

长江经济带沿线城市绿色发展水平时空演变特征

韩晶 陈曦¹

(北京师范大学 经济与资源管理研究院, 北京 100875)

【摘要】: 绿色发展是长江经济带沿线城市在坚持生态保护的前提下实现经济发展与环境改善的关键。文章通过运用包含非期望产出的方向距离函数、Malmquist 指数模型、泰尔指数、全局莫兰指数、Gets-OrdG*i 指数等方法, 探索 2005—2017 年长江经济带沿线 108 个地级以上城市绿色发展水平的时空演变特征, 基于面板 Tobit 模型考察长江经济带沿线城市绿色发展水平的影响因素, 研究表明: 长江经济带沿线城市绿色发展水平在时序上呈现出“M”形的上升路径, 绿色发展水平从 0.858 提升至 0.876, 且大多数城市绿色发展动态水平的提升依靠技术驱动或者技术和效率的“双重驱动”; 长江经济带沿线城市的绿色发展水平呈现出“两头高、中间低”的空间格局, 绿色发展水平相近的城市表现出“大连片、小散落”的集聚态势, 且近年来集聚态势不断增强; 长江经济带沿线城市绿色发展水平存在明显差异, 上海、苏州、无锡、常德、自贡、资阳等城市绿色发展水平较高, 而保山、淮北、思茅、十堰、淮南等城市绿色发展水平较低, 而区域内差异是总体差异的主要来源。

【关键词】: 绿色发展 时空特征 影响因素

【中图分类号】: F127; F06202 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1007-5097 (2021) 01-0024-11

一、引言

2016 年中共中央政治局审议通过《长江经济带发展规划纲要》是推动长江经济带发展重大国家战略的纲领性文件, 标志着长江经济带的发展正式进入快车道。但改革开放以来经济的快速增长和资源的过度开发使得长江流域生态功能退化严重, 三分之一的重要湖库长期处于“富营养化”状态, 生物完整性指数接近低端, 沿江产业三废排放量居高不下, 饮用水质安全频频受到威胁, 严峻的环境状况成为长江经济带发展的明显短板, 也成为习近平总书记最牵挂的问题之一。2016 年 1 月, 习近平总书记在重庆召开的推动长江经济带发展座谈会上强调: “当前和今后相当长一个时期, 要把修复长江生态环境摆在压倒性位置, 共抓大保护, 不搞大开发。”因此, 如何在坚持生态保护的前提下实现经济发展与环境改善, 探索出绿色发展的新路子, 是摆在长江经济带沿线每一个城市面前的热点和关键问题。

自 1989 年大卫·皮尔斯首次提出以环境保护为核心的绿色发展理念以来, 绿色发展相关的研究一直是国内外学者关注的重点之一, 研究成果主要集中在以下几个方面: 首先是绿色发展的内涵界定。学者们在研究绿色发展时, 大多侧重于经济、生态环境和资源的角度, 认为绿色发展是三者达到和谐统一的动态平衡过程^[1-2]。随着研究的不断深入, 人类福祉、社会福利也被纳入绿色发展的研究框架之下^[3-4], 即绿色发展是指活动主体以资源节约、环境友好的方式创造物质财富、生态财富和文化财富,

作者简介: 韩晶 (1975-), 女, 黑龙江牡丹江人, 教授, 经济学博士, 研究方向: 绿色经济;

陈曦 (1993-), 女, 河北承德人, 博士研究生, 研究方向: 绿色经济。

基金项目: 国家社会科学基金重点项目“新时代中国绿色发展的内生动力和长效机制研究”(18AJY010); 教育部人文社会科学基金规划项目“创新驱动中国工业绿色转型研究”(17YJA790025)

以实现自然经济社会的包容性增长。其次是绿色发展的评价标准，具体可以归纳为以下几点：一是以区域宏观经济的绿色指标为衡量标准，如生态需求指标、国内生产净值指标、真实储蓄率指标和绿色 GDP 指标等^[5]；二是在以环境、能源、生态约束下测算的区域绿色效率为衡量标准，如绿色全要素生产率^[6-7]、绿色经济效率^[8-9]、绿色发展绩效等^[10-11]；三是以区域绿色指数或综合评价等为衡量标准，如绿色竞争力指数^[12-13]、绿色发展指数等^[14-16]。最后是绿色发展的影响因素，在已有的文献中，国内外学者将绿色发展同经济、环境、社会的方方面面相结合，认为科技水平、城市化水平、对外开放、环境规制、资源禀赋、产业结构、城市规模等因素都会对地区的绿色发展水平产生较大影响^[17-20]。

众多关于绿色发展的相关研究成果为后续研究提供了必要的参考和方向，但就研究粒度而言，现有研究大多从省域层面出发，且较长时间内未有明显变化，对于经济带的研究，尤其是关于经济带中城市层面的研究涉及较少。基于此，本文以 2005—2017 年长江经济带沿线 108 个地级以上城市为研究对象，采用包含非期望产出的方向距离函数测算城市层面的绿色发展水平，通过多种空间尺度分析方法探索城市层面绿色发展水平的时空演变特征，在此基础上基于面板 Tobit 模型评估长江经济带沿线城市绿色发展水平的影响因素，以期修复长江流域生态环境、释放沿线城市发展活力、发挥长江经济带在中国高质量发展中的引领示范作用提供决策依据。

二、数据来源与研究方法

（一）数据来源

本文以长江经济带沿线 108 个地级及以上城市为研究对象，同时依据区域地理位置将长江经济带划分为下游地区（沪、苏、浙、皖）、中游地区（赣、鄂、湘）和上游地区（渝、川、滇、黔）。数据来源于《中国城市统计年鉴》（2004—2018 年）、《中国城市建设统计年鉴》（2005—2017 年）以及 2005—2017 年各城市的国民经济和社会发展统计公报。

（二）研究方法

1. DDF-Malmquist 模型

一般来说，测度绿色发展水平要以绿色发展的实质性内涵为核心，尽可能地协调经济增长、资源节约、环境友好之间的矛盾。Chung^[21]提出的方向距离函数模型（Directional Distance Function, DDF）为精准分析此类问题带来可能。该模型以边界利益最大化为主要目的，一方面提升期望产出，另一方面降低非期望产出，完美契合了绿色发展的核心理念。因此，本文采用投入视角下考虑非期望产出、固定规模报酬不变的 DDF 模型对中国城市绿色发展水平进行测度，其计算公式如下：

$$\theta_k = \frac{1 - \frac{1}{\sum w_i^c} \sum w_i^c \alpha g_{xi} / x_{ik}}{1 + \frac{1}{w^c + w^b} \left(w^c \frac{1}{\sum w_i^c} \sum w_i^c \beta g_{yi} / y_{ik} + w^b \frac{1}{\sum w_i^b} \sum w_i^b \gamma g_{bi} / y_{ik} \right)}$$

$$\text{s.t. } X\lambda + \alpha g_x \leq x_k, Y\lambda - \beta g_y \geq y_k,$$

$$B\lambda - \gamma g_b \leq b_k, \lambda \geq 0$$

其中： θ_k 为效率值，代表城市绿色发展水平； x_k 、 y_k 、 b_k 分别为投入、期望产出和非期望产出； w_i^c 、 w^c 、 w^b 分别为投入、期望产出和非期望产出所占权重； $\alpha g_{xi}/x_{ik}$ 、 $\beta g_{yi}/y_{ik}$ 、 $\gamma g_{bi}/y_{ik}$ 分别为各项投入、期望产出和非期望产出的改进比例。

此外绿色发展是一个长期、连续的过程，Pastor & Lovell^[22]提出全局参比 Malmquist 指数（Global Malmquist）将绿色发

展水平从静态分析拓展至动态分析，并在此基础上进一步将绿色发展水平的变动情况分解为技术效率的变化（Technical Efficiency Change, EC）和生产技术的变化（Technological Change, TC），具体计算公式如下：

$$M_g(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^g(x^t, y^t)} = \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)} \left(\frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{E^t(x^t, y^t)}{E^g(x^t, y^t)} \right) = EC \times TC_g$$

2. 泰尔指数

泰尔指数以熵值概念为基础，最初被应用于收入差异的分析，其最大的优点是可以将总差距分解为组内差距和组间差距，从而可以更加清晰有效地分析差距来源。本研究在此引入 Theil 指数来测度长江经济带沿线城市绿色发展水平的差异程度，具体计算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{Theil} &= \text{Theil}_B + \text{Theil}_W \\ \text{Theil}_B &= \sum_{k=1}^K y_k \ln \left(\frac{y_k}{n_k/n} \right) \\ \text{Theil}_W &= \sum_{k=1}^K y_k \left(\sum_{i \in g_k} \frac{y_i}{y_k} \ln \left(\frac{y_i/y_k}{1/n_k} \right) \right) \end{aligned}$$

其中：Theil_B、Theil_W分别为组间差距和组内差距；n代表长江经济带城市总数，这些城市被分为K个群组，每组城市个数分别为g_k(K=1, 2, ..., k)，第K组中的城市数量为n_k；城市i的绿色发展水平同长江经济带绿色发展水平的比值为y_i；K组的城市绿色发展水平同长江经济带绿色发展水平的比值为y_k。

3. 空间自相关

空间自相关用于研究空间相互作用和空间扩散条件下在同一空间分布内数据的相互依赖程度，就某种特征值对空间自相关程度进行准确度量。本研究采用莫兰指数（Moran. I）来测度长江经济带沿线城市绿色发展水平的分布状态和集聚程度，即

$$\text{Moran's } I = \frac{(n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} |x_i - \bar{x}| |x_j - \bar{x}|)}{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]}$$

其中：n为城市数量；x_i、x_j分别为城市i、城市j的绿色发展水平；x⁻为沿线城市绿色发展平均水平；w_{ij}为空间关系权重矩阵。Moran. I的数值分布在[-1, 1]之间，其数值越大，表示城市绿色发展水平在空间上的集聚态势就越明显。

此外，本文采用标准统计量Z来判断n个城市是否存在空间自相关关系，即

$$Z = [I - E(I)] / \sqrt{\text{Var}(I)}$$

从结果来看，城市绿色发展水平存在哪种空间自相关关系，取决于 Z 值的正负。显著的正值表示正相关，显著的负值表示负相关，为 0 时则不存在自相关关系。

此外，为进一步分析长江经济带沿线各城市绿色发展水平之间的局域关联特征，本文运用 GetsOrdGi* 指数识别经济带沿线城市绿色发展水平的冷点区和热点区，计算公式如下：

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}(d) x_j}{\sum_{j=1}^n x_j}$$

其中： n 为城市数量； x_i 为城市 i 的绿色发展水平； w_{ij} 为空间关系权重矩阵。若 G_i^* 为正值，则表明城市 i 周围值相对较高，为热点区；反之城市 i 周围值相对较低，为冷点区。

长江经济带城市绿色发展水平评价指标体系见表 1 所列。

表 1 长江经济带城市绿色发展水平评价指标体系

类型	一级	二级
投入	劳动力	单位从业人员期末数
	资本	社会固定资产投资（永续盘存法估计）
	能源	全社会用电量
产出	期望产出	地区生产总值（2005 年不变价）
	非期望产出	工业废水排放量
		工业二氧化硫排放量
		工业烟粉尘排放量

三、时空演变特征分析

（一）时序特征

1. 长江经济带沿线城市静态绿色发展水平分析

由 DDF 模型计算结果可知，2005—2017 年长江经济带沿线城市绿色发展水平呈现出“上升—下降—上升—下降”的“M”形上升路径，如图 1 所示。2005 年长江经济带沿线城市绿色发展水平指数为 0.858，此后逐年上升，于 2011 年达到观测期内的峰值 0.892，2012 年经济带沿线城市绿色发展水平指数出现大幅度下降，绿色发展水平指数下降至 0.866，2013 年的 0.865 同 2012 年几乎持平，自 2013 年以后绿色发展水平又呈现缓慢上升趋势，2015 年达到新的小峰值（0.890）后，2016 年、2017 年缓慢下降，绿色发展水平指数分别为 0.881、0.876。结合发展实际来看，2005 年正值中国“十二五”开局之年，长江经济带沿线城市绿色发展水平得以不断提升，尽管经历了 2008 年的金融危机，但直到 2011 年经济带沿线城市绿色发展水平始终保持上升趋势，而近年来资源环境约束日益趋紧，“三期叠加”的阶段性特征明显，使得绿色发展水平出现波动，但仍然保持在较高水平。

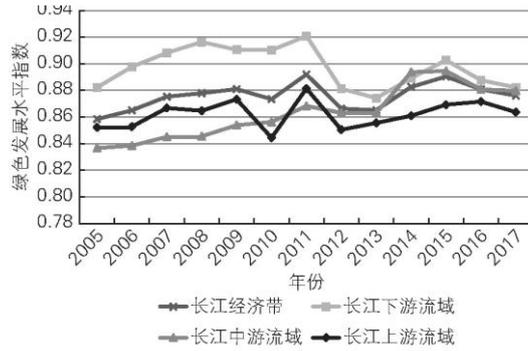


图 1 2005—2017 年长江经济带整体及区域绿色发展水平变化趋势

分城市来看，长江经济带沿线各城市绿色发展水平差异较大，上海、苏州、无锡、常德、黄冈、金华、台州、长沙、自贡、资阳等城市除个别年份外，几乎都位于效率前沿，绿色发展水平较高；而孝感、黄石、保山、淮北、思茅、十堰、淮南等城市始终距离最优前沿较远，绿色发展水平较低。此外，从样本期内每个城市的绿色发展水平值来看，上游地区的重庆、成都、贵阳等 21 个城市，中游地区的南昌、景德镇、武汉等 28 个城市，下游地区的上海、南京、无锡、合肥等 23 个城市与最优前沿距离相对缩小（或始终处在最优前沿面上），在实现经济增长的同时很好地控制了污染物的排放，因此在样本期内绿色发展水平有所提升，但仍存在上游地区的达州、绵阳、玉溪等 10 个城市，中游地区的宜春、十堰、孝感等 8 个城市，下游地区的泰州、宿迁、舟山等 18 个城市与最优前沿距离逐渐加大，这些城市在控制污染物排放方面仍存在一定的短板，制约了其绿色发展水平的提升。

2. 长江经济带沿线城市动态绿色发展水平分析

由 Global Malmquist 指数的计算结果可知，各城市在不同时期的 Malmquist 指数在 0.749~1.367 之间，其中 2006 年城市绿色发展动态水平提高的城市数量最少，仅有 8 个城市的 Malmquist 指数大于 1，2009 年城市绿色发展动态水平提高的城市数量最多，全部城市的 Malmquist 指数大于 1，即经济带沿线所有城市绿色发展动态水平均有所提高。由 Global Malmquist 指数可累乘的性质，将样本期内相邻两年的 Malmquist 指数累乘，可分析 2005—2017 年长江经济带沿线城市绿色发展水平的动态变化。由于篇幅限制，本研究仅列出样本期内累乘后被评价单元首末年份的 Malmquist 指数，见表 2 所列。

表 2 2005—2017 年长江经济带沿线城市绿色发展水平动态变化

城市	长江下游流域			城市	长江中游流域			城市	长江上游流域		
	EC	TC	MI		EC	TC	MI		EC	TC	MI
上海	1.000	1.135	1.135	南昌	0.986	1.050	1.036	重庆	1.145	0.988	1.132
南京	1.026	1.044	1.071	景德镇	0.993	1.010	1.003	成都	0.984	1.022	1.005
无锡	1.000	1.032	1.032	萍乡	0.984	1.011	0.994	自贡	1.000	1.050	1.050
徐州	1.003	1.026	1.029	九江	1.008	1.003	1.011	攀枝花	1.012	1.015	1.027
常州	1.000	1.026	1.026	新余	0.991	1.048	1.038	泸州	0.985	1.030	1.015
苏州	0.985	1.068	1.052	鹰潭	1.012	1.008	1.020	德阳	1.001	1.048	1.049
南通	0.995	1.037	1.032	赣州	0.997	1.007	1.004	绵阳	0.982	1.093	1.073
连云港	0.996	1.019	1.015	吉安	1.001	1.008	1.009	广元	0.981	1.033	1.013
淮安	1.004	1.027	1.032	宜春	1.003	1.000	1.003	遂宁	0.887	1.056	0.936
盐城	0.992	1.061	1.053	抚州	1.001	1.010	1.012	内江	0.881	1.141	1.006

扬州	1.002	1.053	1.055	上饶	1.015	0.990	1.005	乐山	1.013	1.020	1.033
镇江	0.999	1.054	1.053	武汉	0.975	1.063	1.037	南充	0.989	1.026	1.015
泰州	0.985	1.041	1.025	黄石	0.997	1.025	1.021	眉山	0.978	1.011	0.989
宿迁	1.006	1.012	1.017	十堰	0.986	1.029	1.014	宜宾	0.995	1.010	1.004
杭州	1.000	1.043	1.043	宜昌	0.991	1.090	1.080	广安	0.973	1.033	1.005
宁波	0.979	1.077	1.054	襄阳	0.984	1.045	1.028	达州	0.968	1.029	0.996
温州	0.997	1.047	1.044	鄂州	0.997	1.028	1.025	雅安	0.985	1.039	1.023
嘉兴	0.990	1.088	1.077	荆门	0.991	1.046	1.037	巴中	1.000	1.000	1.000
湖州	0.992	1.014	1.007	孝感	0.994	1.002	0.995	资阳	1.000	0.978	0.978

续表

城市	长江下游流域			城市	长江中游流域			城市	长江上游流域		
	EC	TC	MI		EC	TC	MI		EC	TC	MI
绍兴	1.000	1.059	1.059	荆州	0.991	1.083	1.073	贵阳	0.985	1.001	0.986
金华	1.000	1.042	1.042	黄冈	1.000	1.075	1.075	六盘水	1.030	0.986	1.015
衢州	0.995	1.009	1.004	咸宁	0.990	1.031	1.020	遵义	0.982	1.073	1.053
舟山	0.989	1.053	1.041	随州	1.050	1.063	1.116	安顺	1.005	1.081	1.086
台州	1.006	1.030	1.037	长沙	1.000	1.038	1.038	昆明	0.982	1.007	0.989
丽水	0.992	1.031	1.023	株洲	0.987	1.028	1.015	曲靖	0.996	1.023	1.019
合肥	0.980	1.042	1.021	湘潭	0.980	1.041	1.021	玉溪	0.929	1.069	0.993
芜湖	0.984	1.044	1.027	衡阳	0.984	1.029	1.013	保山	0.985	1.014	0.998
蚌埠	0.992	1.057	1.048	邵阳	1.010	1.043	1.053	昭通	0.979	1.024	1.002
淮南	1.005	1.001	1.006	岳阳	1.011	1.123	1.136	丽江	0.995	1.009	1.004
马鞍山	1.005	1.005	1.010	常德	1.000	1.094	1.094	思茅	1.000	1.001	1.001
淮北	1.001	1.005	1.006	张家界	1.038	1.143	1.187	临沧	1.141	0.883	1.007
铜陵	0.987	1.012	0.999	益阳	0.994	1.017	1.011				
安庆	0.984	1.057	1.040	郴州	0.988	1.110	1.096				
黄山	0.977	1.026	1.002	永州	1.029	1.048	1.078				
滁州	0.983	1.067	1.049	怀化	1.003	1.059	1.061				
阜阳	0.982	1.033	1.014	娄底	0.986	1.058	1.043				
宿州	0.993	1.022	1.015								
六安	0.980	1.022	1.002								
亳州	0.997	1.066	1.062								
池州	0.989	1.053	1.042								
宣城	0.980	1.115	1.093								

由表 2 可知，2017 年长江经济带沿线 108 个城市中，有 96 个城市的绿色发展动态水平高于 2005 年，这表明经济带沿线绝大部分城市的绿色发展动态水平相比于 2005 年是上升的。其中，在长江下游地区的 41 个城市中，仅有铜陵市的绿色发展动态水平是下降的，在长江中游地区的 36 个城市中，仅有萍乡、孝感 2 个城市的绿色发展动态水平是下降的，在长江上游地区的 31

个城市中，遂宁、眉山、达州、资阳、贵阳、昆明、玉溪、保山 8 个城市的绿色发展动态水平是下降的。进一步将 Malmquist 指数分解为技术变化和效率变化，从技术变化的角度来看，2005—2017 年长江经济带沿线 108 个城市中仅有上饶、重庆、资阳、六盘水、临沧 5 个城市的技术变化小于 1，宜春和巴中 2 个城市的技术变化等于 1，其他 101 个城市技术变化都大于 1，表现为不同程度的技术进步。从效率变化的角度来看，2005—2017 年长江经济带沿线 108 个城市中有南京、扬州、台州等 29 个城市的效率变化大于 1，上海、无锡、常州等 8 个城市的效率变化等于 1，而其余 71 个城市的效率变化都小于 1。这表明长江经济带沿线城市绿色发展动态水平的提升大都依靠技术驱动或者技术和效率的双重驱动，只有上饶、重庆、六盘水、临沧四个城市绿色发展动态水平的提升是单纯依靠效率驱动的。

（二）空间特征

1. 总体分布特征

本研究以绿色发展水平为主要分级依据，以 0.778、0.875 和 0.937 为临界值，将 2005 年、2009 年、2013 年和 2017 年长江经济带沿线城市绿色发展水平分为 4 个等级进行空间可视化制图，直观展示经济带沿线城市绿色发展水平的空间分布特征，具体如图 2 所示。

整体来看，四个时间截面的绿色发展水平均呈现明显的空间分异特征，总体上呈现出“两头高，中间低”的空间格局，绿色发展水平相近的城市表现出“大连片、小散落”的集聚态势。

具体来看，绿色发展水平最高的城市主要分为两种类型：一种是如无锡、上海、常州、苏州、杭州等经济发展水平较高的城市，另一种是如临沧、达州、自贡、巴中等污染排放水平较低的城市，这在一定程度上表明城市的绿色发展水平受经济和环境双重机制的制约。绿色发展水平较高的城市基本围绕在绿色发展水平最高的城市周围，如上游地区的乐山、宜宾、保山、广安等城市，中游地区的益阳、岳阳、荆州等城市，下游地区的宣城、湖州、镇江、嘉兴等城市，这在一定程度上验证了绿色发展水平高的城市空间正向溢出效应较为明显，可辐射带动周边城市提升绿色发展水平。相比之下，绿色发展水平居中的城市在地理位置上同高绿色发展水平的城市一般相隔较远，因此高绿色发展水平的城市对其辐射影响力有限，如上游地区的连云港、常州、南通等城市，中游地区的恩施、黄冈、吉安等城市，下游地区的舟山、绍兴等城市。绿色发展水平较低的城市在经济带沿线城市中占比逐年减少，且基本分布在长江中游和上游地区，如十堰、孝感、鄂州、安顺等城市，这些城市在经济发展和控制污染物排放方面都存在一定的短板，制约了其绿色发展水平的提升。

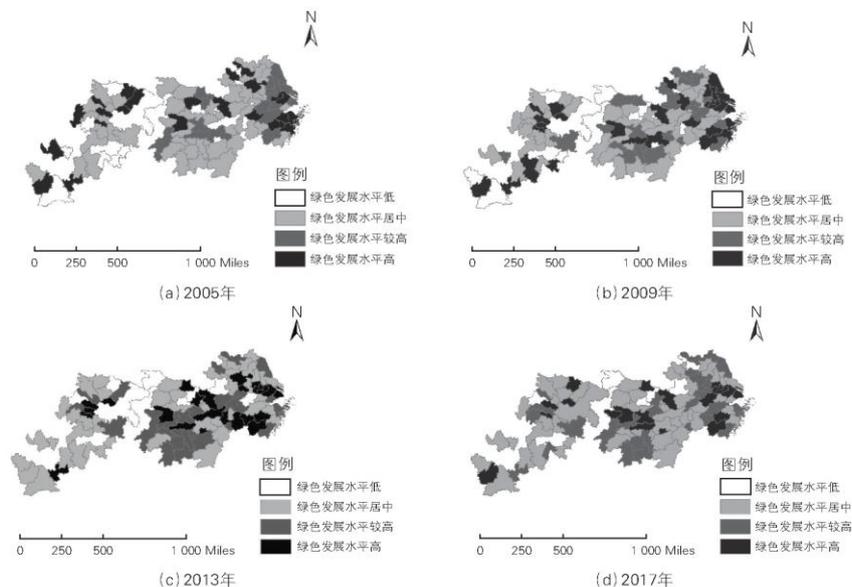


图 2 长江经济带沿线城市绿色发展水平空间分布

注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图（审图号为 GS(2016)2893 号）绘制，底图无修改。

2. 区域分布差异

为了进一步分析长江经济带沿线城市绿色发展水平的时空分异特征，本研究运用泰尔指数来定量分析长江经济带沿线城市绿色发展水平的空间分布差异，计算结果如图 3 所示。

(1) 总体差异。2005 年泰尔总指数 (T) 为 0.1007, 2017 年泰尔总指数为 0.0690, 观测期内泰尔总指数有所减小, 总体差异呈现“先升后降”的下降趋势。具体分阶段来看: 2005—2009 年, 泰尔总指数呈现不断上升趋势, 2009 年泰尔总指数达到观测期内的峰值 (0.1141), 此时总体差异最大; 2010—2017 年, 泰尔总指数不断下降, 2017 年泰尔总指数降至观测期内的谷值 (0.0690), 此时总体差异最小。

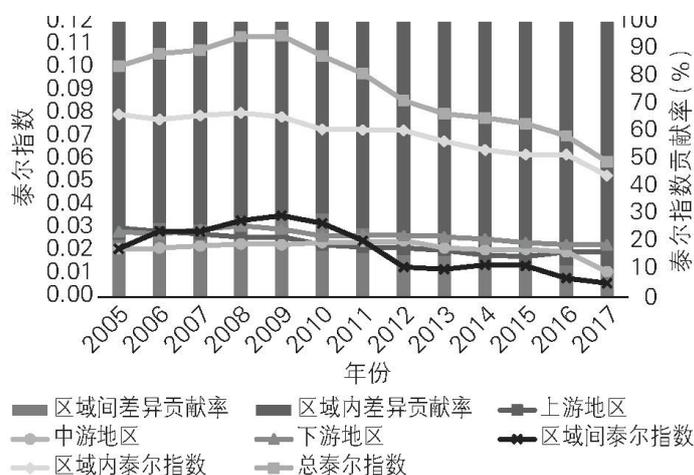


图 3 2005—2017 年长江经济带沿线城市绿色发展水平地区差异

(2) 区域间差异。2005 年区域间泰尔指数 (T_B) 为 0.0211, 2017 年区域间泰尔指数为 0.0060, 观测期内区域间泰尔指数有所减小, 区域间差异的变动趋势与泰尔总指数基本一致。具体来看: 2005—2009 年, 除 2007 年指数同 2006 年相比稍有下降外, 区域间泰尔指数整体呈现上升趋势, 三大流域间地区差异不断扩大, 2009 年区域间泰尔指数达到观测期内的峰值 (0.0355), 此时区域间差异最大; 2010—2017 年, 除 2014 年指数同 2013 年相比有所上升外, 区域间泰尔指数整体呈现下降趋势, 三大流域间地区差异不断缩小, 2017 年区域间泰尔指数降至观测期内的谷值 (0.0060), 此时区域间差异最小。

具体来看, 经济带沿线三大地区城市绿色发展水平由高到低分别为长江下游地区、长江上游地区和长江中游地区。其中, 长江下游地区依靠区位和政策的双重优势, 率先实现经济增长和环境保护的双赢, 从而拥有最高的绿色发展水平; 长江上游地区得益于较高的环境质量, 使得其绿色发展水平较高; 长江中游地区前期受环境压力和劳动力成本的双重约束, 绿色发展水平较低, 近年来得益于产业结构优化、生态效益提高, 绿色发展水平快速提升, 但整体仍低于下游、中游地区。整体来看, 2005 年三大地区间城市绿色发展水平差值为 0.044, 2017 年三大地区间城市绿色发展水平差值为 0.019, 三大地区间城市绿色发展水平差距逐渐缩小。

(3) 区域内差异。2005 年区域内泰尔指数 (T_W) 为 0.0797, 2017 年区域内泰尔指数为 0.0530, 观测期区域内泰尔指数整体

呈“震荡下降趋势”，但相对波动较小。具体分阶段来看，除了2006年区域内泰尔指数有所下降外，2005—2008年区域内泰尔指数不断上升，区域内差异不断扩大，2008年区域内泰尔指数达到观测期内的峰值（0.0803），表明该时间点区域内绿色发展水平差异达到最大。而在2008年以后，泰尔指数整体向下不断下降，区域内绿色发展水平差异逐渐缩小，并在2017年取得最小化差异。

分地区来看，下游地区泰尔指数除了2005年、2006年稍低于上游地区外，其余年份始终高于上游地区和中游地区，说明下游地区各城市间的绿色发展水平差异要大于上游和中游地区各城市之间的差异；中游地区的泰尔指数除了2010—2015年6个年份略高于上游地区外，其余年份都要低于上游地区。中游地区各城市相比上游地区和下游地区的城市，总体差异最小，相比其他两个地区的绿色发展水平，中游地区各城市间的发展较为均衡。

（4）差异原因。造成长江经济带中下游区域内城市绿色发展水平差异分化严重的主要原因是区域内差异，相比之下区域间差异的影响则低很多。区域内差异的平均贡献率为78.6%，区域间差异的平均贡献率仅有21.4%。分区域来看，下游地区对区域内差异贡献度最高，平均贡献率为29.69%；上游地区次之，平均贡献率为25.36%；中游地区最低，平均贡献率为23.52%。此外就贡献率均值来看，三大流域区域内差异均大于区域间差异，这表明三大流域内部发展不均衡是制约绿色发展水平提升的重要短板。

3 区域关联特征

为继续探究长江经济带沿线城市绿色发展水平空间集聚态势与演变特征，本研究运用全局空间自相关模型，测度全局Moran's I，结果见表3所列。根据计算结果，2005—2017年长江经济带城市绿色发展水平的Moran's I均通过显著性检验，P值均小于0.01，且Z值显著为正，表明长江经济带各城市间绿色发展水平存在明显的空间正向集聚效应。此外Moran's I值从0.311上升至0.329，表明空间集聚态势逐渐增强。

表3 2005—2017年长江经济带城市绿色发展水平全局自相关指数

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Moran' I	0.311	0.302	0.304	0.327	0.330	0.368	0.354	0.378	0.379	0.353	0.350	0.344	0.329
P	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.005	0.002	0.002	0.001	0.001
Z	4.722	4.577	5.204	5.301	5.943	5.943	5.795	6.084	6.227	5.718	5.697	5.611	5.446

鉴于区域内差异是影响长江经济带沿线城市绿色发展水平的主要原因，为进一步挖掘其区域关联属性，本研究利用Getis-OrdG_i^{*}指数绘制长江经济带沿线城市绿色发展水平冷热点演变趋势图，如图4所示。

总体上看，长江经济带绿色发展水平逐步改善，热点区从零星分布向斑块状聚集分布，但冷点区城市数量同样显著增加。由此可见，长江经济带沿线城市绿色发展水平波动起伏较大、区域内城市间绿色发展水平差异化明显的问题较突出。具体来看，2005年热点区有2个，分别是泰州和衢州，冷点区有4个，分别是阜阳、十堰、广元和遵义；2009年热点区上升至6个，分别是湖州、泰州、南京、常州、益阳和孝感，冷点区有5个，分别是徐州、阜阳、随州、黄冈和广安；2013年热点区有11个，分别是温州、台州、宁波、南通、泰州、苏州、无锡、普洱、昆明、六盘水，同时长江中游的萍乡也成为热点区，冷点区有8个，分别是亳州、黄冈、黄石、咸宁、遵义、安顺、玉溪和临沧；2017年热点区同样有11个，分别是苏州、泰州、台州、湖州、杭州、无锡、衢州、绍兴、宁波、成都和普洱，冷点区有8个，分别是亳州、黄冈、临沧、玉溪、曲靖、安顺、遵义和自贡。

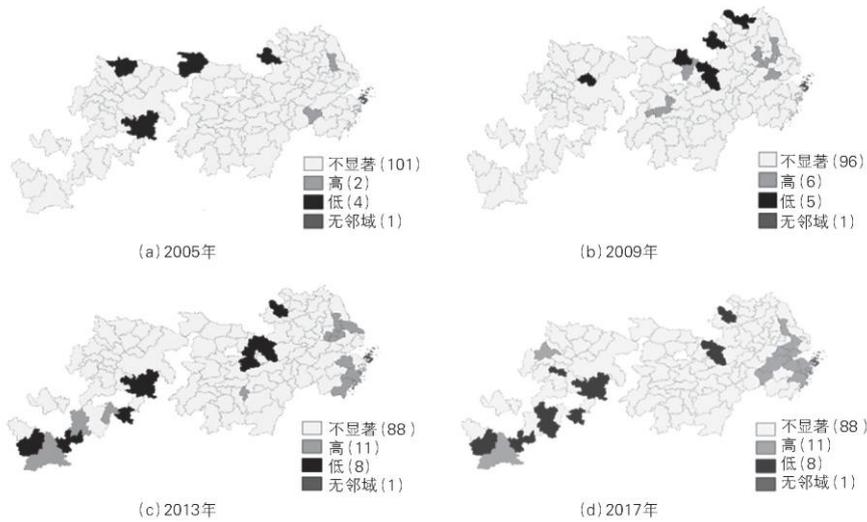


图 4 长江经济带沿线城市绿色发展水平冷热点分布趋势

四、影响因素

长江经济带沿线城市绿色发展水平的时空分异特征明显，不同流域及不同规模的城市绿色发展水平存在明显的差异性和关联性，本研究以发掘长江经济带可持续发展面临的挑战和问题为研究目标，通过构建长江经济带沿线城市绿色发展水平的影响因素模型，系统量化多因素作用下长江经济带沿线城市绿色发展水平演变的作用机制。

(一) 模型设定与变量选取

结合现有研究成果，从经济实力、产业结构、外商投资、科技水平、人口集聚程度、环境规制强度 6 个方面选取长江经济带沿线城市绿色发展水平的影响因素，具体见表 4 所列。

由于城市绿色发展水平的取值范围介于 0~1 之间，达到最优状态时绿色发展水平值为 1，事实上是将最右端值归并为 1，因此适用于归并数据的面板 Tobit 模型。基于此，本文引入面板 Tobit 计量模型对长江经济带沿线绿色发展水平的影响因素进行估计分析，同时为避免各种自变量的波动干扰，对所有的自变量取自然对数处理，最终设定模型如下：

$$\ln Y_i^t = \beta_0 + \beta_1 \ln eco_i^t + \beta_2 \ln di_i^t + \beta_3 \ln fdi_i^t + \beta_4 \ln tec_i^t + \beta_5 \ln per_i^t + \beta_6 \ln env_i^t + \varepsilon_i^t$$

其中： β_0 、 β_i 分别为常数项系数和解释变量系数； Y_i^t 为各城市绿色发展水平； ε_i^t 为随机误差项。

表 4 长江经济带沿线城市绿色发展水平影响因素

影响因素	指标
经济实力	人均 GDP
产业结构	第三产业产值/第二产业产值
外商投资	实际利用外资额/GDP

科技水平	城市创新指数
人口集聚程度	人口密度
环境规制强度	环境规制指数

注：城市创新指数来自复旦大学产业发展研究中心发布的《中国城市和产业创新力报告》；环境规制指数借鉴赵宵伟（2014）[23]提出的计算方法，已有文献中多有提及，在此不加赘述。

（二）综合作用机制

在数据校验前，首先对分析数据通过单位根校验的方式，进行“去伪回归化”处理，本研究采用 Fisher 检验模型，均包含截距项、不含趋势项且滞后一期的 ADF 回归形式，所有变量都拒绝了含有单位根的原假设，即可认定为平稳序列，可以用于接下来的回归分析。单位根检验结果见表 5 所列。

表 5 面板数据单位根检验结果

变量	Fisher-ADF 检验				结果
	P	Z	L	Pm	
lny	543.1126	-13.2952	-13.3264	15.7387	平稳
lneco	561.1164	-13.7376	-13.9062	16.6045	平稳
lnind	602.7308	-14.8283	-15.9027	18.6066	平稳
lnfdi	669.7310	-16.0706	-16.7912	21.8301	平稳
ln tec	561.7255	-12.8717	-13.4466	16.6337	平稳
lnper	675.1231	-16.3265	-17.1438	22.0896	平稳
lnenv	903.7962	-22.3279	-23.8794	33.0916	平稳

鉴于长江经济带沿线各区域内城市的绿色发展水平差异较大，故进一步以 2005—2017 年经济带沿线城市绿色发展水平均值为依据对经济带沿线 108 个城市进行分类，将经济带沿线城市绿色发展水平分为“领头型”“追赶型”“潜力型”三种类型，分组结果见表 6 所列，在此基础上，通过对全样本和分样本分别进行回归分析，分组检验上述因素对城市绿色发展水平的影响。

表 6 长江经济带沿线城市绿色发展水平分组结果

地区	领头型	追赶型	潜力型	合计
上游地区	8	8	15	31
中游地区	7	14	15	36
下游地区	21	14	6	41
合计	36	36	36	108

“领头型”城市绿色发展水平均值在 0.896~1 之间，“追赶型”城市绿色发展水平均值在 0.845~0.895 之间，“潜力型”城市绿色发展水平均值在 0.756~0.844 之间。整体来看，上游地区拥有较多数量的“潜力型”城市，中游地区“潜力型”城市数量与“追赶型”城市数量几近相同，下游地区拥有较多数量的“领跑型”城市。对全样本和子样本的回归结果见表 7 所列。

表 7 长江经济带沿线城市绿色发展水平影响因素估计结果

项目	变量	全样本回归	Z 值	领头型	Z 值	追赶型	Z 值	潜力型	Z 值
解释变量	lneco	0.0520***	7.36	0.038***	3.100	0.031***	3.260	0.039***	4.270
	lnind	0.0193**	2.07	0.011**	2.680	0.015**	1.440	0.023*	1.860
	lnfdi	0.0005**	0.34	0.008**	2.110	-0.007**	-2.340	-0.003	-0.930
	ln tec	-0.0191***	-6.13	-0.023***	-4.360	-0.009***	-2.200	-0.006	-1.390
	lnper	0.0206***	6.22	0.021***	3.960	-0.008**	-2.200	0.002	0.530
	lnenv	0.0211***	6.51	0.020***	3.810	0.009**	2.290	0.002	0.490
常数项	C	-0.773***	-10.64	-0.532***	-4.220	-0.532	-4.800	-0.621	-6.390
相关检验	sigma_u	0.0598		0.041		0.008		0.028	
	sigma_e	0.0579		0.055		0.065		0.049	
	Rho	0.0516		0.351		0.015		0.238	
	loglikelihood	1861.419		655.068		610.262		688.712	

注：***表示在 1%的显著水平下显著，**表示在 5%的显著水平下显著。

就全样本回归结果来说，六大影响因素除科技水平外，均对绿色发展水平提升表现出显著的正向影响。

经济实力对经济带沿线城市绿色发展水平的影响最大，回归系数为 0.0520，且在 1%的显著水平下显著，即经济实力对城市绿色发展水平具有显著的正向影响。经济实力的不断提升是城市价值创造和社会福利提升的基本体现，经济实力越强的城市，一方面生态环境有相对充足的资金进行治理和补偿，另一方面绿色技术也有相对充足的资金进行研发和推广，这都将促进绿色发展水平的不断提高。

产业结构对长江经济带沿线城市绿色发展水平有明显的正向促进作用，回归系数为 0.0193，在 5%的显著水平下显著。产业活动是联结经济活动与生态环境的重要载体，合理、高级的产业结构能够很好地促进经济效益的提升以及有效控制污染物的排放，从而促进绿色发展水平不断提高。

科技水平对经济带沿线城市绿色发展水平有明显的反向抑制作用，回归系数为-0.0191，在 1%的显著水平下显著。这与持有“绿色悖论”观点的学者^[24]观点一致，即技术创新倒逼机制尚未形成，究其原因，可能是长江经济带沿线城市提升科技水平更加注重经济效益，在一定程度上忽视了科技水平提升带来的环境成本，因此阻碍了城市绿色发展水平的提升。

外商投资对经济带沿线城市绿色发展水平有一定的正向促进作用，回归系数为 0.0005，在 5%的显著水平下显著。实际利用外资规模增加，不断引进国外先进的生产技术和管理理念，一方面为当地企业提高劳动生产率提供范本，另一方面也可以通过技术溢出效应带动当地企业进行节能环保生产，双管齐下，有助于提高经济带沿线城市绿色发展水平。

环境规制强度对经济带沿线城市绿色发展水平有明显的正向促进作用，回归系数为 0.0211，在 1%的显著水平下显著。良好的生态环境是最公平的公共产品，是最普惠的民生福祉，在当前生态文明建设和绿色发展的大背景下，适当提高环境规制强度，重视环境质量的提升，突破日益趋紧的资源环境约束，是城市实现绿色发展的重要途径。

人口集聚对经济带沿线城市绿色发展水平有较大的正向促进作用，回归系数为 0.0206，在 1%的显著水平下显著。人口高度集聚一方面为地区经济发展带来充足的劳动力资本，极大地促进了地区的经济增长，另一方面带来大量的高质量环境需求，倒

通政府注重生态环境，这都将促进城市绿色发展水平的提升。

就分样本回归结果来看：

对于“领头型”城市，经济实力、人口集聚、环境规制、产业结构和外商投资均对城市绿色发展水平有显著的正向影响，且影响系数依次降低，科技水平对城市绿色发展水平有显著的负向影响，这与全样本回归结果基本一致。

对于“追赶型”城市，经济实力、产业结构和环境规制强度对城市绿色发展水平有显著的正向影响，影响系数依次降低，科技水平对城市绿色发展水平有显著的负向影响，与全样本回归结果不同的是，外商投资与人口集聚对“追赶型”城市绿色发展水平也产生了显著的负向影响。就外商投资来说，基于大多数“追赶型”城市自身经济发展水平与产业结构的现实，外资流入带来的技术溢出效应并未抵消其进入资本密集型产业引起的污染排放的增加，因而对绿色发展水平提升形成阻力；就人口集聚来说，“追赶型”城市伴随人口密度上升带来的劳动力红利并没有充分发挥，而不断聚集的人口对城市的生态环境提出了更大的承载挑战，在一定程度上阻碍了城市绿色发展水平的提升。

对于“潜力型”城市，仅有经济实力和产业结构对城市绿色发展水平有显著的正向影响，其余影响因素在统计学意义上都不显著，与全样本回归结果拥有较大差距，且从横向对比来看，经济实力与产业结构对“潜力型”城市绿色发展水平的正向提升作用最为明显，大多数“潜力型”城市聚集在经济发展水平相对落后的上游和中部地区，尚不能实现经济发展和环境保护的双赢，但可以通过产业结构的合理配置来实现经济的持续增长，进而促进城市绿色发展水平的提升。

五、结论与建议

本研究以 2005—2017 年长江经济带沿线 108 个地级以上城市为研究对象，以 DDF-Malquist 模型、泰尔指数、全局莫兰指数、Gets-Ord G_i^* 指数为主要工具，探索长江经济带沿线城市绿色发展水平的时空演变特征，在此基础上运用面板 Tobit 模型考察城市绿色发展水平的影响因素，得出如下的主要结论：

(1) 2005—2017 年长江经济带沿线城市整体绿色发展水平相对较高，绿色发展静态水平由 2005 年的 0.858 上升至 2017 年的 0.876，呈现出“上升—下降—上升—下降”的“M”形上升路径；上海、苏州、无锡、常德、自贡、资阳等城市绿色发展水平较高，而孝感、黄石、保山、淮北、思茅、十堰、淮南等城市绿色发展水平较低。此外，长江经济带沿线 108 个城市中有 96 个城市的绿色发展动态水平有所提升，大都单纯依靠技术驱动或者技术和效率的双重驱动。

(2) 2005—2017 年长江经济带沿线城市绿色发展水平总体上呈现出“两头高、中间低”的空间格局，且绿色发展水平存在显著空间溢出效应，地理距离相近的城市之间绿色发展水平受到彼此相互影响，绿色发展水平相近的城市表现出“大连片、小散落”的集聚态势。此外，热点区从零星分布向斑块状聚集分布，但冷点区城市数量同样显著增加，这表明经济带沿线城市绿色发展水平波动不稳，局部区域绿色发展水平差异过大问题依然突出。

(3) 对于全样本城市来说，经济实力、人口集聚程度、环境规制强度、产业结构和外商投资对经济带沿线城市绿色发展水平有显著的正向影响，且影响系数依次降低，而科技水平对城市绿色发展水平有显著的负向影响；对于分样本城市来说，各个因素对“领头型”城市的影响与全样本回归结果基本一致，但外商投资和人口集聚程度对“追赶型”城市绿色发展水平产生显著的负向影响，而仅有经济实力和产业结构对“潜力型”城市绿色发展水平有显著的正向影响。

基于此，本研究认为要切实提升长江经济带沿线城市的绿色发展水平，应立足于城市的发展实际，制定差异化的发展战略：对于“领跑型”城市，要明确自身优势，进一步优化资源配置效率，同时协调好环境保护、技术创新与经济增长之间的关系，以期发挥技术创新对绿色发展的正向促进作用；对于“追赶型”城市，要设置合理的外资引入门槛，对引入外资进行质量识别，

同时要结合城市自身的综合承载能力,防止人口过度集聚带来的负向效应;对于“潜力型”城市,当务之急是要增强经济实力,但不能以牺牲环境为代价,要以积极推进传统产业技术改造升级、鼓励新兴产业发展等方式优化产业结构,不断提升绿色发展水平。

参考文献:

- [1]丁任重.经济增长:资源、环境和极限问题的理论争论与人类面临的选择[J].经济学家,2005(4):11-19.
- [2]杜丽群.资源、环境与可持续发展[J].北京大学学报(哲学社会科学版),2003(3):117-123.
- [3]王海芹,高世楫.我国绿色发展萌芽、起步与政策演进:若干阶段性特征观察[J].改革,2016(3):6-26.
- [4]金乐琴.高质量绿色发展的新理念与实现路径[J].河北经贸大学学报,2018,39(6):22-30.
- [5]胡鞍钢,周绍杰.绿色发展:功能界定、机制分析与发展战略[J].中国人口·资源与环境,2014,24(1):14-20.
- [6]WAWAN R,PRIJONO T.Assessment of Green Total Factor Productivity Impact on Sustainable Indonesia Productivity Growth[J].Procedia Environmental Sciences.2015,28(7):493-501.
- [7]REILLY J M.Green Growth and the Efficient Use of Natural Resources[J].Energy Economics,2012,34:S85-S93.
- [8]黄庆华,胡江峰,陈习定.环境规制与绿色全要素生产率:两难还是双赢?[J].中国人口·资源与环境,2018,28(11):140-149.
- [9]谢婷婷,刘锦华.绿色信贷如何影响中国绿色经济增长?[J].中国人口·资源与环境,2019,29(9):83-90.
- [10]高赢.中国八大综合经济区绿色发展绩效及其影响因素研究[J].数量经济技术经济研究,2019,36(9):3-23.
- [11]LI W,XI Y Q.Green Development Performance of Water Resources and its Economic-related Determinants[J].Journal of Cleaner Production,2019,239(12):344-361.
- [12]郭喜,智颖飙.基于绿色发展背景下的区域竞争力研究:以内蒙古为例[J].中国人口·资源与环境,2011,21(S2):29-32.
- [13]关成华,韩晶.中国绿色发展指数年度报告:省际比较[M].北京:北京师范大学出版社,2010:35-40.
- [14]李晓西,刘一萌.人类绿色发展指数的测算[J].中国社会科学,2014,35(6):69-95,207-208.
- [15]程钰,王晶晶.中国绿色发展时空演变轨迹与影响机理研究[J].地理研究,2019,38(11):2745-2765.
- [16]蔡绍洪,魏媛.西部地区绿色发展水平测度及空间分异研究[J].管理世界,2017(6):174-175.
- [17]MULATU A,GERLAGH R.Environmental Regulation and Industry Location in Europe[J].Environmental&Resource Economics,2010,45(4):459-479.

-
- [18]张江雪, 蔡宁, 杨陈. 环境规制对中国工业绿色增长指数的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1):24-31.
- [19]韩晶, 孙雅雯. 产业升级推动了中国城市绿色增长吗?[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2019(3):139-151.
- [20]EGOROVA M, PLUZHNIC M. Trends of Green Economy Development as a Factor for Improvement of Economical and Social Prosperity[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2015, 166(1):194-198.
- [21]CHUNG Y H. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(11):229-240.
- [22]PASTOR J T, LOVELL C A. A Global Malmquist Productivity Index[J]. Economics Letters, 2005, 88(2):266-271.
- [23]赵霄伟. 地方政府间环境规制竞争策略及其地区增长效应——来自地级市以上城市面板的经验数据[J]. 财贸经济, 2014(10):105-113.
- [24]周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(10):2027-2044.