的正向影响。为确保数据的科学性和准确性，生态环境承载力指标数据来自于 1999~2020 年国家和各省份统计年鉴，个别指标是在统计数据的基础上计算得到。对于部分年份数据缺失，可利用邻近 3 年变化趋势进行预测。

本文选用熵值法确定指标权重，并利用加权 TOPSIS 法实现对生态环境承载力的综合评价。假设存在  $m$  个评价对象， $n$  个评价指标，构成指标矩阵  $X=(x_{ij})_{m \times n}$ 。

(1) 熵值法下权重计算。

首先对指标数据进行无量纲化处理，在此基础上进行非零化处理。

无量纲化：

$$y_{\bar{ij}} = \begin{cases} (x_{ij} - \min x_j) / (\max x_j - \min x_j), & x_j \text{ 为正向指标} \\ (\max x_j - x_{ij}) / (\max x_j - \min x_j), & x_j \text{ 为负向指标} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{非零化: } x'_{ij} = y_{ij} + 1 \quad (3)$$

(2) 使用熵值法计算各指标权重。

指标  $j$  的熵值：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{\bar{ij}} \ln p_{\bar{ij}}, \quad p_{\bar{ij}} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^m x'_{ij} \quad (4)$$

指标  $j$  的权重：

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \quad (5)$$

(3) 计算加权规范化矩阵。

将无量纲化矩阵  $Y=(y_{ij})_{m \times n}$  的每列与其权重  $w_j$  相乘得到加权规范化矩阵  $V_{ij}$ 。

$$V_{ij} = (v_{ij})_{m \times n} = (w_j \times y_{ij})_{m \times n} \tag{6}$$

(4) 确定理想解并计算贴近度。

在实际中，并不能确定绝对最优解和最差解，本文确定被评价对象各个指标的正理想解  $V^+$  和负理想解  $V^-$ 。

$$V^+ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\},$$
$$V_j^+ = \begin{cases} \max_i v_{ij}, & x_j \text{ 为正向指标} \\ \min_i v_{ij}, & x_j \text{ 为负向指标} \end{cases} \tag{7}$$

$$V^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\},$$
$$V_j^- = \begin{cases} \min_i v_{ij}, & x_j \text{ 为正向指标} \\ \max_i v_{ij}, & x_j \text{ 为负向指标} \end{cases} \tag{8}$$

计算与理想解的接近程度：

$$H_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \tag{9}$$

式中： $d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$ ,  $d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$ , 分别为第  $i$  个评价对象与正、负理想解的距离。 $H_i$  的取值范围介于 0~1 之间，该值越接近于 1, 表明生态环境承载力越强。

2.2 耦合协调度模型

本文利用耦合协调度模型描述区域经济发展和生态环境承载力之间的相互作用、相互关联的协调发展程度。模型如下：

$$D = \sqrt{C \times T} \tag{10}$$

表 1 生态环境承载力评价指标体系

| 一级指标 | 二级指标      | 单位             | 属性 | 指标权重   |
|------|-----------|----------------|----|--------|
| 资源禀赋 | 人均水资源量    | m <sup>3</sup> | 正向 | 0.1387 |
|      | 人均农作物播种面积 | m <sup>2</sup> | 正向 | 0.1358 |

|      |                    |                  |    |        |
|------|--------------------|------------------|----|--------|
|      | 人均公园绿地面积           | m <sup>2</sup>   | 正向 | 0.1166 |
| 环境压力 | 万元 GDP 工业固体废物产生量   | t                | 负向 | 0.0517 |
|      | 万元 GDP 废水排放总量      | t                | 负向 | 0.0907 |
|      | 万元 GDP 二氧化硫排放量     | kg               | 负向 | 0.0194 |
|      | 人均生活垃圾清运量          | t                | 负向 | 0.1097 |
| 生态维护 | 工业固体废弃物综合利用率       | %                | 正向 | 0.1213 |
|      | 城市污水日处理能力          | 万 m <sup>3</sup> | 正向 | 0.1266 |
|      | 工业污染治理完成投资占 GDP 比重 | %                | 正向 | 0.0896 |

$$C=2\sqrt{(U_1\times U_2)/(U_1+U_2)} \tag{11}$$

$$T=\alpha U_1+\beta U_2 \tag{12}$$

式中：D 为耦合协调度，由耦合度指数 C 和综合协调指数 T 组成。D∈[0, 1], D 越接近 1, 表示耦合协调程度越高；U<sub>1</sub> 和 U<sub>2</sub> 分别表示经济发展和生态环境承载力；α 和 β 为权重系数，令 α = β = 0.5, 即经济发展与生态环境承载力有同等分量的贡献<sup>[32, 33]</sup>。

为了更好地呈现耦合协调水平的不同发展阶段，将耦合协调度处于 0~0.3 的地区定义为严重失调阶段，0.3~0.4 定义为中度失调阶段，0.4~0.5 定义为拮抗阶段，0.5~0.6 定义为磨合阶段，0.6~0.7 定义为中度协调阶段，0.7~1.0 定义为良好协调阶段。

### 3 研究结果及讨论

#### 3.1 区域经济发展及生态环境承载力时空演化分析

运用 ArcGIS 软件实现对长江经济带 11 个省市经济发展水平的测算，得到 1998~2019 年的经济发展指数。在研究期内长江经济带经济发展总体呈上升趋势，经济发展水平多年均值 7.2361, 变化趋势见图 1。结合近年来中国经济的发展进程，可分为四个阶段：第一阶段为 1998~2001 年，长江经济带发展保持平稳态势，从 4.4511 增长至 4.9483, 年均增长率为 3.60%。第二阶段为 2002~2009 年，受中国加入 WTO 的影响，要素双向流动加快，使得发展水平大幅提升，2002 年增长至 5.4624, 增长幅度达到 10.43%。此后，长江经济带发展增速逐年放缓。在全球金融危机的冲击下，2009 年经济发展增长率仅为 0.24%。第三阶段为 2010~2013 年，在这期间中央政府全面实施一揽子计划取得成效，推动了经济发展方式和产业结构调整，铁路、公路、水利、机场等重大基础设施建设速度加快，长江经济带发展水平从 2010 年的 7.6272 平稳增长至 2013 年的 8.0503。第四阶段为 2014~2019 年，随着中国经济呈现出新常态，长江经济带的发展逐步实现由要素驱动向创新驱动转变，经济发展水平由 8.4660 增长至 10.2941, 年均增长率为 4.19%。

经过测算，1998~2019 年长江经济带各省市生态环境承载力均值为 0.4224, 表明整体水平有待提高。在研究期内，生态环境承载力多年均值呈波动上升态势，具体分为四个阶段：第一阶段为 1998~2001 年，在此期间生态环境承载力呈上升趋势，从 1998 年的 0.3903 增加至 2001 年的 0.4164, 年均增长率为 2.19%; 第二阶段为 2002~2008 年，在 2002 年生态环境承载力出现降低，并在 2003 年降低至谷底；自 2004 年开始生态环境承载力恢复上升趋势，至 2005 年基本与 2001 年持平；随后又在 2006 年出现

降低，并在 2007 年开始回升，至 2008 年生态环境承载力上升到 0.4180。第三阶段为 2009~2013 年，在扩大内需、促进经济增长的十项措施下，长江流域加大水污染防治力度，推进实施节能减排工程，加快产业自主创新，生态环境承载力波动幅度与频率增大，仍表现为上升趋势。第四阶段为 2014~2019 年，随着进入新常态后经济增速放缓以及经济结构不断优化，生态环境承载力上升速度趋缓，在 2017 年短暂下降后又恢复上升。

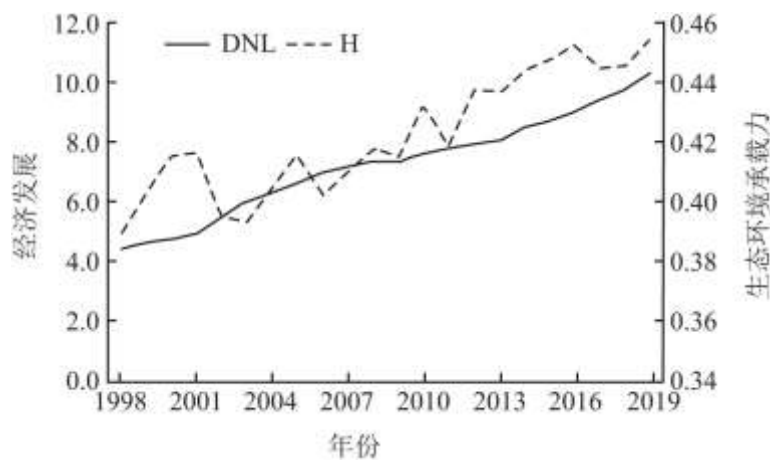


图 1 经济发展及生态环境承载力时空演变趋势

3.2 区域经济发展与生态环境承载力耦合协调分析

3.2.1 耦合协调度年际变化

在对区域经济发展指数进行标准化处理的基础上，利用耦合协调度模型测算 1998~2019 年长江经济带经济发展水平与生态环境承载力耦合协调度，并将其分为上游地区(重庆、四川、贵州、云南)、中游地区(安徽、江西、湖北、湖南)及下游地区(上海、江苏、浙江),对比展示耦合协调度时序走势，如图 2 所示。1998~2019 年长江经济带经济发展与生态环境承载力之间的耦合协调程度稳步提升，在数值上耦合协调度均值由 0.3541 增加至 0.4851,意味着长江经济带总体上已基本从中度失调阶段过渡到拮抗阶段。从地区层面来看，上游和中游地区耦合协调度多年均值接近长江经济带平均水平，分别为 0.3280 和 0.3709,下游地区耦合协调度多年均值为 0.6122。因下游省份社会经济发展较早，保护生态环境意识也出现较早，而上游和中游省份因经济发展水平滞后，加上在发展初期更多关注经济效益，各地区的耦合协调度存在较大差距。在样本期内，下游地区增幅最小，上游地区增幅最大，表明近年来长江经济带在确保经济发展的同时越来越注重生态环境保护，减少对生态环境破坏。

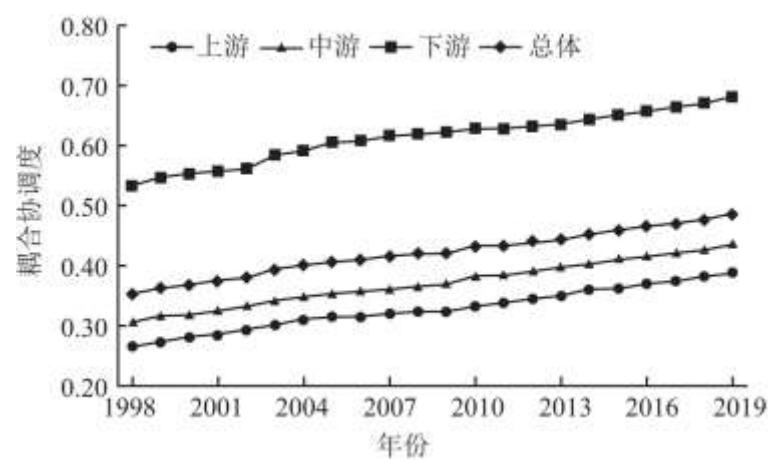


图2 耦合协调度变化趋势

### 3.2.2 区域差异分析

为了进一步解释长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调发展的空间非均衡特征, 本文采用 Dagum 基尼系数<sup>[34]</sup>测算 1998~2019 年耦合协调度的地区差异, 将耦合协调水平的地区差异按上、中、下游分解为区域内差异、区域间净差异和超变密度三部分, 见图 3。

#### (1) 总体空间差异。

在样本期内, 长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调水平的总体基尼系数均值为 0.1583, 呈现出波动下降趋势, 表明区域协调水平的差异正逐渐缩小。具体来看, 总体差异在样本期趋势可分成三个阶段, 1998~2002 年总体基尼系数呈下降趋势, 2003~2009 年表现为间歇性波动, 2010~2019 年继续保持下降趋势, 反映出耦合协调水平差异程度处于“趋同-分异-趋同”不断调整的过程中。结合贡献率的变动情况, 区域内差异贡献率在 10.68%~12.55%之间上下波动, 区域间差异贡献率在 86.10%~88.46%之间上下波动, 超变密度贡献率从 1998 年的 0.03% 上升为 2019 年的 1.11%。区域间差异贡献率始终高于区域内差异和超变密度的贡献率, 可见总体空间差异主要源自于区域间差异, 因此缩小区域差距是解决区域经济发展与生态环境现状不平衡的关键。

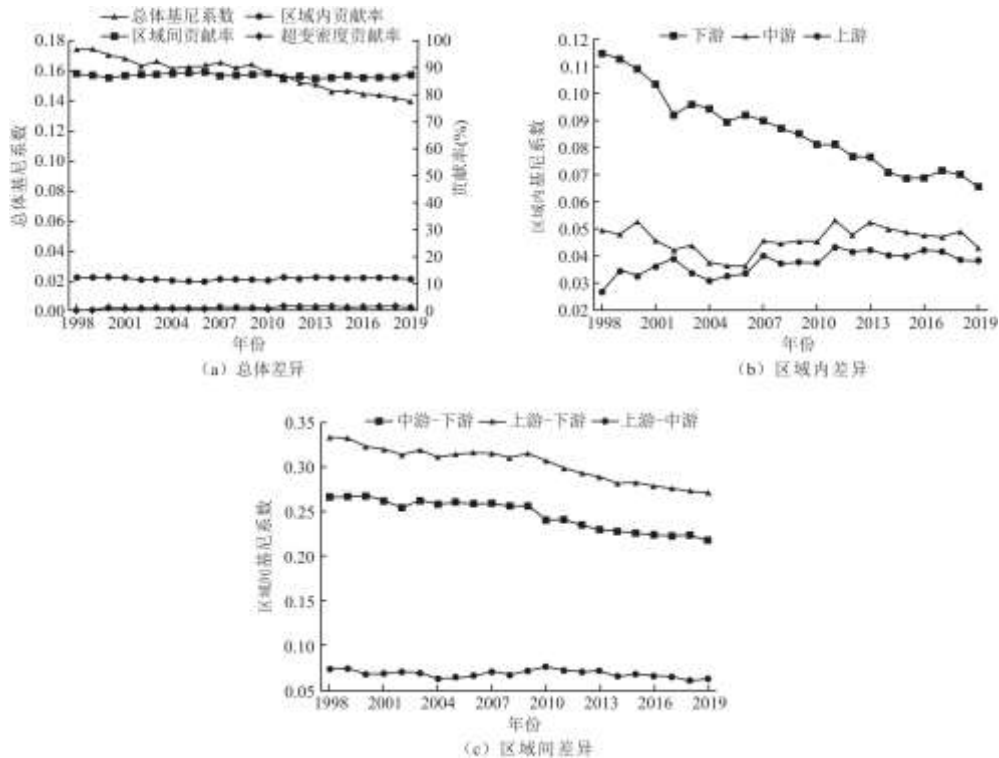


图3 区域差异演变趋势

#### (2) 区域间差异。

在样本期内, 长江经济带各区域间差异均表现为波动下降趋势, 其中上游与下游区域间差异在 1998~2002 年有所缩小, 由

1998 年的 0.3337 下降为 2002 年的 0.3142, 并从 2003 年开始出现小幅波动, 至 2010 年又逐步呈现缩小趋势。上游与中游区域间差异的基尼系数始终低于 0.10。中游与下游区域间差异由 1998 年的 0.2663 下降至 2009 年的 0.2564, 在 2010 年产生波动后继续保持缓慢下降。总体看来, 上游与下游区域间差异是造成耦合协调度区域间差异的重要因素。上下游地区之间经济发展、产业结构、技术研发创新以及地区发展规划等方面存在较大差异, 是形成经济发展与生态环境承载力耦合协调水平差异的关键。随着“西部大开发”、“中部崛起”等战略的实施, 有效缩小了区域间差距。

### (3) 区域内差异。

长江经济带中、下游区域的组内差异分析为各区域非均衡程度的横向对比提供依据。三个区域的组内差异处于不同的水平, 虽然位次固定, 但存在差异化的演变趋势。从数量大小来看, 下游区域的耦合协调度的年均差异最高, 为 0.0863, 其次是中游区域, 为 0.0462, 上游区域内差异均值最低, 仅为 0.0374。从组内差异演变趋势来看, 三个区域组内差异存在不同程度的波动。上游区域的耦合协调水平差异在 1998~2011 年呈阶梯上升趋势, 在 2011 年达到最大值后出现波动下降。中游地区的组内差异在 1998~2006 年期间不断缩小, 2007~2011 年出现短暂扩大后又呈缩小趋势, 样本期内最小值为 0.0364。下游地区的基尼系数呈快速下降趋势, 其原因在于溢出效应和模仿效应促进了经济集聚发展, 同时使得生态环境问题得到妥善解决, 两者同步协同发展, 缩小了区域内耦合协调度的差异。

### 3.2.3 空间格局演变

为反映长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调度的空间依赖与关联特征, 采用全局 Moran' sI 进行空间相关性检验。综合考虑各地区的地理距离和经济属性, 将空间权重矩阵设定为非对称性经济地理空间权重矩阵<sup>[35]</sup>。从测算结果来看, 耦合协调度的 Moran' sI 指数处于 0.152~0.213 之间, 均通过 1%显著性水平检验, 表明耦合协调度存在显著空间正相关, 耦合协调度高的地区的周边也趋同于同等层属。在趋势上, Moran' sI 指数整体上处于波动上升趋势, 表明近年来区域经济发展与生态环境承载力协调水平的空间关联程度逐步增强, 表现出空间集聚的趋势(图 4)。

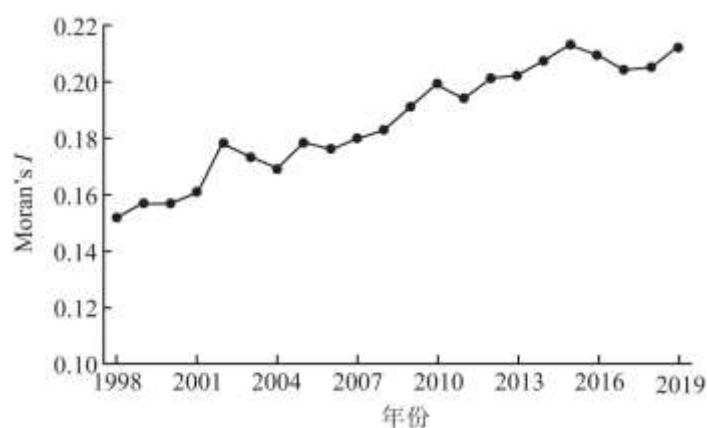


图 4 耦合协调水平的全局 Moran' sI

核密度图的波峰高度、数量、宽度、拖尾以及推移形态等特征可对经济发展与生态环境承载力耦合协调水平的分布动态规律进行有效刻画, 本文选取高斯核函数进行核密度估计。利用二维核密度曲线以展示部分年份核密度曲线的形态特征。从图 5 可以看出: (1) 整体上核密度曲线的中心呈缓慢右移趋势, 表明长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调水平出现持续上升演进特征; (2) 随时间推移, 波峰高度明显降低, 由尖峰形态向宽峰形态演变, 耦合协调度的省际绝对差异存在扩大倾向; (3) 核密度曲线均出现拖尾, 且拖尾逐年缩短, 意味着各地区间的耦合协调水平的差距已经缩小; (4) 核密度曲线明显存在多峰情况, 且侧峰峰值低, 表明各省市耦合协调水平出现多极分化现象。

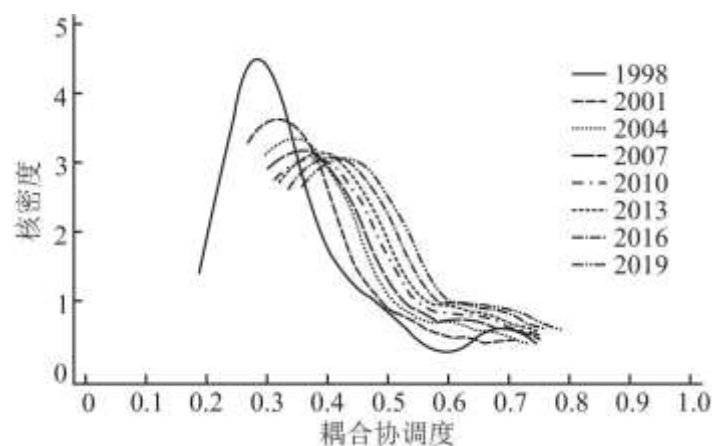


图 5 空间差异分布动态

### 3.3 经济发展与生态环境承载力耦合协调的空间溢出效应

前文研究显示,长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调水平在不同地区存在显著差异,且地区间差距呈现出逐渐缩小趋势。随着要素流动与市场一体化的加快,各地区之间将可能产生空间溢出效应。参考现有研究<sup>[33,36]</sup>,结合数据的可获取性与一致性,选择影响经济发展与生态环境承载力耦合协调水平的解释变量:富裕程度(PGDP),利用人均实际GDP衡量;产业结构(IS),利用第三产业与第二产业增加值之比衡量;创新投入(TEC),利用研究与试验发展经费投入强度衡量;外商直接投资(FDI),对外商直接投资实际使用额进行汇率处理后取对数衡量;人口规模(PI),年末常住人口与省级行政区划面积之比衡量;环境规制(ER),各省工业污染治理完成投资总额取对数衡量。对于所有价格型数据,利用1998年GDP平减指数为基期进行调整。

采用STATA计量软件对空间面板数据模型进行检验,确定空间计量模型的具体形式。根据Anselin判别准则,LM检验结果倾向于空间误差模型;进一步采用LR检验,检验结果在1%的置信水平下拒绝原假设,且Hausman检验在1%置信水平下拒绝原假设,表明应选择固定效应下的空间杜宾模型(SDM)。为准确分析各解释变量对区域经济发展与生态环境承载力耦合协调水平的动态影响,利用SDM偏微分矩阵将空间效应分解为直接效应和间接效应(表2)。

表 2 空间杜宾模型效应分解

| 变量   | 直接效应       |       | 间接效应      |       | 总效应       |       |
|------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|      | 系数         | t 值   | 系数        | t 值   | 系数        | t 值   |
| PGDP | 0.0035*    | 1.74  | -0.0049   | -1.24 | -0.0013   | -0.33 |
| IS   | -0.0166*** | -4.27 | 0.0821*** | 5.77  | 0.0655*** | 4.34  |
| TEC  | 1.0487**   | 2.31  | 0.3425    | 0.30  | 1.3912    | 1.16  |
| FDI  | 0.0048***  | 2.90  | 0.0223*** | 4.52  | 0.0270*** | 5.07  |
| PI   | -0.2036*** | -2.97 | 0.9693*** | 2.79  | 0.7657*   | 1.91  |
| ER   | 0.0042***  | 3.55  | -0.0038   | -1.27 | 0.0005    | 0.15  |

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示显著性水平为 1%、5%、10%。

富裕程度对经济发展与生态环境承载力耦合协调水平的直接效应在 10%水平上显著，且系数为正，表明富裕程度对耦合协调水平的促进作用在长期内有所体现。对于经济发展水平高的省份，尤其是长江经济带下游发达地区，往往具有累积循环的自我强化功能，其在发展过程中需要更多的资源来承载自身不断发展的需要，推动城市的高质量发展。另一方面经济发展水平高的地区，往往增加生态环境压力，推动城市的响应。富裕程度通过负向溢出效应对邻近地区耦合协调水平具有抑制作用，但未通过显著性水平检验。

产业结构直接效应系数为-0.0166，溢出效应系数为 0.0821，均通过 1%显著性水平检验。表明本地产业结构调整对本地耦合协调水平具有抑制作用，并通过负向溢出效应对邻近地区耦合协调水平产生推动作用。样本期内长江经济带的产业重心逐步由第二产业向第三产业转移，2019 年长江经济带各省市第三产业比重均超过第二产业，第三产业为长江经济带经济发展提供新潜力和新空间。但由于目前第三产业规模化发展受到人口布局等诸多因素的制约，限制了其缓解环境污染功能的发挥，并且配套设施建设尚未形成规模效应，加重了对环境的压力，从而对协调水平产生负效应<sup>[37]</sup>。

创新投入直接效应系数为 1.0487，通过了 5%显著性水平检验；溢出效应系数为 0.3425，未通过显著性水平检验。表明本地创新投入的提升对本地协调水平具有推动作用，但对邻近地区协调水平并无统计意义上的显著影响。主要原因是随着创新投入的增加，能显著推动企业进行技术改造和产业升级，为绿色创新技术提供条件，从而削弱经济发展对生态环境的消极影响。但是其间接效应不显著，表明现阶段长江经济带的上中下游产业发展关联度不高，创新投入空间溢出效应尚未有效发挥，仍然处于各自相对独立发展的状态。

外商投资直接效应与溢出效应系数均为正，且通过 1%显著性水平检验。随着对外开放程度的提高，外商投资增加对耦合协调水平的提升有一定促进作用，在提升经济发展水平的同时，提供先进的生产设备和生产技术支撑。此外，本省耦合协调水平受到其他省份外商直接投资的影响。

人口规模对本地耦合协调水平具有抑制作用，对周边地区耦合协调水平的提升具有正向促进作用，且均在 1%水平上显著。其原因在于，一是人口集聚使得城市土地资源紧缺，造成更多的资源消耗和污染排放；二是地区市场消费需求增加，刺激企业扩大生产规模，增加就业岗位吸引周边地区劳动力流入，加速资源消耗与环境污染<sup>[38]</sup>。

环境规制对耦合协调水平的直接效应为正且通过 1%的显著性水平检验，表明环境规制对本地的耦合协调水平具有显著的推动作用。环境规制强度的高低对改善各省市环境质量起着重要作用。随着环境规制强度的加大，尤其在在长江经济带“不搞大开发、共抓大保护”的指引下，高污染企业的发展受到限制，倒逼企业加快绿色转型，提高区域生态环境承载能力。溢出效应为负但未通过显著性水平检验，意味着邻近地区环境规制对本地区耦合协调水平没有明显影响。

## 4 结论

本文以长江经济带为研究区域，运用 ArcGIS 软件对 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 夜间灯光影像数据进行提取校正，弥补统计口径不一致等因素导致的误差，真实反映长时间序列长江经济带经济发展水平；在此基础上利用耦合协调度模型研究长江经济带经济发展与生态环境承载力耦合协调时空变化规律、区域差异及空间溢出效应，为政府部门制定区域发展规划、缩小空间差异提供新的视角，具有一定的创新性。研究发现：(1)在研究期内长江经济带经济发展与生态环境承载力的耦合协调水平稳步提升，总体上已基本从中度失调阶段过渡到拮抗阶段，耦合协调水平有待提高，且存在明显的区域差异；(2)长江经济带耦合协调水平的总体空间差异处于“趋同-分异-趋同”不断调整的过程中，在空间格局上耦合协调水平表现出空间集聚的趋势，各省市之间的绝对差异呈现出多极分化趋势；(3)利用空间面板杜宾模型进行分析表明，富裕程度、创新投入、外商投资、环境规制对本地耦合协调水平存在显著的促进作用，产业结构、人口规模对本地耦合协调水平具有显著抑制作用；产业结构、外商投资和人口规

模通过正向溢出效应对邻近地区耦合协调水平产生推动作用。

长江经济带作为国家经济发展的重要战略支点，对全国乃至世界经济发展都具有示范性和引领性作用。为提高长江经济带经济发展与生态环境承载力的协调性，确保经济与生态的协调发展，构建长江经济带共同体，本文建议如下：第一，根据上中下游不同经济发展状况和资源禀赋，各地区明确自身发展定位，对于上游和中游地区应重点吸收先进的技术经验，加快基础设施建设，实现与下游地区之间的联动，形成相互促进的经济网络；对于下游地区经济发展发达，应积极采取技术创新手段，充分发挥好环境经济耦合协调优势，推动环境经济高质量发展。第二，重视由地理邻近产生的长江经济带经济发展与生态环境耦合协调溢出效应，协调区域间产业结构，发挥区域间分工协作效应，形成长江经济带产业升级整体效应；适度加大研发投入力度，引导高污染产业实现转型，推广绿色环保的生产技术，不断提高绿色制造效率与水平；结合长江经济带区位优势，提高外资进入门槛，利用优质外商推动国内大循环；在城市规划中适度控制人口规模，警惕因人口和产业过度集聚而导致超过生态环境承载力现象。第三，各级政府部门统筹协调国家、地方制定的各项支持长江经济带高质量发展政策，推动构建区域间协同治理机制，不断完善长江经济带生态补偿机制，落实负面清单管理制度，增强长江经济带可持续发展能力。

### 参考文献:

- [1]陆大道.长江大保护与长江经济带的可持续发展——关于落实习总书记重要指示，实现长江经济带可持续发展的认识与建议[J].地理学报, 2018, 73(10):1829-1836.
- [2]陆玉麒, 董平.新时期推进长江经济带发展的三大新思路[J].地理研究, 2017, 36(4):605-615.
- [3]李建新, 梁曼, 钟业喜.长江经济带经济与环境协调发展的时空格局及问题区域识别[J].长江流域资源与环境, 2020, 29(12):2584-2596.
- [4]彭昕杰, 成金华, 方传棣.基于“三线一单”的长江经济带经济-资源-环境协调发展研究[J].中国人口·资源与环境, 2021, 31(5):163-173.
- [5]邹辉, 段学军.长江经济带经济-环境协调发展格局及演变[J].地理科学, 2016, 36(9):1408-1417.
- [6]彭红松, 郭丽佳, 章锦河, 等.区域经济增长与资源环境压力的关系研究进展[J].资源科学, 2020, 42(4):593-606.
- [7]KEMP-BENEDICT E.The inverted pyramid:A neo-Ricardian view on the economy-environment relationship[J].Ecological Economics, 2014, 107:230-241.
- [8]GROSSMAN G M, KRUEGER A B.Environmental impacts of a North American free trade agreement[J].CEPR Discussion Papers, 1992, 8(2):223-250.
- [9]谢晓, 董利民.城市空气污染、区域联系与经济发展——基于环境库兹涅茨曲线形成机制的视角[J].江汉论坛, 2019(1):22-26.
- [10]XIE Q C, XU X, Liu X Q. Is there an EKC between economic growth and smog pollution in China? New evidence from semiparametric spatial autoregressive models[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 220:873-883.
- [11]JIANG Y Q, ZHENG J H. Economic growth or environmental sustainability? Drivers of pollution in the Yangtze

---

River Delta urban agglomeration in China[J]. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2017, 53(11):2625-2643.

[12] HOLTZ-EAKIN D, SELDEN T M. Stoking the fires? CO<sub>2</sub> emissions and economic growth[J]. *Journal of Public Economics*, 1995, 57(1):85-111.

[13] SALVATORE B, ARSENIO S. Land consumption and income in Italy: A case of inverted EKC[J]. *Ecological Economics*, 2017, 131:36-43.

[14] RAPPORT D J, COSTANZA R, MCMINCHAE A J. Assessing ecosystem health[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1998, 13(10):397-402.

[15] SACHS J D, WARNER A M. The curse of natural resources[J]. *European Economic Review*, 2001, 45(4):827-838.

[16] BECKERMAN W. Economic growth and the environment: Whose growth? whose environment?[J]. *World Development*, 1992, 20(4):81-96.

[17] ALAM M S, KABIR M N. Economic growth and environmental sustainability: Empirical evidence from east and south-east Asia[J]. *International Journal of Economics and Finance*, 2013, 5(2):86-97.

[18] 李健, 王尧, 王颖. 京津冀区域经济发展与资源环境的脱钩状态及驱动因素[J]. *经济地理*, 2019, 39(4):43-49.

[19] 杨红娟, 张成浩. 基于系统动力学的云南生态文明建设有效路径研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(2):16-24.

[20] 韩永楠, 葛鹏飞, 周伯乐. 中国市域技术创新与绿色发展耦合协调演变分异[J]. *经济地理*, 2021, 41(6):12-19.

[21] 邵汉华, 刘克冲. 实体经济与要素投入协同发展的时空差异及效应研究——高质量发展视角[J]. *科技进步与对策*, 2020, 37(12):36-45.

[22] 闫绪娴, 范玲, 樊媛媛. 中国省域生态-灾害-社会系统耦合协调时空分布及演化[J]. *宏观经济研究*, 2019(8):115-127.

[23] 逯进, 常虹, 汪运波. 中国区域能源、经济与环境耦合的动态演化[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(2):60-68.

[24] 胡兰丽, 刘洪. 基于夜间灯光数据的中国省域 GDP 数据质量评估[J]. *统计与决策*, 2021, 37(7):5-9.

[25] 李德仁, 李熙. 夜光遥感技术在评估经济社会发展中的应用——兼论其对“一带一路”建设质量的保障[J]. *宏观质量研究*, 2015, 3(4):1-8.

[26] MICHALOPOULOS S, PAPAIOANNOU E. National institutions and subnational development in Africa[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2013, 129(1):151-213.

[27] LIU Z, HE C, ZHANG Q, et al. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 106(1):62-72.

- 
- [28]ZHANG Q L, SETO K C. Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(9):2320-2329.
- [29]LIU P F, WANG Q, ZHANG D D, et al. An improved correction method of nighttime light data based on EVI and World Pop data[J]. Remote Sensing, 2020, 12(23):3988.
- [30]贺斌, 袁晓玲, 房玲. 中国城市规模扩张与效率提升的协同发展[J]. 当代经济科学, 2020, 42(1):120-134.
- [31]高吉喜. 区域生态学核心理论探究[J]. 科学通报, 2018, 63(8):693-700.
- [32]李强, 韦薇. 长江经济带经济增长质量与生态环境优化耦合协调度研究[J]. 软科学, 2019, 33(5):117-122.
- [33]马艳. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调效应测度与交互胁迫关系验证[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(2):275-286.
- [34]李研. 中国数字经济产出效率的地区差异及动态演变[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(2):60-77.
- [35]袁华锡, 刘耀彬, 胡森林, 等. 产业集聚加剧了环境污染吗?——基于外商直接投资视角[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(4):794-804.
- [36]黄勤, 林鑫. 长江经济带建设的指标体系与发展类型测度[J]. 改革, 2015(12):33-41.
- [37]陈阳, 孙婧, 逯进. 城市蔓延和产业结构对环境污染的影响[J]. 城市问题, 2018(4):18-25.
- [38]汪聪聪, 王益澄, 马仁锋, 等. 经济集聚对雾霾污染影响的空间计量研究——以长江三角洲地区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1):1-11.