

# 长江经济带城市绿色经济效率梯度转换规律 及其影响因素

李汝资<sup>1,2</sup>, 陈巧娟<sup>2</sup>, 高雄愿<sup>2</sup>, 孟思贤<sup>2</sup>, 魏国恩<sup>3</sup>, 刘耀彬<sup>1,2</sup>

(1. 南昌大学中国中部经济社会发展研究中心, 南昌 330031; 2. 南昌大学经济管理学院, 南昌 330031;  
3. 南昌大学资源与环境学院, 南昌 330031)

**摘要:** 提升区域绿色经济效率既是实现区域高质量发展的关键, 更是促进区域协调发展的重要手段。揭示区域绿色经济效率梯度转换规律及影响因素, 对促进区域绿色全面转型与协调发展具有重要意义。运用超效率 EBM-GML 模型测度长江经济带城市绿色经济效率, 对比分析 2016 年长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”战略前后区域绿色经济效率空间梯度格局变化, 进而采用空间马尔科夫链和空间计量模型揭示绿色经济效率梯度转换规律与影响因素。结果表明: (1) 2003—2020 年长江经济带绿色经济效率整体呈持续上升趋势, 2016 年以来绿色经济效率增幅明显, 技术进步是主要来源。(2) 长江经济带绿色经济效率沿上中下游呈现纵向的“~”型梯度强化趋势, 而从沿江向远江的横向来看, 则呈现扁平化到倒“U”型梯度转换。(3) 2016 年以来长江经济带绿色经济效率发展趋势良好, 高梯度城市的正向空间溢出效应凸显, 使得低梯度城市“路径突破”效应显著增强。(4) 经济发展、城市规模、投资强度、环境规制对绿色经济效率梯度转换具有正外部性, 而产业结构、对外开放则有负向溢出效应。对比两个时期发现, 绿色经济效率梯度转换的驱动因素发生了明显变化, 其中经济发展水平、城市规模、产业结构、政府干预对绿色经济效率的间接效应强化, 而环境规制对其直接效应增强。

**关键词:** 绿色经济效率; 梯度转换; 空间马尔可夫链; 空间溢出效应; 长江经济带

自 1978 年改革开放 40 多年来, 中国独特的区域梯度发展模式为经济持续增长奠定了重要的空间基础。随着资源环境约束、区域发展不平衡等问题凸显<sup>[1,2]</sup>, 亟需转变发展方式, 提升区域绿色经济效率, 促进低梯度地区向高梯度地区跃迁, 重塑区域梯度格局<sup>[3,4]</sup>。长江经济带作为中国重要的经济支撑带<sup>[5]</sup>, 上中下游地区经济梯度差异较为突出, 尤其是上游地区面临复杂的生态环境约束, 而中游地区成为绿色经济效率凹地<sup>[6]</sup>。优化长江经济带绿色经济效率梯度格局成为促进区域协调发展的关键。2016 年中央提出长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”战略, 将其建设成为生态文明建设的先行示范带、区域互动合作的协调发展带。那么, 在此背景下, 长江经济带城市绿色经济效率梯度格局是否发生转换? 其影响因素为何? 回答上述问题, 对提升长江经济带绿色经济效率、促进区域协调发展具有重要意义。

绿色经济效率是衡量区域发展方式转换方向与发展潜力的重要指标<sup>[6]</sup>。近年来, 伴随快速城市化与工业化进程中的区域资源环境承载力减退, 绿色经济效率成为人文经济地

收稿日期: 2023-04-17; 修订日期: 2023-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42101168, 42271209); 国家科技重点研发专项课题 (2022YFD1600603); 江西省重点研发计划项目 (20223BBG71013)

作者简介: 李汝资 (1988- ), 男, 山东临沂人, 博士, 副教授, 研究方向为区域经济与生态经济。

E-mail: lizr390@163.com

理学者关注的热点话题<sup>[7]</sup>。当前相关研究主要集中于绿色经济效率测度<sup>[8,9]</sup>、时空演变<sup>[10,11]</sup>、影响因素及作用路径等<sup>[12,13]</sup>。从研究区域来看,主要集中于中国东中西三大地带、主要城市群以及重要流域等。在区域协调发展战略和节能减排政策导向下,中国东中西三大地带绿色经济效率逐渐呈现分化格局<sup>[14]</sup>。而由于发育阶段差异,城市群绿色经济效率呈现出一定的梯度层级,东部地区沿海城市群的绿色经济效率表现优于西北地区城市群<sup>[15,16]</sup>。尤其是随着流域生态环境保护与高质量发展,长江经济带、黄河流域绿色经济效率梯度变化成为研究热点<sup>[7,17]</sup>。长江经济带作为生态文明建设先行示范带,由于规模效率、绿色技术、资源配置等差异,其绿色经济效率呈现显著的梯度分异特征<sup>[6,18]</sup>。虽然长江经济带城市绿色经济效率存在中游塌陷现象<sup>[19,20]</sup>,但其局部空间结构尚不稳定,仍存在一定的时空跃迁可能性<sup>[21]</sup>。尤其是伴随“共抓大保护、不搞大开发”战略实施以来,长江经济带经济格局变化呈现出新趋势<sup>[1]</sup>。从影响因素来看,以往研究多运用地理探测器、空间计量模型等方法识别绿色经济效率的影响因子<sup>[22,23]</sup>。诸多研究表明,由于经济效率的投入产出特征,其时空变化表现出显著的空间溢出关联效应<sup>[24]</sup>,主要受到产业结构<sup>[25]</sup>、技术创新<sup>[26]</sup>、环境规制<sup>[27]</sup>、经济集聚<sup>[28]</sup>、投资强度<sup>[17]</sup>、政府干预<sup>[29]</sup>等因素的空间传导影响。就长江经济带而言,流域内合作网络更加系统化、复杂化,绿色经济效率空间溢出效应尤其突出<sup>[30,31]</sup>。

综上所述,关于绿色经济效率的研究成果颇为丰富,但有必要从以下方面进行拓展和完善:(1)绿色经济效率梯度特征有待进一步揭示。以往研究多聚焦于绿色经济效率区域差异,从梯度视角认识绿色经济效率格局仍有待深入。(2)绿色经济效率梯度转换规律有待深入探讨。既有文献已经对碳排放、生态、科技金融等效率的动态变迁过程进行探讨<sup>[32-34]</sup>,缺乏对绿色经济效率动态的梯度转换规律研究。

为此,本文首先采用超效率EBM-GML指数模型对2003—2020年长江经济带108个地级及以上城市的绿色经济效率进行测度;其次,将长江经济带发展阶段划分为“2003—2015”“2016—2020”两个时期,对比分析长江经济带城市绿色经济效率梯度格局的变化,进一步从梯度转换的视角对城市绿色经济效率进行等级划分,探究其梯度的转换规律;最后,运用空间杜宾模型识别绿色经济效率梯度转换的影响因素。

## 1 理论框架

空间梯度是指地理现象沿某一具体方向有规律变化的空间特征,常用来刻画流域、湖泊、交通等景观格局变化。经济社会要素作为地理空间的重要组成部分,同样呈现出空间梯度特征。尤其是流域地区,既是重要的生态环境廊道,又是经济活动重要载体。流域经济活动不仅沿流域上下游位移而形成纵向的空间梯度格局,也会以流域为轴线向两侧形成横向梯度格局。伴随经济社会转型和各类因子作用,流域经济梯度逐步发生转变,成为要素流动的源动力,进而驱动经济地理格局变化。绿色经济效率作为衡量区域发展方式转换方向与发展潜力的重要指标,其梯度变化与传统经济梯度有所差异。这主要是由于各类要素投入和产出在不同区域间流动,使得区域间技术效率与技术进步均表现出更为显著的空间关联特征,进而影响区域绿色经济效率梯度。基于此,本文以绿色经济效率的两大源泉,即技术效率和技术进步作为间接传导途径,构建绿色经济效率梯度转换的影响因素框架(图1)。

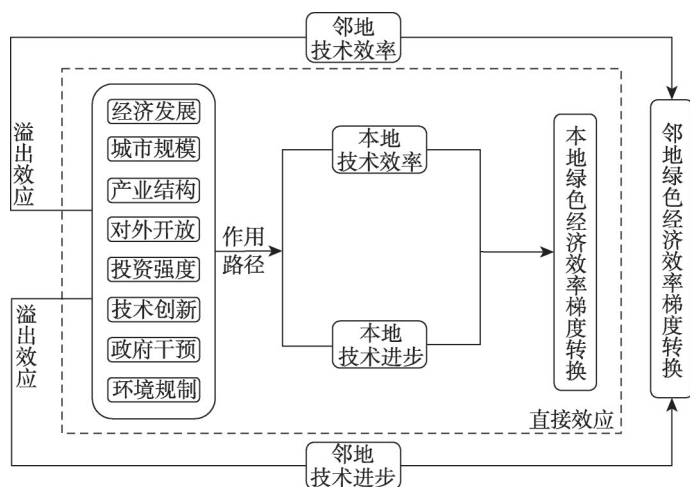


图1 长江经济带绿色经济效率梯度转换的理论框架

Fig. 1 Theoretical framework of green economy efficiency gradient transformation in Yangtze River Economic Belt

### (1) 技术效率影响路径

技术效率驱动绿色发展，主要通过资源要素集聚和资源优化配置两方面实现。就资源要素集聚而言，区域经济发展和城市规模的扩张有利于经济要素集聚，带来集聚红利<sup>[28]</sup>，对技术效率产生积极作用。但集聚规模效应可能导致非期望产出增加，进而抑制绿色经济效率。从资源优化配置视角来看，产业结构是“资源转换器”，产业结构升级有利于资源的优化配置。而资本的有效积累引导资金向绿色产业流入，可以促进产业结构升级<sup>[17]</sup>。区域对外开放带来先进的管理经验<sup>[26]</sup>，有利于要素管理制度体系和技术更新。而技术创新又有利于引导要素配置，推动绿色技术效率的提升<sup>[26]</sup>。政府管制方面，适当的政策干预促进资源的合理配置<sup>[7]</sup>，同时政府合理的环境规制倒逼企业采用先进的技术和管理，提高资源利用率<sup>[27]</sup>。

### (2) 技术进步影响路径

技术进步驱动绿色经济效率改进主要通过引入先进技术和自主绿色技术创新实现。经济发展和城市规模带来的要素集聚，使不同产业间知识和技术的交流、共享更加便捷<sup>[35]</sup>，为产业结构绿色化、高级化提供技术支撑。而产业结构的转型升级又有利于促进产业创新活力，进一步增强区域产业绿色技术创新<sup>[36]</sup>。在此过程中，随着区域合作日渐频繁，城市对外开放程度逐步加深，通过对引进技术的消化吸收，提高自主创新能力<sup>[37]</sup>。同时，随着对科学技术投入增加和资本深化，可能会引致技术进步向绿色化方向转变<sup>[29,38]</sup>。但过于依赖资本投入带来的规模效应，可能会挤出研发投入，导致绿色经济效率损失。此外，政府一方面可以通过合理的干预营造良好的创新环境，有效促进区域绿色技术创新<sup>[39]</sup>，另一方面通过制定适当的环境规制刺激绿色技术创新<sup>[40]</sup>，进而产生创新补偿效应。

### (3) 空间溢出效应

各类要素投入和产出在不同区域间流动，使得区域间绿色技术效率与绿色技术进步均表现出更为显著的空间关联特征，进而对邻近城市的绿色经济效率梯度转换形成溢出效应，驱动效率梯度协同转换，改变经济地理格局。要素集聚对相邻地区存在正辐射作

用,但过度集聚会产生虹吸效应<sup>[41]</sup>。区域间的合作交流使得产业结构模式、资金、技术、劳动、政策红利及制度产生外溢效应。而对外开放虽然在一定程度上强化要素外溢<sup>[37]</sup>,但可能伴随高能耗、环境污染性企业进入成为“污染天堂”,抑制绿色经济效率提升。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 超效率EBM-Malmquist Luenberger指数模型

本文在“超效率”模型基础上<sup>[42]</sup>,运用EBM模型<sup>[43]</sup>,与Global Malmquist Luenberger指数相结合<sup>[44]</sup>,将绿色经济效率变化(GEE)分解为技术效率变化(EC)和技术进步变化(TC),即 $GEE=EC \times TC$ 。限于篇幅,仅给出最终表达式如下:

$$\begin{aligned} GEE(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) &= \left( \frac{\overline{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\overline{D}_0^t(x^t, y^t, b^t)} \times \frac{\overline{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\overline{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t)} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{\overline{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\overline{D}_0^t(x^t, y^t, b^t)} \times \left( \frac{\overline{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\overline{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \frac{\overline{D}_0^t(x^t, y^t, b^t)}{\overline{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t)} \right)^{1/2} \\ &= EC(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) \times TC(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) \end{aligned} \quad (1)$$

式中:EC是由于政策制度变革等环境因素引起的资源配置效率变化;TC是绿色技术创新推动的效率变化<sup>[29]</sup>。同时,为了更准确地反映长江经济带绿色经济效率及其分解的变化趋势<sup>[29]</sup>,本文将GEE、EC和TC以2003年为基期连乘处理,分别得到各个年份的GEE指数、EC指数和TC指数。

### 2.2 趋势面分析

趋势面分析常用来揭示地理要素在空间上的分布规律和变化趋势<sup>[45]</sup>。本文利用趋势面分析来刻画长江经济带城市绿色经济效率在纵向和横向的梯度格局。根据趋势面原理,可将公式设为:

$$Z_i(X_i, Y_i) = T_i(X_i, Y_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中:  $(X_i, Y_i)$  为地理坐标,  $X$ 轴为东西方向,  $Y$ 轴为南北方向;  $Z(X_i, Y_i)$  为包含地理要素的实际观测值;  $T(X_i, Y_i)$  为运用最小二乘法拟合二维非线性函数所得出的趋势拟合值;  $\varepsilon_i$  表示剩余值。

### 2.3 空间马尔可夫链

马尔可夫随机过程是将区域现象量化的连续值大小离散成 $K$ 种状态类型,构造成 $K \times K$ 的状态概率转移矩阵,分析事件状态发生和转换的概率<sup>[32]</sup>。假设矩阵中元素 $P_{ij}$ 为区域 $i$ 时刻处于状态 $i$ 转移到 $t+1$ 时刻处于状态 $j$ 的概率,其计算公式如下:

$$P_{ij} = n_{ij} / n_i \quad (3)$$

式中:  $n_{ij}$  为整个研究期内 $t$ 时刻处于 $i$ 状态转移到 $t+1$ 时刻处于 $j$ 状态的城市数量之和(个);  $n_i$  表示整个研究期内处于 $i$ 状态的城市数量总和(个)。

空间马尔可夫分析则是空间滞后值与传统马尔可夫相结合的结果,按照空间滞后值划分的 $K$ 种类型,将传统 $K \times K$ 的概率转移矩阵分解成 $K$ 个 $K \times K$ 矩阵,计算在 $K$ 类型条件下,区域从 $t$ 时刻处于状态 $i$ 转移到 $t+1$ 时刻处于状态 $j$ 的概率,弥补了传统马尔可夫对地



理要素空间关联性影响的忽视。本文在探究长江经济带绿色经济效率梯度重构的基础上，运用空间马尔可夫对其效率梯度的转换规律进行分析，空间马尔可夫的相关具体公式详见参考文献 [32]。

2.4 空间面板回归模型

空间面板回归模型可以分为空间杜宾模型、空间误差模型以及空间滞后模型，选择合适的模型是正确估计参数的前提。本文经过模型检验最终选用固定效应空间杜宾模型检验长江经济带绿色经济效率梯度转换的影响因素，具体公式如下：

$$Y_{it} = \rho wY_{it} + \beta X_{it} + \theta wX_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it}$$
(4)

式中： $Y_{it}$ 表示被解释变量，在本文为  $GEE$  指数、 $EC$  指数和  $TC$  指数； $w$  为空间权重矩阵； $X_{it}$  为控制变量； $\mu_{it}$  表示固定效应； $\varepsilon_{it}$  为误差项； $\rho$ 、 $\beta$ 、 $\theta$  分别表示被解释变量的空间自回归系数、控制变量的待估计系数、控制变量的空间回归系数。

2.5 指标数据来源与处理

本文选取 2003—2020 年长江经济带 108 个地级及以上城市为研究对象，绿色经济效率包含投入、期望产出和非期望产出三类指标。投入变量包括劳动力、资本和自然资源等。其中资本采用永续盘存法进行核算<sup>[46,47]</sup>；劳动投入用年末单位从业人数表示<sup>[3]</sup>；自然资源投入包括水、土地和能源等，分别选取城市供水总量、城市建成区面积<sup>[19]</sup>、DMSP/OLS 夜间灯光等代理<sup>[48]</sup>。期望产出为各地级市 GDP，并以 2003 年为基期用 GDP 指数进行平减；非期望产出选取工业废水、工业  $SO_2$ <sup>[6]</sup> 以及  $PM_{2.5}$  平均浓度<sup>[17]</sup> 作为衡量指标。DMSP/OLS 夜间灯光数据来自 NOAA 地球观测组织 (<https://www.ngdc.noaa.gov/eog/download.html>)，空间分辨率 1000 m×1000 m； $PM_{2.5}$  平均浓度来源于大气成分分析组织利用气溶胶遥感数据反演得出的数据。影响因素层面，在参考以往文献基础上，将经济发展 ( $eco$ )、城市规模 ( $cs$ )<sup>[28]</sup>、产业结构 ( $is$ )<sup>[49]</sup>、对外开放 ( $fi$ )<sup>[26]</sup>、投资强度 ( $ii$ )<sup>[17]</sup>、技术创新 ( $ti$ )<sup>[38]</sup>、政府干预 ( $gi$ )<sup>[32]</sup>、环境规制 ( $er$ )<sup>[50]</sup> 等纳入模型 (表 1)。

除特殊说明外，以上数据均来源于各省 (市) 统计年鉴、《中国城市统计年鉴》及相关地级市统计公报。个别缺失数据采用相邻均值插补法处理。

表 1 变量描述性统计  
Table 1 Descriptive statistics of variables

类型	要素	指标	均值	最小值	最大值	预期结果
被解释变量	绿色经济效率指数	$GEE$ 指数	1.17	0.91	1.94	
	技术效率指数	$EC$ 指数	0.94	0.57	1.54	
	技术进步指数	$TC$ 指数	1.26	0.78	1.95	
影响因素	经济发展	$\ln(\text{人均 GDP})\ln eco$	10.28	7.85	12.20	不确定
	城市规模	$\ln(\text{城市市辖区人口})\ln cs$	4.74	2.66	7.94	不确定
	产业结构	第二产业占 GDP 比例 $is/\%$	47.29	14.7	75.86	负
	对外开放	$\ln(\text{实际利用外商投资额})\ln fi$	9.96	2.08	14.52	不确定
	投资强度	$\ln(\text{固定资产投资总额})\ln ii$	15.88	12.42	19.14	不确定
	技术创新	财政性科学技术支出占 GDP 比例 $ti/\%$	3.30	0.04	6.65	正
	政府干预	公共财政预算支出占 GDP 比例 $gi/\%$	16.12	1.02	68.76	正
	环境规制	工业废弃物综合利用率 $er/\%$	78.65	7.32	100	正

### 3 结果分析

#### 3.1 长江经济带绿色经济效率时间演变

如图2所示,长江经济带绿色经济效率水平均值总体呈现持续上升的阶段性变化特征。2003—2015年间,城市绿色经济效率整体上升但相对平缓,该阶段长江经济带着眼于流域开发,经济发展依赖要素投入的粗放型生产方式,导致环境污染问题严重,绿色增长缓慢。2016—2020年间,绿色经济效率大幅度上扬,说明2016年“共抓大保护、不搞大开发”战略得到充分贯彻和落实,长江经济带城市绿色发展取得积极成效。从分解结果来看,绿色技术效率整体呈持续减小趋势,而绿色技术进步持续提升,与绿色经济效率变化趋势一致。意味着与技术进步相比,长江经济带资源配置效率整体偏低,其绿色经济效率变化主要源自绿色技术进步驱动。

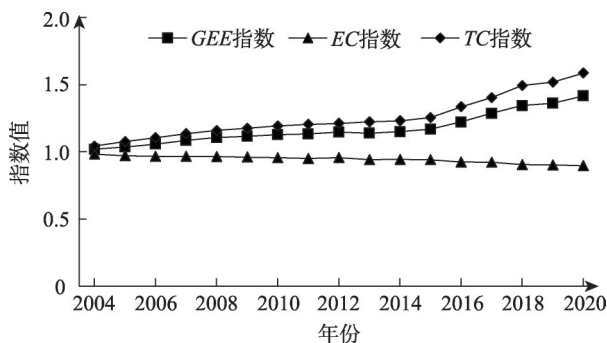


图2 长江经济带城市绿色经济效率指数及其分解的变化

Fig. 2 Changes of green economy efficiency index and decomposition of cities along the Yangtze River Economic Belt

#### 3.2 长江经济带绿色经济效率梯度演变

本文利用趋势面分析,进一步刻画不同阶段长江经济带城市绿色经济效率(GEE指数)空间梯度特征。绿色经济效率空间梯度是其沿着某一方向有规律地逐渐变化的特征。从流域纵向来看(图3),长江经济带绿色经济效率在2003—2015年、2016—2020年均呈现“~”型空间分布趋势。与2003—2015年相比,2016—2020年间绿色经济效率梯度差异扩大,上游围绕成渝地区表现为显著的中心—外围结构,而长江中游城市群与上游和下游地区相比表现出显著的“凹地”特征。

从流域横向来看(图4),2003—2015年间,长江经济带沿江、远江城市绿色经济效率梯度差异较小。而到2016—2020年间,从Z轴来看,长江经济带城市绿色经济效率指数整体上升,但沿江城市绿色经济效率逐步成为高梯度区域,远江城市绿色经济效率与沿江城市差距扩大,整体表现为倒“U”型特征。表明随着长江经济带“生态优先、绿

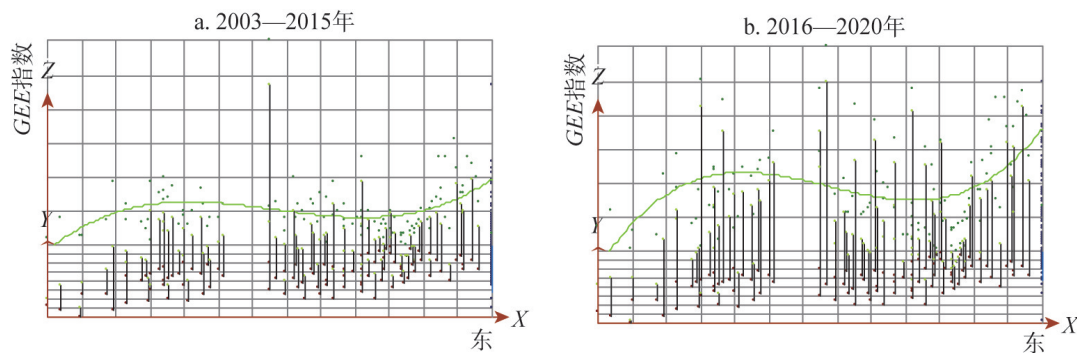


图3 长江经济带绿色经济效率梯度纵向变化

Fig. 3 Vertical change of green economy efficiency gradient in Yangtze River Economic Belt

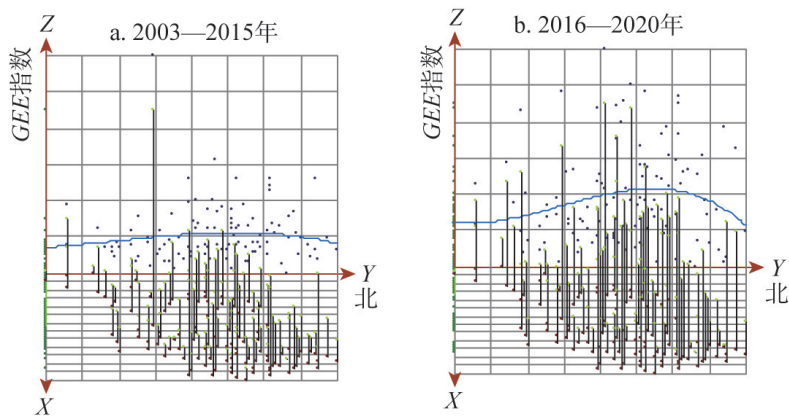


图4 长江经济带绿色经济效率梯度横向变化

Fig. 4 Horizontal change of green economy efficiency gradient in Yangtze River Economic Belt

色发展”战略实施，沿江城市绿色发展格局发生显著变化。

3.3 长江经济带绿色经济效率梯度转换规律

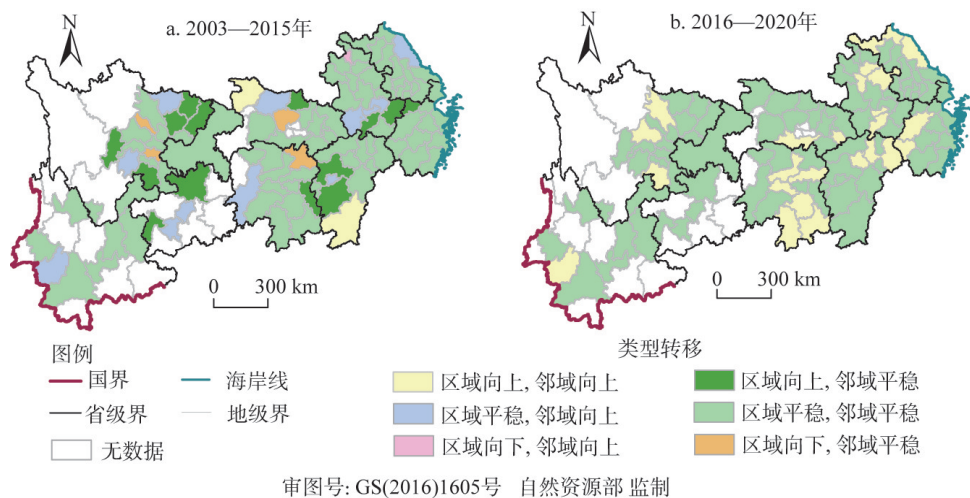
上述分析表明，长江经济带绿色经济效率梯度特征变化明显，且表现出较明显的空间集聚特征。在此基础上，本文进一步利用空间马尔可夫链揭示其梯度转换规律。将长江经济带绿色经济效率指数分为低水平增长、较低水平增长、较高水平增长、高水平增长4个梯度层级，分别对应 $K=1、2、3、4$ ，进而据此构造不同时间段的空间马尔可夫概率转移矩阵（表2）。具体来看，长江经济带绿色经济效率高梯度城市的正向溢出效应较明显，使得低效率梯度城市“路径突破”概率增大。与2003—2015年相

表2 长江经济带绿色经济效率空间马尔可夫概率转移矩阵

Table 2 Markov probability transfer matrix of the green economy efficiency in the Yangtze River Economic Belt												
空间滞后	$t/(t+1)$	2003—2015年					2016—2020年					
		$n$	1	2	3	4	$n$	1	2	3	4	
1	1	133	0.74	0.23	0.02	0.01	55	0.62	0.31	0.07	0.00	
	2	44	0.07	0.50	0.41	0.02	24	0.08	0.54	0.33	0.04	
	3	17	0.00	0.06	0.71	0.24	7	0.00	0.14	0.71	0.14	
	4	4	0.25	0.25	0.00	0.50	4	0.00	0.00	0.00	1.00	
2	1	121	0.69	0.30	0.00	0.01	58	0.69	0.28	0.03	0.00	
	2	107	0.07	0.58	0.34	0.01	49	0.06	0.61	0.33	0.00	
	3	67	0.00	0.06	0.75	0.19	34	0.00	0.09	0.56	0.35	
	4	25	0.00	0.04	0.16	0.80	11	0.00	0.00	0.00	1.00	
3	1	48	0.58	0.38	0.02	0.02	39	0.51	0.44	0.05	0.00	
	2	108	0.04	0.68	0.29	0.00	57	0.04	0.56	0.37	0.04	
	3	133	0.02	0.11	0.65	0.23	56	0.00	0.02	0.59	0.39	
	4	95	0.00	0.00	0.09	0.91	65	0.00	0.00	0.06	0.94	
4	1	14	0.64	0.29	0.07	0.00	2	0.00	1.00	0.00	0.00	
	2	46	0.07	0.65	0.28	0.00	13	0.00	0.31	0.62	0.08	
	3	73	0.00	0.05	0.68	0.26	30	0.00	0.03	0.73	0.23	
	4	153	0.00	0.00	0.07	0.93	36	0.00	0.03	0.03	0.94	

比，2016—2020年间本地绿色经济效率在与较高水平增长、高水平增长的城市邻近时，该城市绿色经济效率梯度向上转换的概率明显增大，而向下转换概率明显降低。这表明2016年后长江经济带11省市建立的省际协商合作机制得到有效运行，使得高梯度城市的辐射带动作用成为区域路径突破的重要外生力量。

从长江经济带绿色经济效率梯度转换空间分布格局来看（图5），2003—2015年间，邻域城市绿色经济效率梯度向上转移时，本区域向上转移的城市仅有2个；邻域城市效率梯度转移平稳时，区域平稳的城市75个。此阶段城市绿色经济效率的梯度转移具有明显的时空惯性，难以打破低梯度等级的路径依赖。而在“共抓大保护、不搞大开发”战略实施后，城市绿色经济效率梯度转移均转变为平稳或者向上状态。区域向上、邻域向上的城市上升到了24个，区域平稳、邻域平稳的城市84个。这表明，通过绿色转型，提升了长江经济带整体绿色经济效率，推动了区域协同发展。



注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改。

图5 长江经济带城市绿色经济效率梯度转移空间格局

Fig. 5 Spatial pattern of urban green economy efficiency gradient transfer in the Yangtze River Economic Belt

3.4 长江经济带绿色经济效率梯度转换影响因素分析

3.4.1 空间计量检验

基于上述分析，以GEE指数、EC指数和TC指数为被解释变量，构建空间计量模型，识别长江经济带绿色经济效率梯度转换的影响因素。首先对变量进行共线性分析，最高的方差膨胀因子（VIF）为6.06，说明变量间不存在多重共线性。LM-lag、LM-error检验均在1%的置信水平下拒绝原假设，故选择空间计量模型（表3）；而Hausman检验结果均通过显著性检验，满足固定效应模型条件。LR检验和Wald检验均达到显著性水平，即空间杜宾模型不会退化成空间误差模型和空间滞后模型。因此，本文选择空间杜宾固定效应模型进行实证分析。

3.4.2 空间计量结果分析

由表4可知，GEE指数、EC指数和TC指数的空间自回归系数分别为0.34、0.1585和



表3 空间计量模型检验

Table 3 Testing of spatial econometric models

模型检验	GEE 指数		EC 指数		TC 指数	
	统计量	P 值	统计量	P 值	统计量	P 值
LM-lag	22.643	0.0000	8.684	0.0030	111.055	0.0000
R-LM-lag	5.955	0.0150	23.990	0.0000	54.882	0.0000
LM-error	125.65	0.0000	63.355	0.0000	198.008	0.0000
R-LM-error	108.965	0.0000	78.661	0.0000	141.834	0.0000
Hausman test	28.3	0.0004	22.93	0.0035	31.72	0.0163
LR-lag	128.47	0.0000	112.70	0.0000	190.57	0.0000
LR-error	198.70	0.0000	111.52	0.0000	304.47	0.0000
Wald-lag	131.31	0.0000	116.24	0.0000	194.83	0.0000
Wald-error	161.84	0.0000	107.47	0.0000	248.87	0.0000

表4 空间杜宾模型回归结果

Table 4 Spatial Dubin model regression estimation

变量	GEE 指数模型	EC 指数模型	TC 指数模型
lneco	-0.0109(0.0198)	-0.0283*(0.0166)	0.0616*** (0.0198)
lncs	0.0104(0.0081)	0.0026(0.0067)	0.0184** (0.0080)
is	-0.1211*(0.0672)	-0.1697*** (0.0562)	0.1552** (0.0674)
lnfi	0.0045(0.0032)	0.0038(0.0027)	-0.0022(0.0032)
lnii	-0.0932*** (0.0114)	-0.0516*** (0.0095)	-0.0297*** (0.0114)
ti	1.3586*(0.6935)	1.7045*** (0.5800)	-1.2616* (0.6933)
gi	-0.0804(0.0499)	-0.1465*** (0.0417)	0.1150** (0.0499)
er	-0.0087(0.0146)	0.0166(0.0122)	-0.0300** (0.0146)
lneco×w	0.1004*** (0.0270)	-0.0357(0.0224)	0.0796*** (0.0274)
lncs×w	0.0336** (0.0161)	-0.0131(0.0134)	0.0351** (0.0161)
is×w	-0.4949*** (0.0812)	0.3813*** (0.0660)	-0.9847*** (0.0824)
lnfi×w	-0.0108** (0.0047)	-0.0022(0.0039)	-0.0080* (0.0047)
lnii×w	0.1030*** (0.0159)	0.0731*** (0.0133)	0.0275* (0.0159)
ti×w	-0.1149(0.8061)	0.3117(0.6775)	0.5754(0.8053)
gi×w	-0.0609(0.0621)	0.1165** (0.0518)	-0.2285*** (0.0619)
er×w	0.0410** (0.0190)	0.0280* (0.0159)	0.0176(0.0190)
$\rho$	0.3400*** (0.0267)	0.1585*** (0.0291)	0.3778*** (0.0244)
Log-likelihood	1903.3913	2253.7053	1896.5846
$R^2$	0.2878	0.0069	0.4164
固定效应	控制	控制	控制
样本数/个	1836	1836	1836

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示0.1、0.05、0.01显著性水平，下同。

0.3778，均通过了显著性检验，说明长江经济带绿色经济效率存在正向空间溢出效应。从影响因素的空间回归系数来看，经济发展、城市规模、投资强度、环境规制对绿色经济效率梯度转换具有正外部性，而产业结构、对外开放则有负向溢出效应，与预期结果

相符。进一步从分解结果来看，环境规制主要通过促进技术效率进而提升邻地绿色经济效率，经济发展、城市规模主要通过促进技术进步的正向空间溢出，从而实现绿色发展的正外部性；产业结构、对外开放主要通过影响技术进步，对绿色经济效率产生抑制作用。同时，投资强度则可以通过技术效率、技术进步的“双轮驱动”实现绿色发展的正向外溢。

将绿色经济效率空间溢出总效应分解为直接效应和间接效应，并对比分析两个时期变化可以发现（表 5），长江经济带城市绿色经济效率转换影响因素发生显著变化。首先，2016—2020 年间，经济发展水平、城市规模、产业结构、政府干预对绿色经济效率的间接效应更为突出，说明长江经济带要素流动日益密切，使得区域之间的技术扩散效应、示范效应加强<sup>[28]</sup>。同时随着部分城市产业链趋同现象加剧，区域第二产业的过度集聚和同质化严重使得环境污染扩散转移，不利于邻地城市绿色经济效率提升<sup>[50]</sup>。此外，随着政府干预程度逐渐加大，可能带来不同城市间政府“逐底竞争”，加剧环境污染，进而抑制绿色经济效率向上转换<sup>[51]</sup>。而环境规制对绿色经济效率直接效应增强，经历了由不显著到显著负效应的转变。说明过度的环境治理和规制措施，可能会导致企业生产经营成本过高，反而抑制了企业技术创新和绿色生产<sup>[40]</sup>。

表 5 不同时期长江经济带城市绿色经济效率空间效应对比

Table 5 Comparison of spatial effect of urban GEE index in different periods of the Yangtze River Economic Belt

变量	2003—2020 年		2003—2015 年		2016—2020 年	
	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应
<i>lneco</i>	-0.0008 (0.0196)	0.1404*** (0.0328)	-0.0117 (0.0178)	0.1706*** (0.0281)	-0.0529 (0.0328)	0.2414*** (0.0587)
<i>lncs</i>	0.0136* (0.0082)	0.0529** (0.0233)	0.0073 (0.0066)	0.0368** (0.0186)	0.0437** (0.0212)	0.0927* (0.0511)
<i>is</i>	-0.1678*** (0.0622)	-0.7682*** (0.0851)	-0.2685*** (0.0562)	-0.0064 (0.0813)	0.2753*** (0.1036)	-0.5852*** (0.1883)
<i>lnfi</i>	0.0036 (0.0031)	-0.0128* (0.0068)	0.0000 (0.0028)	-0.0136** (0.0063)	0.0025 (0.0049)	-0.0171 (0.0121)
<i>lnii</i>	-0.0868*** (0.0105)	0.0989*** (0.0199)	-0.0728*** (0.0100)	0.0288* (0.0172)	0.0330* (0.0179)	0.0808 (0.0497)
<i>ti</i>	1.4436** (0.6686)	0.5043 (1.0011)	1.2452*** (0.4624)	0.6371 (0.6860)	4.9775* (2.5799)	4.1727 (6.1197)
<i>gi</i>	-0.0891* (0.0497)	-0.1274* (0.0734)	-0.0936** (0.0429)	0.0500 (0.0686)	-0.0793 (0.0677)	-0.2229* (0.1231)
<i>er</i>	-0.0052 (0.0136)	0.0558** (0.0245)	0.0046 (0.0104)	0.0816*** (0.0178)	-0.0654** (0.0317)	0.1354 (0.0869)

4 结论与启示

本文运用超效率EBM-GML模型测算长江经济带108个地级及以上城市绿色经济效率，探究“生态优先、绿色发展”背景下，绿色经济效率梯度格局变迁规律，并识别其影响因素，以期对长江经济带城市绿色协同发展提供参考。主要研究结论如下：

（1）研究期内，长江经济带城市绿色经济效率整体呈现持续上升的阶段性变化趋势。2003—2015年间的绿色经济效率变化缓慢，在“共抓大保护，不搞大开发”战略实

施后, 2016—2020年间的绿色经济效率进入了大幅度提升阶段。趋势面分析发现, 长江经济带城市绿色经济效率沿上中下游呈现“~”型的梯度特征, 从沿江到远江对比来看, 则呈现扁平化趋势向倒“U”型梯度转换, 整体梯度差异扩大。

(2) 2003—2015年间长江经济带绿色经济效率梯度的转换存在明显的路径依赖现象。“生态优先, 绿色发展”战略实施后, 长江经济带绿色经济效率向上转换概率显著提升。尤其是低效率梯度城市向上转换的可能性显著增强, 实现路径突破。

(3) 经济发展、城市规模、对外开放、投资强度、技术创新、教育水平、环境规制、政府干预程度等多方面因素通过影响技术效率和技术进步, 间接驱动绿色经济效率梯度转换。对比2003—2015年、2016—2020年两个阶段, 绿色经济效率梯度转换的影响因素发生了明显变化。经济发展水平、城市规模、产业结构、政府干预对绿色经济效率的间接效应更为突出, 环境规制直接效应增强。

根据上述研究结论, 可得出以下研究启示: (1) 推进经济社会的全面绿色转型, 充分利用城市间的效率梯度势能差, 发挥核心城市的辐射带动作用, 打造绿色发展协同提升经济带。不同绿色经济增长类型的城市之间建立健全合作交流机制, 以成渝城市群、长江中游城市群和长三角城市群为增长极, 充分发挥高水平增长型城市的正向空间溢出效应。低水平增长型城市则需进一步加大对外开放程度, 积极引进和承接人才、技术等优势资源, 充分借鉴高水平增长型城市的成功经验。(2) 推动技术创新、增强绿色发展动能, 基于比较优势优化产业结构和区域分工格局, 促进城市绿色经济效率梯度向上转换。明确企业技术创新的主体地位, 引导支持企业自主研发创新, 提高技术创新对绿色经济发展的转化效率和服务价值; 进一步加强对绿色投资的力度, 鼓励支持节能减排、清洁能源产业的发展, 引导资金从高污染行业向创新型、环保型的高技术行业流动, 加快区域产业结构高级化和合理化。就上游地区而言, 四川可以发挥国家全面改革创新试验区域的先行先试效应加快创新驱动发展, 贵州则可以借助大数据推动产业转型升级。而下游地区作为绿色技术进步实现跃迁的中心地区, 应把技术创新方向朝节能环保等领域扩张, 并将重要创新成果向中游地区辐射, 推动上中下游城市间科技领域的合作联系。

## 参考文献(References):

- [1] 刘建国, 李国平, 张军涛, 等. 中国经济效率和全要素生产率的空间分异及其影响. 地理学报, 2012, 67(8): 1069-1084. [LIU J G, LI G P, ZHANG J T, et al. Spatial distribution and its affecting factors of economy efficiency and total factor productivity in China: 1990-2009. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(8): 1069-1084.]
- [2] 李汝资, 刘耀彬, 谢德金. 中国产业结构变迁中的经济效率演进及影响因素. 地理学报, 2017, 72(12): 2179-2198. [LI R Z, LIU Y B, XIE D J. The evolution of economic efficiency in China's industrial structure change and its influencing factors. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(12): 2179-2198.]
- [3] 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. 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. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [4] 盖美, 秦冰, 郑秀霞. 经济增长动能转换与绿色发展耦合协调的时空格局演化分析. 地理研究, 2021, 40(9): 2572-2590. [GAI M, QIN B, ZHENG X X. The evolution of the spatio-temporal pattern of the coupling and coordination between economic growth kinetic energy conversion and green development. Geographical Research, 2021, 40(9): 2572-2590.]
- [5] 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. 地理学报, 2018, 73(10): 1829-1836. [LU D D. Conservation of the Yangtza River and sustainable development

- of the Yangtze River Economic Belt: An understanding of General Secretary Xi Jinping's important instructions and suggestions for their implementation. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1829-1836.]
- [6] 李汝资, 刘耀彬, 王文刚, 等. 长江经济带城市绿色全要素生产率时空分异及区域问题识别. *地理科学*, 2018, 38(9): 1475-1482. [LI R Z, LIU Y B, WANG W G, et al. Spatial-temporal evolution of green total factor productivity and identification of area problems in the Yangtze River Economic Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(9): 1475-1482.]
- [7] 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. *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 the Yellow River Basin. *Geographical Research*, 2022, 41(1): 167-180.]
- [8] 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. *自然资源学报*, 2020, 35(8): 1972-1985. [GUO F Y, TONG L J, QIU F D, et al. Spatial-temporal pattern and driving forces of urban-rural green development efficiency in Lunan Economic Belt. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(8): 1972-1985.]
- [9] 林晓, 徐伟, 杨凡, 等. 东北老工业基地绿色经济效率的时空演变及影响机制: 以辽宁省为例. *经济地理*, 2017, 37(5): 125-132. [LIN X, XU W, YANG F, et al. Spatio-temporal characteristics and driving forces of green economic efficiency in old industrial base of Northeast China: A case study of Liaoning province. *Economic Geography*, 2017, 37(5): 125-132.]
- [10] 申丹虹, 刘锦叶, 师王芳. 黄河流域绿色全要素生产率及影响因素研究. *调研世界*, 2023, (3): 3-10. [SHEN D H, LIU J Y, SHI W F. Research on green total factor productivity and influencing factors in the Yellow River Basin. *The World of Survey and Research*, 2023, (3): 3-10.]
- [11] 姜磊, 陈元, 黄剑, 等. 财政支出效率对绿色全要素生产率影响的实证分析: 基于中国284个城市的面板数据. *经济地理*, 2022, 42(11): 28-36. [JIANG L, CHEN Y, HUANG J, et al. Impact of fiscal expenditure efficiency on green total factor productivity: Based on panel data from 284 cities in China. *Economic Geography*, 2022, 42(11): 28-36.]
- [12] 苏华, 杨帆, 张亚力. 中国市域绿色全要素生产率空间计量分析. *经济地理*, 2022, 42(9): 138-146. [SU H, YANG F, ZHANG Y L. Temporal-spatial evolution characteristics and spatial economic analysis of green total factor productivity in Chinese cities. *Economic Geography*, 2022, 42(9): 138-146.]
- [13] 刘雨婧, 唐健雄. 中国旅游业绿色发展效率时空演变特征及影响机理. *自然资源学报*, 2022, 37(3): 681-700. [LIU Y Q, TANG J X. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing mechanism of green development efficiency of tourism industry in China. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(3): 681-700.]
- [14] 杨志江, 文超祥. 中国绿色发展效率的评价与区域差异. *经济地理*, 2017, 37(3): 10-18. [YANG Z J, WEN C X. Evaluation on China's green development efficiency and regional disparity. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 10-18.]
- [15] 刘杨, 杨建梁, 梁媛. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征. *经济地理*, 2019, 39(2): 110-117. [LIU Y, YANG J L, LIANG Y. The green development efficiency and equilibrium features of urban agglomerations in China. *Economic Geography*, 2019, 39(2): 110-117.]
- [16] 黄跃, 李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化. *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. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1309-1322.]
- [17] 曹乃刚, 赵林, 高晓彤. 黄河三角洲县域绿色经济效率的时空演变与驱动机制. *应用生态学报*, 2021, 32(9): 3299-3310. [CAO N G, ZHAO L, GAO X T. Spatio-temporal evolution and driving mechanism of green economic efficiency at counties level in the Yellow River Delta, China. *Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(9): 3299-3310.]
- [18] 陆玉麒, 董平. 新时期推进长江经济带发展的三大新思路. *地理研究*, 2017, 36(4): 605-615. [LU Y Q, DONG P. Three innovative thoughts on promoting the development of Yangtze River Economic Belt in the New Era. *Geographical Research*, 2017, 36(4): 605-615.]
- [19] 卢丽文, 宋德勇, 黄臻. 长江经济带城市绿色全要素生产率测度: 以长江经济带的108个城市为例. *城市问题*, 2017, (1): 61-67. [LU L W, SONG D Y, HUANG C. Measurement on the green total factor productivity of the Yangtze River Economic Belt: Taking 108 cities for example. *Urban Problems*, 2017, (1): 61-67.]
- [20] 卢丽文, 宋德勇, 李小帆. 长江经济带城市发展绿色效率研究. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(6): 35-42. [LU L W, SONG D Y, LI X F. Green efficiency of urban development in the Yangtze River Economic Belt. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(6): 35-42.]



- [21] 方世敏, 黄琰. 长江经济带旅游效率与规模的时空演化及耦合协调. 地理学报, 2020, 75(8): 1757-1772. [FANG S M, HUANG Y. Spatio-temporal evolutions and coordination of tourism efficiency and scale in the Yangtze River Economic Belt. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(8): 1757-1772.]
- [22] 辛龙, 孙慧, 王慧, 等. 基于地理探测器的绿色经济效率时空分异及驱动力研究. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(9): 128-138. [XIN L, SUN H, WANG H, et al. Research on the spatial-temporal differentiation and driving forces of green economic efficiency based on geographic detector model. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(9): 128-138.]
- [23] 赵林, 刘焱序, 曹乃刚, 等. 中国包容性绿色效率时空格局与溢出效应分析. 地理科学进展, 2021, 40(3): 382-396. [ZHAO L, LIU Y X, CAO N G, et al. Spatio-temporal pattern and spillover effect of inclusive green efficiency in China. *Progress in Geography*, 2021, 40(3): 382-396.]
- [24] 刘建国, 张文忠. 中国区域全要素生产率的空间溢出关联效应研究. 地理科学, 2014, 34(5): 522-530. [LIU J G, ZHANG W Z. The spatial spillover effects of regional total factor productivity in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(5): 522-530.]
- [25] 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. 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. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1788-1798.]
- [26] 曾刚, 胡森林. 技术创新对黄河流域城市绿色发展的影响研究. 地理科学, 2021, 41(8): 1314-1323. [ZENG G, HU S L. The impact of technological innovation on urban green development in the Yellow River Basin. *Geographic Science*, 2021, 41(8): 1314-1323.]
- [27] 蔡乌赶, 周小亮. 中国环境规制对绿色全要素生产率的双重效应. 经济学家, 2017, (9): 27-35. [CAI W G, ZHOU X L. Dual effect of Chinese environmental regulation on green total factor productivity. *Economist*, 2017, (9): 27-35.]
- [28] 丁玉龙. 城市规模对绿色经济效率的影响及空间效应研究: 基于我国285个地级及以上城市数据的实证分析. 城市问题, 2021, (12): 58-68. [DING Y L. Study on the influence of city scale on the efficiency of green economic and its spatial effect: Empirical evidence from 285 prefecture-level and above in China. *Urban Problems*, 2021, (12): 58-68.]
- [29] 童响, 刘海猛, 马勇, 等. 中国旅游经济对城市绿色发展的影响及空间溢出效应. 地理学报, 2021, 76(10): 2504-2521. [TONG J, LIU H M, MA Y, et al. The influence and spatial spillover effects of tourism economy on urban green development in China. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(10): 2504-2521.]
- [30] 郝国彩, 徐银良, 张晓萌, 等. 长江经济带城市绿色经济绩效的溢出效应及其分解. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 75-83. [HAO G C, XU Y L, ZHANG X M, et al. Spillover effect and decomposition of green economic performance of the city in the Yangtze River Economic Belt. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(5): 75-83.]
- [31] 陈明华, 刘文斐, 王山, 等. 长江经济带城市生态效率的时空分异及其驱动因素. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(9): 121-127. [CHEN M H, LIU W F, WANG S, et al. Spatio-temporal differentiation of urban eco-efficiency in the Yangtze River Economic Belt and its driving factors. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(9): 121-127.]
- [32] 王少剑, 高爽, 黄永源, 等. 基于超效率SBM模型的中国城市碳排放绩效时空演变格局及预测. 地理学报, 2020, 75(6): 1316-1330. [WANG S J, GAO S, HUANG Y Y, et al. Spatio-temporal evolution and trend of urban carbon emission performance in China based on super-efficiency SBM model. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(6): 1316-1330.]
- [33] 侯孟阳, 姚顺波. 1978—2016年中国农业生态效率时空演变及趋势预测. 地理学报, 2018, 73(11): 2168-2183. [HOU M Y, YAO S B. Spatial-temporal evolution and trend prediction of agricultural eco-efficiency in China: 1978-2016. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2168-2183.]
- [34] 李天籽, 韩沉刚. 武汉城市圈科技金融效率时空特征与趋同演化分析. 经济地理, 2022, 42(1): 61-69. [LI T Z, HAN Y G. Spatio-temporal characteristics and convergent evolution analysis of sci-tech finance efficiency in Wuhan Urban Agglomeration. *Economic Geography*, 2022, 42(1): 61-69.]
- [35] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验. 管理世界, 2019, 35(1): 36-60, 226. [SHAO S, ZHANG K, DOU J M. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China. *Management World*, 2019, 35(1): 36-60, 226.]

- [36] 余振, 龚惠文, 胡晓辉. 可持续性转型地理研究综述与展望. 地理科学进展, 2021, 40(3): 498-510. [YU Z, GONG H W, HU X H. Geography of sustainability transitions: A sympathetic critique and research agenda. Progress in Geography, 2021, 40(3): 498-510.]
- [37] 李晓钟, 张小蒂. 外商直接投资对我国技术创新能力影响及地区差异分析. 中国工业经济, 2008, (9): 77-87. [LI X Z, ZHANG X D. Analysis of different regional effect of FDI on innovative capacity in China. China Industrial Economics, 2008, (9): 77-87.]
- [38] 钱龙. 中国城市绿色经济效率测度及影响因素的空间计量研究. 经济问题探索, 2018, 38(8): 160-170. [QIAN L. Spatial econometric research on China's urban green economic efficiency measurement and influencing factors. Inquiry into Economic Issues, 2018, 38(8): 160-170.]
- [39] 孙燕铭, 湛思邈. 长三角区域绿色技术创新效率的时空演化格局及驱动因素. 地理研究, 2021, 40(10): 2743-2759. [SUN Y M, CHEN S M. The spatio-temporal evolutionary pattern and driving forces mechanism of green technology innovation efficiency in the Yangtze River Delta Region. Geographical Research, 2021, 40(10): 2743-2759.]
- [40] 张娟, 耿弘, 徐功文, 等. 环境规制对绿色技术创新的影响研究. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 168-176. [ZHANG J, GENG H, XU G W, et al. Research on the influence of environmental regulation on green technology innovation. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(1): 168-176.]
- [41] 陈玉, 孙斌栋. 京津冀存在“集聚阴影”吗: 大城市的区域经济影响. 地理研究, 2017, 36(10): 1936-1946. [CHEN Y, SUN B D. Does "agglomeration shadow" exist in Beijing-Tianjin-Hebei Region? Large cities' impact on regional economic growth. Geographical Research, 2017, 36(10): 1936-1946.]
- [42] ANDERSEN P, PETERSEN N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Management Science, 1993, 39(10): 1261-1264.
- [43] TONE K, TSUTSUI M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA: A third pole of technical efficiency. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3): 1554-1563.
- [44] ZOFIO J L. Malmquist productivity index decompositions: A unifying framework. Applied Economics, 2007, 39(18): 2371-2387.
- [45] 李强, 王士君, 梅林. 长春市中心城区大型超市空间演变过程及机理研究. 地理科学, 2013, 33(5): 553-561. [LI Q, WANG S J, MEI L. The spatial characteristics and mechanism of supermarkets in central district of Changchun, China. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(5): 553-561.]
- [46] YOUNG A. Gold into base metals: Productivity growth in the People's Republic of China during the reform period. NBRE Working Paper 7856, 2000.
- [47] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000. 经济研究, 2004, 39(10): 35-44. [ZHANG J, WU G Y, ZHANG J P. The estimation of China's provincial capital stock: 1952-2000. Economic Research Journal, 2004, 39(10): 35-44.]
- [48] 马勇, 童昀, 任洁. 多源遥感数据支持下的县域尺度生态效率测算及稳健性检验: 以长江中游城市群为例. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1196-1208. [MA Y, TONG Y, REN J. Calculation and robustness test of country-scale ecological efficiency based on multi-source remote sensing data: Taking the urban agglomeration in the Middle Reaches of the Yangtze River as an example. Journal of Natural Resources, 2019, 34(6): 1196-1208.]
- [49] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 104-109. [QIAN Z M, LIU X C. Regional differences in China's green economic efficiency and their determinants. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(7): 104-109.]
- [50] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率. 经济研究, 2019, 54(2): 119-132. [LIN B Q, TAN R P. Economic agglomeration and green economy efficiency in China. Economic Research Journal, 2019, 54(2): 119-132.]
- [51] 刘儒, 卫离东. 地方政府竞争、产业集聚与区域绿色发展效率: 基于空间关联与溢出视角的分析. 经济问题探索, 2022, (1): 79-91. [LIU R, WEI L D. Local government competition, industrial agglomeration and regional green development efficiency: Analysis based on spatial correlation and spillover perspective. Inquiry into Economic Issues, 2022, (1): 79-91.]

## Gradient transformation and influencing factors of urban green economy efficiency in the Yangtze River Economic Belt

LI Ru-zi<sup>1,2</sup>, CHEN Qiao-juan<sup>2</sup>, GAO Xiong-yuan<sup>2</sup>, MENG Si-xian<sup>2</sup>, WEI Guo-en<sup>3</sup>, LIU Yao-bin<sup>1,2</sup>

(1. Research Center of Central China Economic and Social Development, Nanchang University, Nanchang

330031, China; 2. School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

3. School of Resources and Environment, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**Abstract:** Improving the efficiency of regional green economy is not only the key to achieving high-quality regional development, but also an important means to promote coordinated regional development. Revealing the gradient transformation law and influencing factors of regional green economy efficiency is of great significance to promote regional green comprehensive transformation and coordinated development. This paper uses the super-efficient EBM-GML model to measure the urban green economy efficiency of the Yangtze River Economic Belt, compares and analyzes the changes of regional green economy efficiency spatial gradient pattern before and after the strategy of "promoting well-coordinated environmental conservation and avoiding excessive development" in the Yangtze River Economic Belt in 2016, and then uses the spatial Markov chain and spatial econometric model to reveal the transformation law and influencing factors of green economy efficiency gradient. The results show that: (1) From 2003 to 2020, the overall green economy efficiency of the study area showed a continuous upward trend, and since 2016, the green economy efficiency has increased significantly, and technological progress is the main source. (2) The green economy efficiency showed a vertical "~" gradient strengthening trend along the upper, middle and lower streams, while from the horizontal perspective from the main stream and its sides, it showed a flattened to inverted "U" gradient transformation. (3) Since 2016, the green economy efficiency has developed well, and the positive spatial spillover effect of high-gradient cities has been highlighted, which has significantly enhanced the "path breakthrough" effect of low-gradient cities. (4) Economic development, urban scale, investment intensity, and environmental regulations have positive externalities for the gradient transformation of green economy efficiency, while industrial structure and opening-up have negative spillover effects. Comparing the two periods, we found that the driving factors for the gradient transformation of green economy efficiency have undergone significant changes. Among them, the indirect effects of economic development level, urban scale, industrial structure, and government intervention on green economy efficiency have been strengthened, while the direct effects of environmental regulations have been enhanced.

**Keywords:** green economy efficiency; gradient transformation; spatial Markov chain; spatial spillover effects; Yangtze River Economic Belt