

长江经济带绿色发展水平时空分异特征与影响因素

林瑒焱 徐昔保 王维

中国科学院南京地理与湖泊研究所中国科学院流域地理学重点实验室

中国科学院大学 南京邮电大学地理与生物信息学院

摘要：绿色发展是区域高质量发展的核心内容之一，其时空格局演变与驱动机制分析有助于为政策制定提供科学依据。从绿色经济、绿色生产、绿色环境、绿色生态、绿色创新和绿色生活6个维度遴选构建长江经济带绿色发展水平评价指标体系，运用面板熵值-Critic法、Kernel核密度估计、空间自相关分析、空间杜宾模型等方法，探究2010~2019年长江经济带108个地级及以上城市绿色发展水平时空分异特征与影响因子，结果表明：(1)2010~2019年，长江经济带绿色发展水平总体呈上升趋势，空间分异特征较为显著，且整体差异逐渐扩大；(2)长江经济带绿色发展水平整体上存在空间依存和空间外溢性，且具有相对明显的空间俱乐部收敛特征，H-H集聚区主要位于下游地区的江浙沪一带，L-L集聚区分散分布于云贵川地区，带内两极分化现象较为明显；(3)经济发展、环境规制、科技进步、产业结构优化、政府支持力度、人力资源与自然资源条件对区域内以及区域间绿色发展均具有重要的正面影响。

关键词：长江经济带；绿色发展；面板熵值-Critic法；空间杜宾模型；时空分异

中图分类号： F124.5； X22 **文献标识码：** A **文章编号：** 1004-8227(2023)09-1822-12

DOI： 10.11870/cjlyzyyhj202309005

作者简介： 林瑒焱(1998~)，女，硕士研究生，主要研究方向为资源利用与生态效应。E-mail:linyangan20@mails.ucas.ac.cn；*徐昔保，E-mail:xbxu@niglas.ac.cn

收稿日期： 2022-12-09

基金： 中国科学院南京地理与湖泊研究所自主部署项目(NIGLAS2022GS06, NIGLAS2022GS09)；国家自然科学基金面上项目(42171296)

“绿色发展”最早出现在联合国开发计划署发布的《中国人类发展报告2002:绿色发展必选之路》中，是可持续发展理念的深化体现，是高质量发展的“过程观”，是在传统粗放的发展模式基础上，通过资源的高效利用、清洁生产效率提高、末端治理水平提升等多种强化生态环境保护的方式体现，是一种以效率、和谐和可持续性为目标的现代化可持续发展模式[1]。近年来，国内外学者对绿色发展展开了大量研究，主要集中在绿色发展的概念内涵探讨[2]、评价体系构建[3]、发展水平测度[4]、发展效益评价[5,6]、空间格局与驱动因素分析等[7]。随着对绿色发展内涵的认识不断完善，国内外相关组织与学者尝试构建了众多绿色发展指标体系。国际上，经济合作与发展组织(OECD)于2010年率先提出灵活且适用的绿色增长指标体系；联合国环境规

划署(UNEP)提出向绿色经济转型的评价指标体系;联合国亚洲及太平洋经济社会委员会(UNESCAP)提出绿色增长指标体系。国内,中国科学院于2007年提出可以衡量一国或地区资源消耗和污染排放的资源环境绩效指数;北京师范大学于2010年从经济增长绿化度、资源环境承载潜力、政府政策支持度3个层面测度中国省际绿色发展指数;胡鞍钢[8]通过机制设计构建了实现绿色发展的“经济—自然—社会”三圈模型;国家发改委于2016年发布绿色发展指标体系并于次年发布绿色发展指数与评价报告;2018年,人大国发院发布中国经济绿色发展报告,对中国31个省区与100个城市的绿色发展之路进行评价。基于理论与指标体系框架的完善,学者们多维度、多角度、多方法实证测度了不同尺度区域的绿色发展水平与效率。目前的研究主要运用熵权—TOPSIS模型[9]、投影追踪评价模型[10]、多层次评价法[11]、DEA分析[12]、超效率SBM模型分析[13,14]、地理探测器[15]、地理加权回归模型GWR[16]等,从绿色发展水平指数[17]、绿色发展效率的角度描绘其时空演化轨迹[18],探索其影响因素[19],研究尺度包括国家[10,13]、流域[11,12]、城市群[17]、省域[19]、市域[16]等。

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江等9省2市,经济总量位居我国前列[20],是我国重要的三大空间发展战略之一。2016年,习近平总书记对长江经济带提出了“共抓大保护、不搞大开发”的战略定位,如何将生态优先、绿色发展的理念贯穿到长江经济带经济发展的全过程至关重要[21]。滕堂伟等[22]利用耦合协调度模型和空间马尔科夫链方法,分析2006~2016年长江经济带108个地级及以上城市科技创新与绿色发展的耦合协调水平与时空演变格局;Long等[23]运用修正的超SBM-DEA模型与空间杜宾模型对2008~2017年长江经济带11个省市的绿色创新效率进行测度;Hu等[24]基于2003~2017年长江经济带108个城市面板数据,构建了城市绿色发展评价指标体系,并借助面板经济计量模型分析科技创新对绿色发展的作用;Yang等[25]基于对称交互熵的多属性决策排序法与基尼系数的耦合模型,分析2009~2018年长江经济带11个省市绿色发展水平时空变化。目前关于长江经济带绿色发展的研究更侧重于绿色发展指数的计算,分析其空间格局的差异与单维因素,忽略了区域间与区域内部复合多因素的空间关联作用,对空间溢出效应的研究较少,且针对地级市尺度的研究少于针对省级尺度的研究。因此,构建一套合理、可操作性强的绿色发展水平评价指标体系,科学测度长江经济带各城市绿色发展水平,分析其内在与空间影响机制,对于支撑长江经济带建设生态文明与发展模式创新具有重要意义。

鉴于此,本文在对理念与内涵分析的基础上构建一套长江经济带绿色发展水平评价指标体系,采用地级及以上城市尺度上2010~2019年的生态环境、社会经济等多源面板数据和Kernel核密度估计、空间自相关分析、空间杜宾模型等计量模型,阐明长江经济带整体、上中下游地区与地级市尺度绿色发展的时空格局,揭示其影响因素,识别问题地区,以为长江经济带绿色发展及发展模式的转变提供科学依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 面板熵值-Critic法

面板模型便于控制个体的异质性,减少变量间的共线性对结论的影响,便于分析和动态调整[26]。传统的针对截面数据的熵值法无法对不同年份的绿色发展水平进行比较,故本文在传统熵值法的基础上加入时间变量,采用面板熵值法计算权重。熵值法是根据指标的离散程度计算权重,并没有考虑到指标间关联的程度,导致数据差异过大但并不重要的指标被赋予过高的权重。而CRITIC赋权法实质是使用对比强度与冲突性指标综合计算权重,可以同时反映同一指标数据的波动性与各指标数据间相关关系。因此,本文结合CRITIC赋权法与面板熵值法对长江经济带绿色发展水平指标进行赋权与综合评估。首先构建原始面板数据矩阵,再采用极差法对原始面板数据进行无量纲正向化或逆向化处理[27],CRITIC赋权计算过程具体参考文献[28],具体计算方法见式(1)~(6):

$$P_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{\sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^k X_{i,j}} \quad (1)$$

$$E_j = -k_1 \sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^k P_{i,j} \ln P_{i,j} \quad (2)$$

$$k_1 = \frac{1}{\ln(m \times k)} \quad (3)$$

$$D_j = 1 - E_j \quad (4)$$

$$W_1 = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (5)$$

$$W_j = \omega W_1 + (1 - \omega) W_2 \quad (6)$$

式中： $P_{i,j}$ 为指标的归一化结果； $X'_{i,j}$ 为第 i 个城市第 j 个评价指标的标准化值； m 、 k 、 j 分别代表研究年份、地级市与指标数量； E_j 为指标的熵值； D_j 为各项指标的冗余度； W_1 为使用面板熵值法得到的指标权重； W_j 为第 j 项指标的最终权重； W_2 为使用 CRITIC 赋权法得到的指标权重； ω 为面板熵值法的重要性权重；本文设定两种赋权方法重要性相同，取 $\omega=0.5$ 。

1.1.2 Kernel 核密度估计

核密度估计是一种非参数估计的数据分布探测模型，该模型空间依赖性较弱，不需模型验证就具备稳健性，已被广泛用于研究对象是否均衡分布[29]。本文选用高斯核函数进行估计，具体公式如下：

$$f(x) = \frac{1}{kh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{Y_i - y}{h}\right) \quad (7)$$

式中： k 为样本容量，即长江经济带 108 个地级及以上城市； h 为密度估计带宽； K 为随机核函数； Y_i 为第 i 个地级市的绿色发展水平指数。

1.1.3 空间计量模型

(1) 莫兰指数检验

空间自相关分析可以识别各地级市绿色发展水平的空间关联特征，其中，莫兰指数可用于判断长江经济带绿色发展水平的分布是否存在空间集聚现象[30]，若存在空间效应，则进一步选择空间计量模型进行影响因素的分析。

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k W_{ij}(y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{s^2 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k W_{ij}} \quad (8)$$

式中：k 为城市总数； W_{ij} 为各地级市的二进制空间权重矩阵，本文选用反距离权重矩阵； y_i 和 y_j 分别为地级市 i 和 j 的绿色发展水平； \bar{y} 为绿色发展水平平均值； s^2 为绿色发展水平标准差。Moran' s $I > 0$ 表示空间正相关性，其空间格局呈现聚集态势；Moran' s $I < 0$ 表示空间负相关性，其空间格局呈现分散态势；Moran' s $I = 0$ 表示空间不相关。

(2) 影响因子甄别

长江经济带自然本底与社会经济发展条件的空间差异影响其绿色发展水平的时空分异。本文从人地关系作用视角出发，遴选了经济基础、产业结构、科技教育投入水平、政府支持度、人力资源条件、环境规制、自然禀赋条件 7 个主要影响因子，利用空间计量法构建影响因子模型，来揭示长江经济带绿色发展水平时空演变的驱动因素，具体见表 1、式 (9) 和式 (10)：

$$y_{it} = \varphi \sum_{j=1}^k w_{ij} y_{jt} + \beta x_{it} + \theta \sum_{j=1}^k w_{ij} x_{jt} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_t \quad (9)$$

式中： y_{it} 第 i 个城市第 t 年的因变量； φ 为因变量的空间滞后项系数； w_{ij} 为空间权重矩阵 W 中的元素； x_{it} 为第 i 城市第 t 年自变量； θ 为自变量的空间滞后项系数； λ_i 、 μ_t 、 ε_{it} 分别表示个体固定效应、时间固定效应与随机误差项。

为了比较和检验不同空间计量模型加入固定效应的必要性和可靠性，对数据进行 LM 检验、Hausman 检验、Wald 检验与 LR 检验，均通过显著性检验。根据检验结果，本文最终选择空间固定效应的空间杜宾模型 (Spatial Durbin Model, SDM) 进行空间建模分析，具体见式 (10)：

$$\begin{aligned} GD_{it} = & \varphi W \ln GD_{it} + \beta_1 \ln EB_{it} + \beta_2 \ln IS_{it} + \beta_3 \ln TL_{it} + \\ & \beta_4 \ln GS_{it} + \beta_5 \ln PD_{it} + \beta_6 \ln ER_{it} + \beta_7 \ln NB_{it} + \\ & \theta_1 W \ln EB_{it} + \theta_2 W \ln IS_{it} + \theta_3 W \ln TL_{it} + \\ & \theta_4 W \ln GS_{it} + \theta_5 W \ln PD_{it} + \theta_6 W \ln ER_{it} + \\ & \theta_7 W \ln NB_{it} + \mu_t + \lambda_t + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (10)$$

表 1 长江经济带绿色发展水平影响因子

影响因子	意义	表征指标
经济基础 (EB)	经济增长能促进区域完善基础设施，对各类生产要素具有虹吸作用，经济是区域绿色发展必要的基础	人均 GDP
产业结构 (IS)	产业结构的优化能为区域提升资源配置效率带来长期动力，从而促进区域绿色发展水平提升	第三产业产值占 GDP 比重
科技教育投入水平 (TL)	科技是绿色发展的推动力，不仅可以带动高新技术产业的发展，还可以创新传统产业，促进产业发展的生态化与高效化	科学与教育支出占财政支出比例
政府支持度 (GS)	政府支持可以为长江经济带绿色发展途径指明方向	人均市政公用设施建设投资
人力资源条件 (PD)	人力资源是各生产要素与活动的基础	人口密度
环境规制 (ER)	通过污染治理措施和政策以达到改变经济个体的行为，从而降低污染与改善环境质量	环境规制指数(由一般工业固体废物综合利用率、工业二氧化硫排放总量、工业烟尘排放总量、工业废水排放总量、生活垃圾无害化处理率与城镇生活污水处理率计算)
自然禀赋条件 (NB)	自然资源禀赋是区域绿色发展的本底条件	自然禀赋指数(由生境质量、森林覆盖度、年均气温与水资源量计算)

式中：GDi_t 为第 i 个城市第 t 年的绿色发展水平；W 为解释变量的空间滞后项；其他同式 (9)。

1.2 绿色发展水平指标体系构建

基于绿色发展的理论内涵与长江经济带的资源禀赋，参考国家绿色发展的顶层设计及相关研究[10, 12, 31, 32]，从绿色经济、绿色生产、绿色环境、绿色生态、绿色创新、绿色生活 6 个维度遴选 23 个指标，建立适用于长江经济带地级市尺度的绿色发展水平测度指标体系。其中，绿色经济是绿色发展的核心与前提，经济增长可以促进产业绿色转型发展，选择人均 GDP、城镇居民可支配收入、第三产业增加值占 GDP 比重 3 个指标；绿色生产是绿色发展的重要过程，可以从生产源头上实现“黑色污染”到“绿色环保”的转变，选择单位 GDP 能源消耗降低率、单位 GDP 碳排放、万元 GDP 用水量、单位 GDP 建设用地面积、一般工业

固体废物综合利用率 5 个指标；绿色环境是绿色发展的载体和表现形式，可以从降低污染物排放、提升污染治理水平和资源利用效率等方面来推动实现绿色发展，选择工业二氧化硫排放总量、工业烟尘排放总量、工业废水排放总量、生活垃圾无害化处理率、城镇生活污水处理率、地级及以上城市空气质量优良天数比率 6 个指标；绿色生态是绿色发展的重要支撑，选择生境质量、人均水资源量、森林覆盖率 3 个指标；绿色创新是绿色发展的导向和保障，通过技术革新、产业优化、推进市场化等途径促进绿色发展水平提升[32]，选择万人拥有科学研究、技术服务和地质勘查业就业人员数、万人专利授权数、科学教育占财政支出比例 3 个指标；绿色生活是绿色发展的内在要求，是绿色发展最终落在社会层面的响应，选择城市建成区绿化覆盖率、城市燃气普及率、人均公园绿地面积 3 个指标(表 2)。指标属性的“+”代表正向化指标，即指标层的值越大，其准则层的综合评价价值就越高；“-”代表负向化指标，即指标层的值越大，其准则层的综合评价价值越低。生境质量计算公式见式(11)，其他数据皆为统计数据。

表 2 长江经济带绿色发展水平指标体系

准则层	指标层	单位	指标属性	指标含义	CRITIC 法	熵值法	综合权重
绿色经济	人均 GDP	万元/人	+	反映经济总体发展水平	0.0430	0.1134	0.0782
	城镇居民可支配收入	万元	+	反映居民生活变化	0.0444	0.0605	0.0525
	第三产业增加值占 GDP 比重	%	+	反映产业结构特征	0.0453	0.0375	0.0414
绿色生产	单位 GDP 能源消耗降低率	%	+	反映资源合理利用效率	0.0327	0.0046	0.0187
	单位 GDP 碳排放	t/万元	-	反映资源利用水平	0.0301	0.0038	0.0170
	万元 GDP 用水量	t/万元	-	反映资源利用水平	0.0417	0.0067	0.0242
	单位 GDP 建设用地面积	hm ² /万元	-	反映土地集约利用水平	0.0459	0.0104	0.0282
	一般工业固体废物综合利用率	%	+	反映生产污染治理能力	0.0562	0.0098	0.0330

绿 色 环 境	工业二氧化硫排放总量	t	-	反映污染排放水平	0.027 2	0.002 4	0.014 8
	工业烟尘排放总量	t	-	反映污染排放水平	0.017 4	0.001 0	0.009 2
	工业废水排放总量	万 t	-	反映污染排放水平	0.039 0	0.003 5	0.021 3
	生活垃圾无害化处理率	%	+	反映污染处理水平	0.050 3	0.009 9	0.030 1
	城镇生活污水处理率	%	+	反映污染处理水平	0.050 3	0.011 9	0.031 1
	地级及以上城市空气质量优良天数比率	%	+	反映污染改善水平	0.085 2	0.023 3	0.054 3
绿 色 生 态	生境质量	无 量 纲	+	反映生态环境状况	0.064 0	0.059 3	0.061 7
	人均水资源量	m ³ /人	+	反映水资源丰富程度	0.021 3	0.157 7	0.089 5
	森林覆盖率	%	+	反映自然环境条件状况	0.065 6	0.036 7	0.051 2
绿 色 创 新	万人拥有科学研究、技术服务和地质勘查业就业人员数	万人	+	衡量地区科技投入强度	0.041 9	0.193 9	0.117 9
	万人专利授权数	个	+	衡量地区科技产出结果	0.046 0	0.214 7	0.130 4
	科学教育占财政支出比例	%	+	反映政府对科学技术与教育的支持力度	0.039 0	0.006 2	0.022 6

绿 色 生 活	城市建成区绿化覆盖率	%	+	反映地区的绿化程度	0.033 8	0.012 6	0.023 2
	城市燃气普及率	%	+	衡量社会的绿色福利	0.041 9	0.005 8	0.023 9
	人均公园绿地面积	m ² /人	+	反映地区的绿化程度	0.037 7	0.014 5	0.026 1

$$HQI = (0.35 \times SF + 0.21 \times SG + 0.28 \times SW + 0.11 \times SC + 0.04 \times SB + 0.01 \times SU) / LA \quad (11)$$

式中：HQI 为生境质量指数；SF 为林地指数；SG 为草地指数；SW 为水域湿地指数；SC 为耕地指数；SB 为建设用地指数；SU 为未利用地指数；LA 为区域国土面积，km²。各土地利用类型生境质量指数权重见表 2。

表 3 生境质量指数各类型分权重

土 地 利用 类型	林地指数			草地指数			水域湿地指数		
	有 林 地	灌 木 林 地	疏 林 地 和 其 他 林 地	高 覆 盖 草 地	中 覆 盖 草 地	地 覆 盖 草 地	河 流 (渠)	湖 泊 (库)	滩 涂 湿 地 和 沼 泽 地
分 权 重	0.6	0.25	0.15	0.6	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5
土 地 利用 类型	耕地指数		建设用地指数			未利用地指数			
	水 田	旱 地	城 镇 建 设 用 地	农 村 居 民 地	其 它 建 设 用 地	沙 地	盐 碱 地	裸 地	其 他 未 利 用 地
分 权 重	0.6	0.6	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1

1.3 数据来源与处理

本文所选取的指标数据主要来源于2010~2019年《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》、长江经济带108个地级及以上城市统计年鉴、国民经济与社会发展统计公报、生态环境状况公报、水资源公报,对于个别缺失的数据,采用线性插值法补充。土地利用数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。

2 结果与分析

2.1 绿色发展水平时间演变规律

2010~2019年,长江经济带整体及上、中、下游各地区城市绿色发展水平的核密度曲线均向右侧移动,表明研究区在研究期内绿色发展水平总体呈现随时间推移逐步上升的特征,其中下游地区变化幅度最大,表明下游地区绿色发展水平提升程度最大(图1)。从分布态势上看,上游地区城市绿色发展水平核密度主峰峰值先下降再上升,带宽宽度渐窄,表明上游地区近年来内部绝对差异在减小;中游地区城市绿色发展水平核密度主峰峰值逐渐下降,带宽宽度呈现“宽-窄-宽”的变化特征,整体上绝对差异在扩大;下游地区城市绿色发展水平核密度曲线整体呈现扁而宽,且主峰的峰值逐年下降,宽度加大,说明各城市之间绿色发展水平差异逐渐扩大。由于中游与下游地区城市绿色发展水平的绝对差异都在逐年扩大,导致长江经济带108个地级及以上城市的绿色发展水平的绝对差异也存在扩大趋势。从分布形状来看,中上游地区的波峰呈现“单峰”状态,峰值区间变化较大,表示有更多的城市由较低的发展水平跨入终稿发展水平行列;而下游地区核密度曲线在2015年呈现清晰的“双峰”,说明下游地区部分城市绿色发展水平较快,逐渐出现两极分化的趋势。从图1(a)可以看出,2010年核密度曲线中,右侧存在一个波动幅度较小的波峰,但逐年趋缓,且右拖尾逐年拉长,说明虽长江经济带整体的城市绿色发展水平差异在逐渐扩大,但整体的绿色发展水平不断提高,且明显的两极分化趋势渐渐消失。

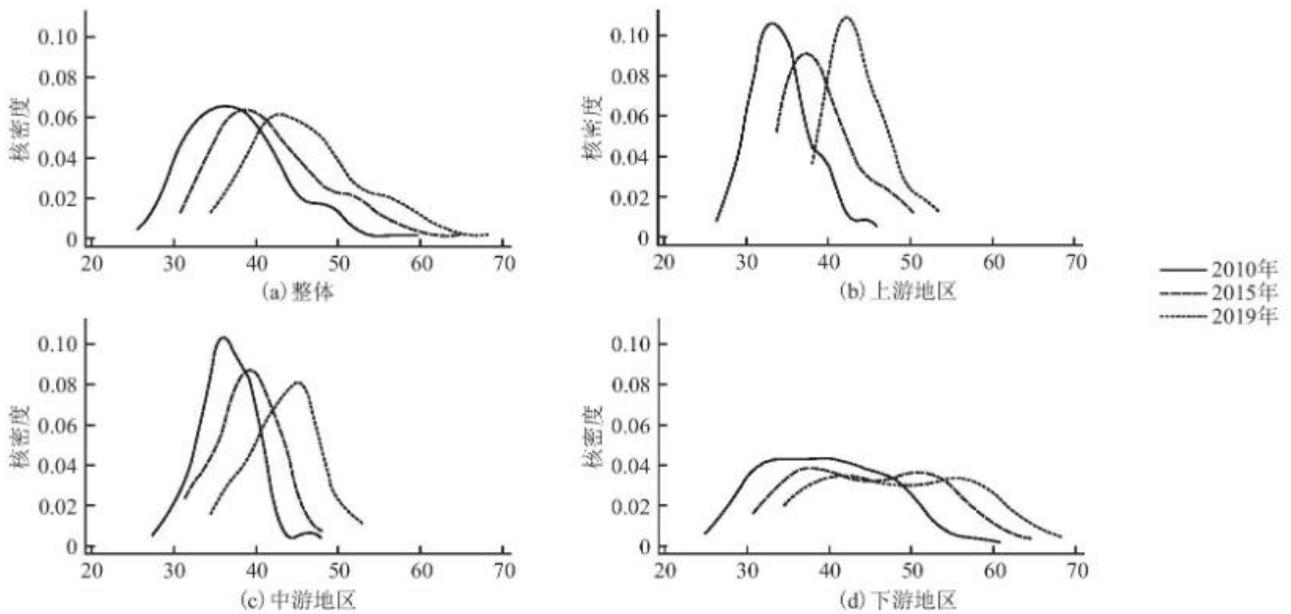


图1 长江经济带绿色发展水平核密度估计

2.2 绿色发展水平时空分异特征

依照长江经济带绿色发展指数各年及3年的最大、最小与平均水平,将各地级市划分为低水平($25 < GD \leq 35$)、较低水平($35 < GD \leq 44$)、较高水平($44 < GD \leq 50$)与高水平($55 < GD \leq 70$)4种绿色发展类型。2010~2019年长江经济带地级市绿色发展水平呈现普遍提升的现象(图2),整体上空间分布异质性较为显著,上中下游地区城市绿色发展水平有明显差异,呈现出东部高、西部低的空间分布特征。东部绿色发展高水平城市的数量和密度在量上的表现超过西部,且各区域内部也呈现不同的分布状态。从绿色发展水平区域演化类型看,2010年低水平、较低水平、较高水平、高水平的城市分别为39、56、11、2个,2015年演化为15、59、18、16个,2019年则演化为0、0、34、26个,2010~2019年低水平与较低水平发展的区域逐渐减少,占比由2010年的87.96%下降至2019年的44.44%,高水平区域由下游向中上游地区扩散。2019年,长江经济带所有地级市均已脱离绿色发展低水平行列,低水平城市大多转为较低水平城市,如安徽省亳州、江苏省盐城和宿州、湖北省孝感、黄冈与荆州、四川省宜宾、内江与南充等城市。

利用Geoda和Stata17软件,采用反距离矩阵作为评价距离权重,计算2010~2019年Global Moran's I指数并绘制莫兰散点图,划分成H-H(高-高集聚)区域、L-H(低-高集聚)区域、L-L(低-低集聚)区域、H-L(高-低集聚)区域4种类型(图3)。结果显示Moran's I指数均大于0,说明长江经济带地级市间绿色发展水平存在显著的时空分异与空间依赖特征,绿色发展水平高的地区间、发展水平低的地区间分别相互聚集,存在俱乐部收敛现象。由图4可知,H-H俱乐部的空间分布趋向于在下游地区聚集,该地区产业基础雄厚、人才集聚高端、科技创新进程快,污染减排措施与生态修复技术较为先进;H-L区域数量增多,在上中游零星分布,多为省会城市,说明中上游各省省内差异较为明显,仍然处于粗放外延式发展阶段,由于各类资源要素不足,故资源要素集中向省会城市倾斜,相对侵占周边城市的资源和开发空间,导致了省会城市的绿色发展水平与周边城市之间存在显著差异。未来应以武汉、长沙、成都等省会城市为中心,进一步加强与其他城市的合作机制,构建区域化绿色发展链,增强区域绿色发展的空间集聚与扩散效应,进而辐射带动长江中上游各城市的绿色发展。L-L俱乐部的城市大多位于上游省份、湖南及安徽北部,上游地区丰富的自然资源尚未转化为经济效益,这些城市受到“高能耗、高污染、低水平工业和区位条件”的限制,经济发展遇到瓶颈,从而形成了一个连续的绿色发展低水平区域。湖南等中游城市的首要任务是解决区域环境污染问题,防止出现以牺牲经济发展为生的“黑增长”模式。同时,要格外警惕环境系统低值集聚区的负面溢出效应,以防落入“马太效应”的陷阱。而皖北的城市生态本底与经济发展都较差,以农业为主,第三产业发展缓慢,又过于依赖煤炭等化石能源,污染物排放高,效率低。应加快长三角一体化进程,要充分发挥江浙沪的引领作用,积极推动区域产业转型升级,提出可供中上游复制借鉴的绿色发展方案,率先打造长江经济带乃至全国绿色发展的示范区。

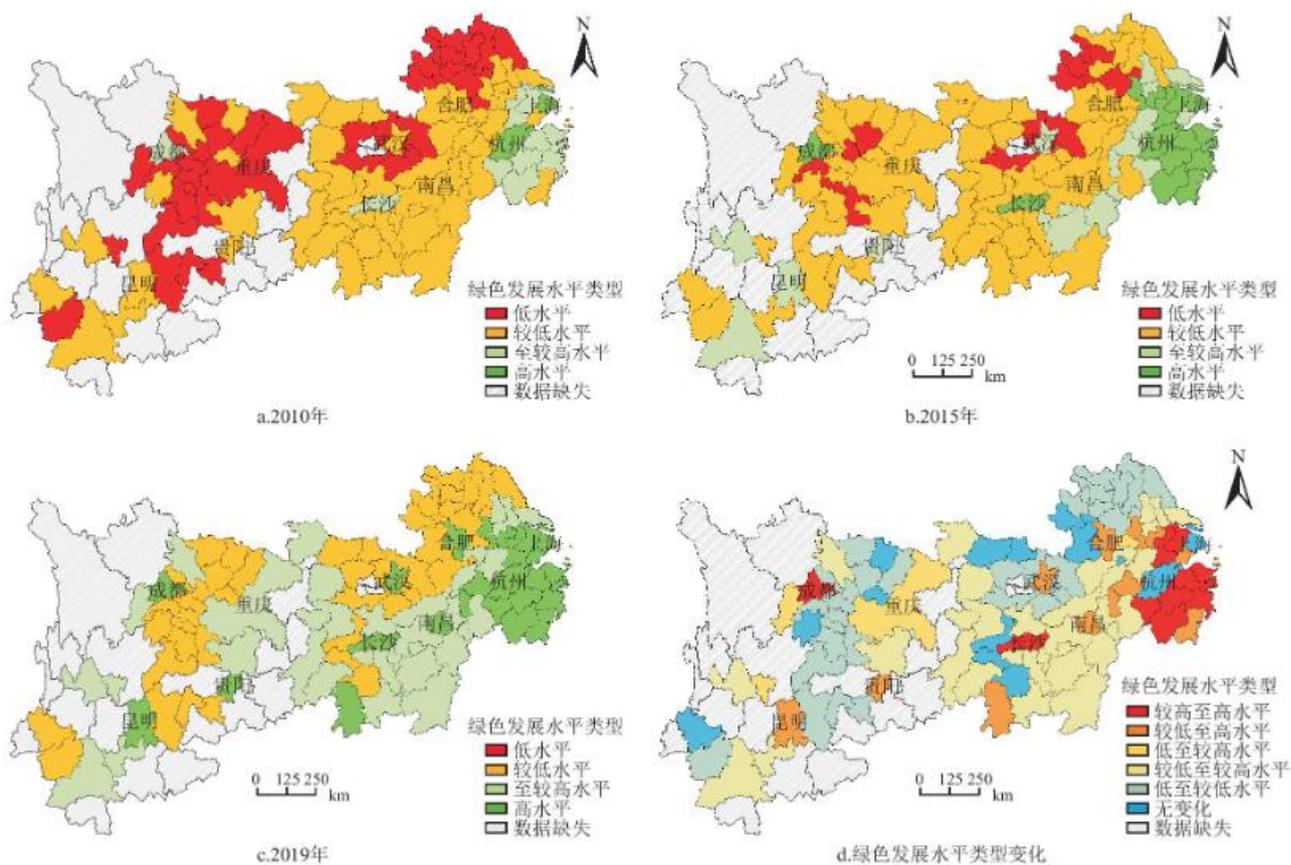


图 2 2010~2019 年长江经济带绿色发展水平空间分布

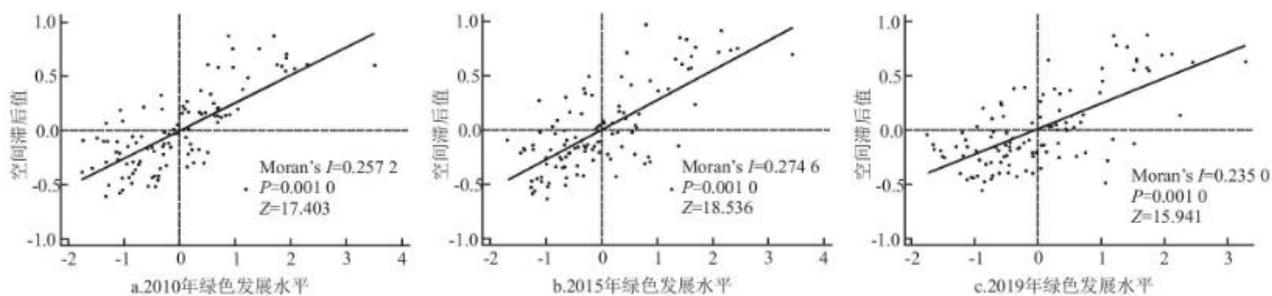


图 3 2010~2019 年长江经济带绿色发展水平空间分布散点图

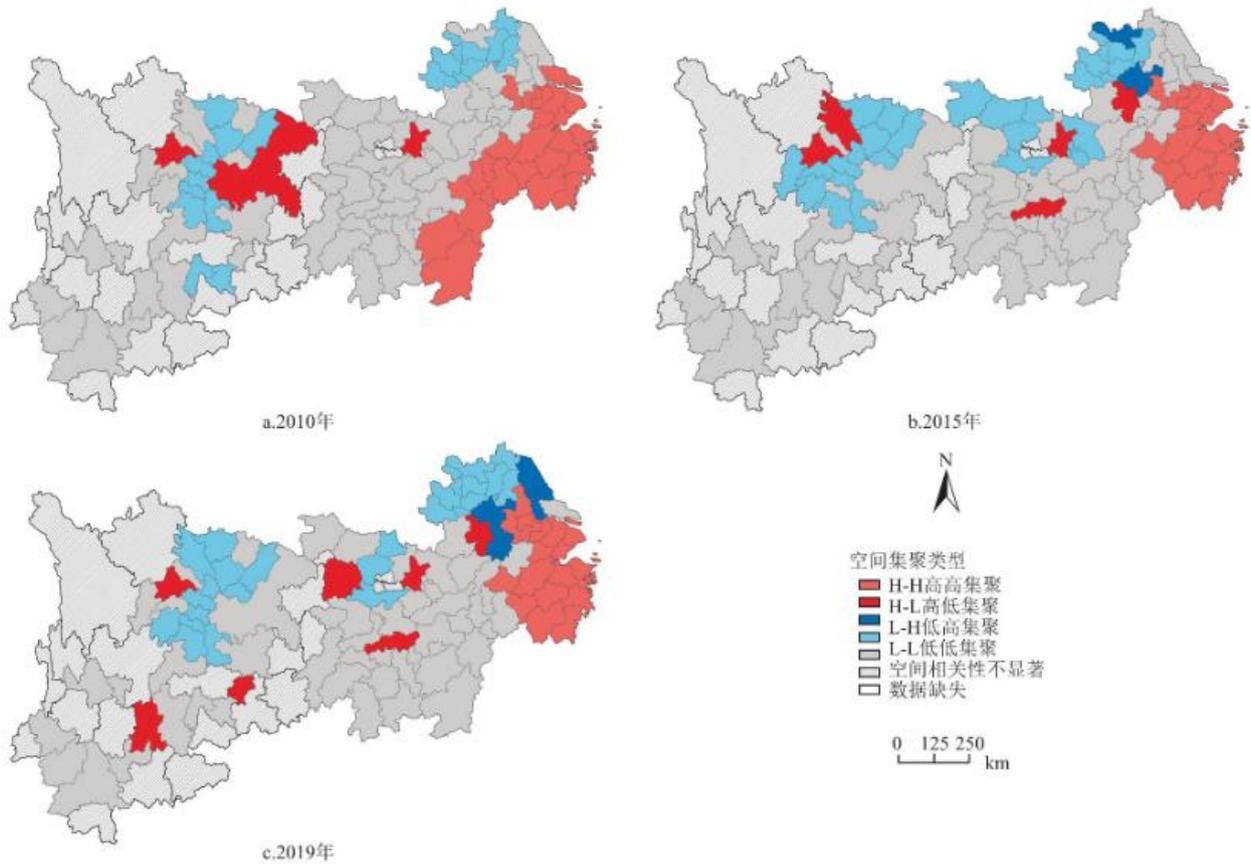


图 4 2010~2019 年长江经济带绿色发展局部空间相关性分布图

2.3 绿色发展水平的影响因素分析

据表 4 可知，长江经济带、上游地区、中游地区、下游地区的空间自回归系数 ρ 分别为 0.616、0.382、0.259、0.630，均通过了显著性检验，表明绿色发展水平存在着显著的正向溢出效应。各影响因子都起正向影响作用，从影响因子的作用强度分析，长江经济带影响因子作用强度从高到低依次为环境规制>人力资源条件>自然禀赋条件>产业结构>科技教育投入水平>经济基础>政府支持度。上游地区影响因子作用强度从高到低依次为科技教育投入水平>环境规制>产业结构>人力资源条件>政府支持度>经济基础>自然禀赋条件，中游地区从高到低依次为环境规制>自然禀赋条件>人力资源条件>产业结构>科技教育投入水平>经济基础>政府支持度，下游地区从高到低依次为环境规制>科技教育投入水平>自然禀赋条件>经济基础>产业结构>政府支持度>人力资源条件。

科技教育投入水平、环境规制与产业结构就成为目前影响上游地区绿色发展的主要因子。相较于中下游地区，上游地区的经济与社会发展进程较为缓慢，更依赖制造业等产业，产业结构老化，整体还面临着大量的人才流失与创新力低下的问题，内生动力不足。对于中游地区城市而言，环境规制是影响城市绿色发展的主要因子，但科技投入与发展并没有对其绿色发展起到显著的改善作用，与“波特假说”背道而驰。这可能与中游地区交通便利、劳动产业密集等有利区位因素有关，中游地区承担了来自下游地区的产业转移，科技研发投入主要集中在传统第二产业的发展上，而不是投资于绿色清洁生产研发，对绿色发展的提升效果有限。对于中下游地区而言，国土开发强度高，自然环境承载力处于严重超载状态，长株潭城市群等重点区域大气污染严重，长江中下游的湖泊出现面积减少、湿地萎缩、枯水期提前等问题，如何突破资源环境承载力瓶颈，挣脱资源约束至关重要。

表 4 空间杜宾模型回归结果

变量	长江经济带		上游地区		中游地区		下游地区	
	回归系数	统计 值	回归系数	统计 值	回归系数	统计 值	回归系数	统计 值
lnEB	0.053***	3.43	0.048*	1.34	0.044*	1.5	0.067***	3.01
lnIS	0.086***	3.56	0.124***	3.3	0.105**	2.4	0.110***	2.56
lnTL	0.057**	5.8	0.086**	4.35	0.036*	1.57	0.053**	4.32
lnGS	0.006***	2.54	0.005*	1.48	0.003*	0.76	0.106**	1.92
lnPD	0.117***	2.58	0.174*	1.48	0.511***	4.16	0.046*	0.78
lnER	0.249***	8.4	0.21***	4.3	0.294***	6.63	0.449***	5.55
lnNB	0.103***	6.46	0.059*	1.24	0.100***	5.9	0.113***	3.21
空间自回归系数	0.616***		0.382**		0.259*		0.630***	
R2	0.911		0.944		0.933		0.919	
Log-likelihood	726.619		211.944		265.124 9		285.584	

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著。

各影响因子通过“极化-涓滴”效应对绿色发展水平产生不同的影响，即各地级市绿色发展水平会受到相邻近的地市的影响。通过空间溢出机制，影响因子在促进本地区绿色发展水平提升的同时，也会传导至邻近城市，从而影响相邻城市绿色发展水平，其溢出传导机制可以通过对影响因子进行直接与间接效应分解进行细致刻画。长江经济带各地级市的空间特征演化不仅取决于各地区的自身发展条件，还与外在的宏观环境息息相关。从表 5 可以看出，经济基础、产业结构、人力资源条件、环境规制、自然禀赋条件、科技教育投入水平和政府支持度 7 个影响因子通过直接效应传导机制对本地区绿色发展水平的提升均有正向影响；从间接效应回归结果看，经济基础、环境规制、自然禀赋条件 3 个影响因子与绿色发展水平呈显著正相关，而政府支持度对相邻地区绿色发展水平成负向影响，其他 3 个影响因子显著性不高。

经济发展是各地区绿色发展的主要驱动力，经济水平的提高使得环境管理调控力度逐渐增强，生态需求推动环境政策的完善，污染排放量逐渐减少，森林覆盖率不断提升，因此地区发展过程中的非期望产出也相应减小，从而提高了整体的绿色发展水平。长江经济带沿线城市傍水而生，一个地区空气与水的流动同样会影响其他地区，故而是一个地区的环境规制因子的提升会对其他地区绿色发展水平带来积极影响。此外，政府对防洪、园林绿化、道路、市容环境等强有力的财政投入，极大提升地区环境治理能力，推动地区环保措施落实，改善区域生态环境。政府对民间资本投入的积极鼓励，为绿色技术创新等创造了良好的外部环境；但一个地区政府的财政投入与支持会吸引相邻地区的资本进驻，造成相邻地区的资本流失，间接影响相邻地区绿

色发展水平的提升。

表 5 各变量对绿色发展水平的直接效应、间接效应和总效应

变量	直接效应		间接效应			总效应	
	回归系数	统计值	回归系数	统计值	回归系数	统计值	
经济基础	0.054***	3.55	0.024*	1.52	0.078*	1.74	
产业结构	0.085***	3.8	0.004	0.05	0.088*	1.3	
科技教育投入水平	0.048**	4.9	-0.115	2.23	0.217**	-2.13	
政府支持度	0.005**	2.23	-0.265***	2.7	-0.006*	-0.34	
人力资源条件	0.119***	2.61	0.089	0.25	0.208	0.57	
环境规制	0.277***	8.69	0.709***	2.57	0.987***	3.41	
自然禀赋条件	0.107***	6.22	0.115**	0.97	0.222*	1.79	

注：***、**、*分别表示在 1%, 5%, 10%水平上显著；总效应=直接效应+间接效应。

3 讨论

本研究表明长江经济带绿色发展水平整体较好且逐年提升，但由于其空间跨度大，上、中、下游区域间与区域内发展水平存在显著差异，与陈晓雪等[33]以及 Yang 等[5]的研究结论基本一致。同时，本研究也表明绿色发展水平具有明显的空间依赖与溢出效应，且不同区域受不同因子的影响作用也存在显著差异，对于长江经济带绿色发展的研究具有重要的现实意义。绿色发展时空分异具有多尺度、多维度特征，本文仅从地级市和流域上中下游尺度进行分析比较，未来需进一步拓展从地级市、省级、城市群、流域等多个尺度深入揭示长江经济带绿色发展的尺度效应。另外，本文结合自然本底与社会经济发展条件选取绿色发展水平的影响因子，分析各因子在城市内与城市间的溢出和传导机制，缺乏多维因子交互的复合视角来研究绿色发展的驱动机制，有待进一步拓展研究。为进一步提升长江经济带绿色发展水平，建议：

(1) 强化跨区域的经济协同效应。

经济发展作为各地区绿色发展的原生动力，如长三角地区多数城市以及中上游的成都、武汉、长沙等城市，要充分发挥其带动与辐射作用，由点辐射至面，使资金、人才与技术等资源由绿色发展水平高地区向相对水平落后地区流动，革新老旧、传统、粗放的发展模式，缩小带内绿色发展水平的绝对差异。

(2) 进一步调整和优化产业结构与能源结构。

产业结构是影响长江经济带各地区较为重要的因素，而区域在发展过程中，会依赖固有的发展技术与发展模式，产生路径

依赖。如安徽虽位于绿色发展总体水平较高的长三角地区，但仅有合肥步入绿色发展高水平行列，这是由于安徽省耕地多，发展以农业为主，又过于依赖煤炭等化石能源，第三产业发展缓慢，亟待通过产业结构转型升级来提高绿色发展效率，同时关注产业转移过程中的污染转移问题。长江中上游地区应依托成渝双城经济圈、滇中城市群、长株潭都市圈等，在绿色发展水平较差、产业结构老化的地区有序布置新材料、电子信息技术等高新技术产业，如昭通、南充、达州、甘孜、内江、自贡、资阳等地，应倒逼产业转型升级，发展适合的产业，实现长江中上游城市的科学有序、绿色稳定与高质量发展。

(3) 加大科技创新投入，强化绿色发展创新机制，优化资源高效配置。

科技教育投入水平对周边地区绿色发展具有积极溢出效应，且是影响中上游地区绿色发展最重要的因素。长江中上游部分城市虽经济、科技、教育等发展滞后，但生态条件和环境承载能力较好，导致现阶段处于绿色发展处于较低水平的城市，如昭通、保山、广安、广元、巴中、郴州、张家界等地，建议走科技创新驱动的绿色发展道路，利用区内丰富的资源条件加快推动产业生态化，在经济发展中摒弃资源消耗和环境破坏的发展模式。

(4) 大力推动政府与市场的协同合作。

政府应加大基础设施建设力度和环境修复投入，通过市场经济激励企业和社会公众参与环保事业，鼓励企业积极采取资源节约型、环境友好型发展措施。江浙沪作为自然资源和生态产品交易市场的现行区域，可以考虑建立完善的、可供其他区域参考的生态资源市场定价与交易机制，实现自然资源和生态资源的高效合理配置。

4 结论

本文采用面板熵值-Critic 法、Kernel 核密度估计、空间自相关分析、空间杜宾模型等多重计量方法，构建绿色发展水平评价指标体系，综合测度 2010~2019 年长江经济带绿色发展水平，揭示了长江经济带绿色发展水平的时空演化特征及其影响因素。主要结论如下：

(1) 长江经济带 2010~2019 年绿色发展水平总体呈上升趋势，高水平区域由下游向上游地区扩散；但其空间分布异质性较为显著，且整体绝对差异具有扩大趋势，形成了“东-中-西”阶梯式递减的空间格局。

(2) 2010~2019 年，长江经济带 108 个地级及以上城市的绿色发展水平具有显著的空间依赖性，呈现明显的空间俱乐部收敛特征，H-H 集聚区主要位于长三角地区的江浙沪一带，L-L 集聚区分三分部于云贵川地区，带内两极分化现象较为明显。

(3) 经济发展、环境规制、科技进步、产业结构优化、人力资源与自然资源条件对长江经济带绿色发展具有促进作用，且存在一定的空间溢出效应。对于长江经济带以及上、中、下游地区而言，环境规制都是最重要的影响因子；上游地区应加大科技教育的投入以及尽快实现产业结构优化；中游地区应充分挖掘自身优势，吸引人才回流；下游地区应合理分配资源要素，优化空间布局，加大生态保护建设。

参考文献

- [1] LI L, MSAAD H, SUN H, et al. Green innovation and business sustainability: New evidence from energy intensive industry in China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(21):7826.
- [2] 岳立, 薛丹. 黄河流域沿线城市绿色发展效率时空演变及其影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(12):2274-2284. YUE L, XUE D. Spatiotemporal change of urban green development efficiency in the Yellow River Basin and influencing factors

[J]. Resources Science, 2020, 42(12):2274-2284.

[3] FANG G, WANG Q, TIAN L. Green development of Yangtze River Delta in China under Population-Resources-Environment-Development-Satisfaction perspective [J]. Science of the Total Environment, 2020, 727:138710.

[4] WANG M X, ZHAO H H, CUI J X, et al. Evaluating green development level of nine cities within the Pearl River Delta, China [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 174:315-323.

[5] YANG T, ZHOU K, ZHANG C. Spatiotemporal patterns and influencing factors of green development efficiency in China's urban agglomerations [J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 85:104069.

[6] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 黄河流域生态经济走廊绿色发展时空分异特征与影响因素识别 [J]. 地理学报, 2021, 76(3):726-739. GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of green development in the eco-economic corridor of the Yellow River Basin [J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(3):726-739.

[7] CUI X, SHEN Z, LI Z, et al. Spatiotemporal evolutions and driving factors of green development performance of cities in the Yangtze River Economic Belt [J]. Ecological Informatics, 2021, 66:101476.

[8] 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. HU A G, ZHOU S J. Green development: Functional definition, mechanism analysis and development strategy [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(1):14-20.

[9] SUN C, TONG Y, ZOU W. The evolution and a temporal-spatial difference analysis of green development in China [J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 41:52-61.

[10] 程钰, 王晶晶, 王亚平, 等. 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. CHENG Y, WANG J J, WANG Y P, et al. A comparative research of the spatial-temporal evolution track and influence mechanism of green development in China [J]. Geographical Research, 2019, 38(11):2745-2765.

[11] 乔瑞, 董锋, 安泰龙. 黄河流域绿色发展水平评价及障碍因素分析 [J]. 统计与决策, 2021, 37(23):72-76. QIAO R, DONG F, AN T L. Evaluation of green development level and analysis of obstacles in the Yellow River Basin [J]. Statistics & Decision, 2021, 37(23):72-76.

[12] 郭付友, 高思齐, 佟连军, 等. 黄河流域绿色发展效率的时空演变特征与影响因素 [J]. 地理研究, 2022, 41(1):167-180. GUO F Y, GAO S Q, TONG L J, et al. Spatio-temporal evolution track and influencing factors of green development efficiency in Yellow River Basin [J]. Geographical Research, 2022, 41(1):167-180.

[13] 车磊, 白永平, 周亮, 等. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析 [J]. 地理科学, 2018, 38(11):1788-1798. CHE L, BAI Y P, ZHOU L, et al. Spatial pattern and spillover effects of green development efficiency in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(11):1788-1798.

-
- [14] 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. ZHOU L, CHE L, ZHOU C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10):2027-2044.
- [15] 郭付友, 佟连军, 仇方道, 等. 鲁南经济带城乡绿色发展效率时空分异及驱动因素识别 [J]. 自然资源学报, 2020, 35(8):1972-1985. GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatio-temporal pattern and driving factors of urban-rural green development efficiency in Lunan Economic Belt [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(8):1972-1985.
- [16] CHEN Y, SU X, ZHOU Q. Spatial differentiation and influencing factors of the green development of cities along the Yellow River Basin [J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2022, 2022:1-20.
- [17] 黄跃, 李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化 [J]. 地理研究, 2017, 36(7):1309-1322. HUANG Y, LI L. A comprehensive assessment of green development and its spatial-temporal evolution in urban agglomerations of China [J]. Geographical Research, 2017, 36(7):1309-1322.
- [18] 陈影, 文传浩, 沈体雁. 成渝地区双城经济圈绿色发展效率评价及时空演变研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(5):1137-1151. CHEN Y, WEN C H, SHEN T Y. Evaluation and spatial-temporal evolution of green development efficiency in chengdu-chongqing twin city economic circle [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(5):1137-1151.
- [19] XIAO Y, CHEN J, WANG X, et al. Regional green development level and its spatial spillover effects: Empirical evidence from Hubei Province, China [J]. Ecological Indicators, 2022, 143:109312.
- [20] 杨桂山, 徐昔保, 王维. 长江保护与发展近 30 年基本态势、面临挑战与协同治理 [J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(8):1653-1663. YANG G S, XU X B, WANG W. Basic situation, challenges and coordinated governance of protection and development for Yangtze River in past 30 years [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(8):1653-1663.
- [21] 杨桂山, 徐昔保. 长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”的基础与策略 [J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(8):940-950. YANG G S, XU X B. Foundation and strategy of well-coordinated environmental conservation and avoiding excessive development in the Yangtze River economic belt [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(8):940-950.
- [22] 滕堂伟, 孙蓉, 胡森林. 长江经济带科技创新与绿色发展的耦合协调及其空间关联 [J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11):2574-2585. TENG T W, SUN R, HU S L. Coupling coordination and spatial correlation of scientific and technological innovation and green development in the Yangtze River economic belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(11):2574-2585.
- [23] LONG R, GUO H, ZHENG D, et al. Research on the measurement, evolution, and driving factors of green innovation efficiency in Yangtze River economic belt: A super-SBM and spatial durbin model [J]. Complexity, 2020, 2020:1-14.
- [24] HU S, ZENG G, CAO X, et al. Does technological innovation promote green development? A case study of the Yangtze River economic belt in China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(11):6111.

[25] YANG Y, WANG H, WANG C, et al. Model-based temporal evolution and spatial equilibrium analysis of green development in China's Yangtze River Economic Belt from 2009 to 2018 [J]. *Ecological Indicators*, 2022, 141:109071.

[26] 盖美, 朱莹莹, 郑秀霞. 中国沿海省区海洋绿色发展测度及影响机理 [J]. *生态学报*, 2021, 41(23):9266-9281. GAI M, ZHU Y Y, ZHENG X X. Marine green and its influence mechanism of coastal cities [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(23):9266-9281.

[27] 黄磊, 吴传清. 长江经济带污染密集型产业集聚时空特征及其绿色经济效应 [J]. *自然资源学报*, 2022, 37(2):459-476. HUANG L, WU C Q. Spatial and temporal characteristics of pollution intensive industrial agglomeration and its green economy effect in the Yangtze River Economic Belt [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(2):459-476.

[28] 王淑婧, 李俊峰. 长三角城市群高质量绿色发展的均衡性特征及障碍因素 [J]. *自然资源学报*, 2022, 37(6):1540-1554. WANG S J, LI J F. Balanced characteristics and obstacle factors of high-quality green development in Yangtze River Delta Urban Agglomeration [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6):1540-1554.

[29] 赵宏波, 岳丽, 刘雅馨, 等. 高质量发展目标下黄河流域城市居民生活质量的时空格局及障碍因子 [J]. *地理科学*, 2021, 41(8):1303-1313. ZHAO H B, YUE L, LIU Y X, et al. Spatial-temporal pattern and obstacle factors of urban residents' quality of life in the Yellow River Basin under the background of high-quality development [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(8):1303-1313.

[30] 邹磊, 刘慧媛, 王飞宇, 等. 长江中游城市群绿色发展水平的地区差异及其影响因素 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2022, 52(8):1462-1475. ZOU L, LIU H Y, WANG F Y, et al. Regional difference and influencing factors of the green development level in the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River [J]. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2022, 52(8):1462-1475.

[31] CHENG C, GE C. Green development assessment for countries along the Belt and Road [J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 263:110344.

[32] 段学军, 王磊, 邹辉, 等. 长江经济带生态环境治理成效与绿色发展态势 [J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(8):1677-1684. DUAN X J, WANG L, ZOU H, et al. Achievements in ecological and environmental governance and green development in the Yangtze River economic belt [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(8):1677-1684.

[33] 陈晓雪, 徐楠楠. 长江经济带绿色发展水平测度与时空演化研究——基于 11 省市 2007—2017 年数据 [J]. *河海大学学报(哲学社会科学版)*, 2019, 21(6):100-108, 112. CHEN X X, XU N N. Measurement of green development level and spatial and temporal evolution of Yangtze River economic belt: A study based on the data of 11 provinces and cities from 2007 to 2017 [J]. *Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences)*, 2019, 21(6):100-108, 112.