

长三角地区城市绿色创新效率 空间分异及影响因素

鲍涵^{1, 2} 滕堂伟^{1, 2} 胡森林^{1, 2} 丁娟³¹

(1. 华东师范大学 中国现代城市研究中心, 上海 200241;

2. 华东师范大学 国土开发与区域经济研究所, 上海 200241;

3. 安徽大学商学院, 安徽 合肥 230601)

【摘要】:绿色创新是高质量发展的新动能,绿色创新效率空间分异事关长三角更高质量一体化。选取2006~2017年长三角地区41个地级及以上城市的数据,运用SBM模型测度城市绿色创新效率,利用Theil指数、Hurst指数等刻画绿色创新效率时空特征,并选择Tobit模型从“自然-经济-政策”3个维度系统定量探讨其影响机制,研究发现:(1)长三角地区城市绿色创新效率波动性上升,区域差异逐渐减小,区域协同发展态势明显。(2)长三角地区部分核心城市周围出现效率“洼地”,高效率分布区由自然禀赋优越区域向技术水平、产业结构高水平区域转变。(3)长三角中部城市绿色创新效率有逆持续下降风险,东部沿海地带及江苏省外圈各市成为主要持续增长区域,呈带状和环状分布。(4)经济要素和政策要素较自然要素对绿色创新效率的解释度更高,城市经济实力和产业结构和环境规制等因素的作用尤其明显,但各因素的作用均呈现出阶段性差异。这为制定因地制宜型创新驱动绿色发展政策、促进长三角地区更高质量一体化发展提供了科学支撑。

【关键词】:绿色创新效率 时空格局 影响机制 环境规制 长三角

【中图分类号】:F290 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2022)02-0273-12

绿色发展和创新驱动是长三角高质量一体化发展的关键^[1]。《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》将“坚持创新共建”“坚持绿色共保”确立为长三角区域一体化发展的基本原则。研究长三角绿色创新效率格局及其驱动因素,对于推进长三角高质量一体化建设具有重要实践意义。

国外以经合组织(OECD)为代表的一大批机构和学者对绿色创新进行了诸多研究^[2,3],国内的研究起步较晚。一些学者认为,绿色创新与生态创新、环境驱动创新以及可持续创新等在内涵上具有相似性^[4,5,6],均为在创新中兼顾环境效应与影响^[7,8]。一些学者侧重于探讨绿色技术创新,多以企业为研究对象^[9,10],或聚焦于工业行业内如何以最少资源投入达到较大绿色产出等^[11]。一些学者则关注省域行政区划内自然环境、经济环境与社会文化三者杂糅与统一,研究也多集中于区域协调发展^[12,13]。绿色创新效率测

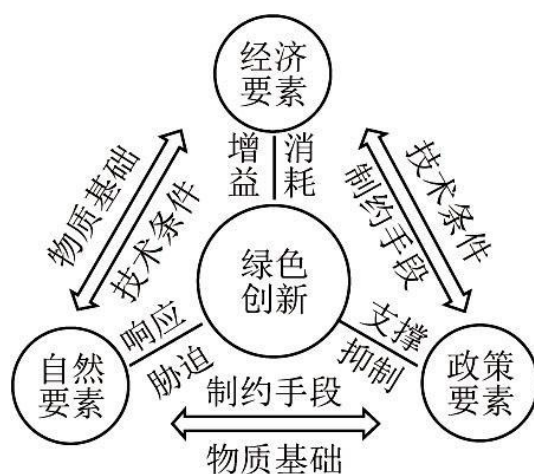
¹**作者简介:**鲍涵(1998~),女,硕士研究生,主要研究方向为城市与区域创新研究。E-mail:17305695440@163.com;滕堂伟 E-mail:tweteng@re.ecnu.cn

基金项目:中央高校基本科研业务费项目华东师范大学共享交叉基金项目(2019ECNU-GXJC002);教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(17JJD790006);华东师范大学优秀博士生学术创新能力提升计划(YBNLTS2020-021)

算和格局刻画方面，主要在区域和企业两类尺度进行研究，涵盖效率测度与分解、时序变化与空间分异规律等多方面内容，多采用 DEA 或相关修正模型^[14,15]、生产函数的随机前沿分析法^[16]，以及含非期望产出的 SBM、全局莫兰指数等方法^[4,17]。在效率影响因素方面，现在已有关于绿色创新效率的影响因素的研究多从城市个体内部出发^[18]，或在企业组织等较小层面进行探讨^[19]。有研究表明自然要素对城市绿色发展具有较大影响^[20]，与此同时产业结构、人力资本、能源结构、对外开放等经济要素^[18]对绿色创新效率影响较为显著。研究方法则基于数据类型，选取极大似然估计法、受限面板 Tobit 模型以及杜宾模型对影响因素的空间溢出效应进行研究。

综上，在研究内容上，已有研究对绿色创新效率的内涵界定较为模糊，主要在区域宏观和企业微观层面展开研究，中观层面研究不足；且效率指标选取存在微观宏观混用等问题。现有研究中对于城市绿色创新效率的空间异质性以及区域均衡性的分析较少，空间格局刻画较少涉及未来发展趋势预测。影响因素方面，现有研究存在系统性和时期性规律刻画不充分的问题，已有研究多从经济单方面出发，如单一选取经济方面的影响因素进行实证研究。同时现有研究也较少考虑城市绿色创新效率发展的阶段性，即在绿色创新水平不同时，影响机制具有的差异性。因此，本研究整合城市、省以及长三角地区 3 重尺度，基于绿色创新效率作用模型，构建投入—产出评价体系，采用基于非期望的 SBM 模型进行测度，通过多种空间分析方法对长三角城市绿色创新效率时空演变特征进行分析，同时基于绿色创新效率值的截断性，选择 Tobit 模型从“自然—经济—政策”三个维度进行回归其影响因素分析。

本文认为绿色创新是绿色发展与创新共同形成的循环促进的共同体，创新通过技术进步等手段在生产过程中减少资源利用和环境破坏，从而促进绿色发展，另一方面，绿色发展的要求会推动科技不断进行创新。绿色创新促进区域经济增长，提升社会福利水平，实现经济、社会以及自然三大系统的整体发展^[21]，绿色创新理论分析框架包括两圈层即本底要素和核心层绿色创新，本底三类要素共同作用，相互耦合共生，构成了绿色创新的本底基础要素层，为绿色创新提供了相应基础条件(图 1)。



绿色创新受自然要素、经济要素以及政策要素的综合作用。自然要素为绿色创新提供自然资源，经济要素则为创新提供相应帮助，政策要素则会根据 Porter 假说^[22]，在区域整体性和规制方面通过作用于自然和经济要素为绿色创新形成支撑。而绿色创新也会通过技术创新产生绿色福利即资源利用减少，废物利用率增加，对自然要素形成响应作用，与此同时，为了实现绿色创新，对自然要素的利用超过自然界的承受范围则又会对自然要素形成胁迫。绿色创新必然形成经济要素方面的绿色增长，而为了实现绿色创新也需要经济要素的前期投入。由已有研究可知，绿色创新对长三角地区一体化推动作用显著，绿色创新在一定程度上可以推动政策要素实现高水平发展，而政策要素中如环境规制等亦可促进城市企业个体进行创新活动，推动创新水平的提升，而技术创新也可减少资源使用和废物产生。由此可形成圈层间正向作用为“增益—支撑—响应”的机制过程，其负反馈作用则形

成“胁迫-抑制-消耗”过程，两者结合与基础要素共同形成了系统作用模型。

1 数据说明及研究方法

1.1 评价体系构建与数据来源

绿色创新在广义上，学者多关注自然环境、经济环境与政策环境三者杂糅与统一，如陈华斌认为绿色创新是在一定的环境保护要求的约束下，实现观念、产品、生产过程创新的动态过程^[23]。狭义上说，学者对绿色创新的概念界定侧重于技术，多以企业为研究对象，或者在产业方面进行限定，如仅关注工业产业范围内如何以最少资源投入以达到较大产出。而对研究区域的绿色创新效率测度，一方面需要尽量准确测度城市创新能力，另一方面也应在指标评价体系中突出绿色属性。又由于在长三角一体化规划中，绿色创新概念较多的在第二产业相关领域中提出，如皖江经济带承接产业转移以及相关工业产业的更新换代问题均涉及绿色创新的需求，第三产业中对于绿色创新的要求则较少。由长三角地区的产业结构可知该区域制造业较为发达，且可量化创新指标多来源于工业，工业投入也较好度量。故本研究采用狭义上绿色创新效率概念，更多关注工业领域。

本研究旨在以生态经济学为理论基础，在长三角地区工业发展路径中，考虑绿色因素的创新效率如何演化，故本研究从投入—产出角度出发选取指标。在投入指标方面，考虑到柯布-道格拉斯生产函数中对劳动和资本的重视，以及考虑到绿色创新效率与普通绿色生产率在内涵上的区别，故应突出研发投入要素，结合传统绿色生产中能源和资本以及劳动力投入等要素，在广泛阅读前人文献的基础上，构建相应测度指标。由于绿色创新具有双重溢出效应的特质，即知识溢出和环保溢出^[24]，故产出指标需考虑知识产出以及环境产出两方面要素。基于以上理论及概念内涵，最终构造出 5 项二级指标以及 9 项三级指标，如下表 1 所示。

表 1 长三角城市绿色创新效率评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	
投入	研发投入	工业企业从事 R&D 活动人员数量	Li 等 ^[25] 和 Kneller ^[26]
		工业企业 R&D 内部经费支出	Song ^[27]
	能源投入	工业综合能源消费量(工业用电量)	Li 等 ^[25]
	资本投入	工业固定资产投资总额	周亮 ^[20]
产出	期望产出	专利授权量	贾军 ^[19]
		工业企业新产品产值	滕堂伟 ^[4]
	非期望产出	工业废水排放量	Managi 等 ^[28]
		工业二氧化硫排放量	
		工业烟尘排放量	

依据国家政策颁布年限和数据可获取性，选定 2006~2017 年共 12 年为研究期限。研究数据主要来源于《中国城市统计年鉴》、各省市统计年鉴和政府公报、《中国环境统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》以及国家专利局，缺失值利用插值法和均值替换法进行补齐，地理数据来源于中科院资源环境数据云平台提供的中国地级市矢量数据。

1.2 研究方法

(1) SBM-Undesirable 模型

国内研究中对于经济效率测度,多采用数据包络分析法来进行研究,随机前沿分析法也较为常见,多用于测度单产出的经济效率值。城市的绿色创新效率,由于其研究主体的复杂性和综合性,采用单一产出指标具有较大缺陷,故采用多指标,且划分出期望产出和非期望产出指标,以期对绿色创新效率进行较科学的衡量。而传统 DEA 径向模型无法将无效单元的松弛变量纳入考虑,SBM 模型则在基础 DEA 模型上进行了修正,在克服弱有效数据的基础上,实现多重指标的综合测度目标^[29],使得测度值能够更加贴近绿色创新概念。

本文基于产出视角,把每个城市视为单一生产决策单元(Decision Making Unit, DMU),且由于城市在创新过程中会产生三废等非期望产出,故本次研究采用 SBM 模型,每个决策单元均包含投入、期望产出和非期望产出三部分。按照 Tone 的方法,将模型定义如下:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{p_i^-}{x_{i_0}}}{1 + \frac{1}{p_1 + p_2} \left[\sum_{r=1}^{p_1} y_{r_0}^g p^g + \sum_{r=1}^{p_2} y_{r_0}^b p^b \right]} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} x_0 = X\beta + p^- \\ y_0^g = Y^g\beta - p^g \\ y_0^b = Y^b\beta + p^b \\ p^- \geq 0, p^g \geq 0, p^b \geq 0, \beta \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

将 x, y^g, y^b 3 个特征向量表示投入、期望与非期望产出,同时定义矩阵其中分别包含各自向量表征并形成相应矩阵,即 X, Y^g, Y^b 3 个 $m \times n$ 维度的矩阵,且 $X = [x_1 x_2, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$,并以此类推其中投入与非期望产出的过剩用向量 $p^- \in R^m, p^g \in R^{p_2}$ 来表示。该函数具有严格递减性,当 $\rho=1$ 时,决策单元处在最佳生产前沿面上。

(2) 泰尔指数

泰尔指数多用于经济学收入不平等程度的测度中,且该指数具有很好的可分解性质,已有研究将该指数引入用以测量绿色发展的空间差异,并将其分解为组内差异以及组间差距^[30],基于此,本研究采用此指数对长三角地区的绿色创新效率进行分区域分析,公式如下:

$$Theil = Theil_w + Theil_B \quad (3)$$

$$Theil_w = \sum_{i=1}^m \left(\frac{n_i}{n} \frac{\bar{x}_i}{\bar{x}} \right) Theil_i \quad (4)$$

$$Theil_w = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{n} \left(\frac{\bar{x}_i}{\bar{x}} \right) \ln \left(\frac{\bar{x}_i}{\bar{x}} \right) Theil_i \quad (5)$$

其中分组数量用 m 进行表示; n_i 则表示在组群 i 中的城市数量; $\bar{x}_i$ 则表示组群内各市城市绿色创新效率均值。上式中 $Theil_i$

表示城市绿色创新效率的泰尔指数； $Theil_w$ 则表示组内城市绿色创新效率差异， $Theil_b$ 则表示组间绿色创新效率差异。

(3) 相对发展率指数(NICH)和Hurst 指数

NICH 为反映相对增长量的指数，该指数被广泛用于各类研究主体的时空变化的格局刻画和区域差异研究中^[31,32]，同时相对发展速率可作为测度效率发展状况的指标，公式如下：

$$NICH = (Y_{it} - Y_{oi}) / (Y_t - Y_0) \quad (6)$$

式中： Y_t 表示区域中城市研究末期的城市绿色创新值， Y_0 表示区域中城市研究末初期的城市绿色创新值； Y_{it} 、 Y_{oi} 分别表示第*i*个城市的末期城市绿色创新值和研究初期的城市绿色创新值。

Hurst 指数又称 R/S 法，可以用来测度时间序列趋势发展的连续性以及强度大小^[33]，该指数较多的被用于自地理和生态等领域且在经济学中也较为常见，其基本原理和公式如下：

时间序列 $E(1), E(2), \dots, E(t)$ ，对于任意 $T \in \{1, 2, \dots\}$ 定义均值序列：

$$E_T = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T E(t) \quad (7)$$

累积离差：

$$X(t, T) = \sum_{u=1}^t [E(u) - E_T], \quad (8)$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

极差：

$$R(T) = \max_{1 \leq t \leq T} X(t, T) - \min_{1 \leq t \leq T} X(t, T) \quad (9)$$

标准差：

$$S(T) = \left\{ \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T [E(t) - E_T]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

式中： E 表示长三角地区城市绿色创新效率值，若 $R/S \propto T^H$ ，其中 R/S 为 $R(T)/S(T)$ ，则说明存在 Hurst 现象，则 H 为 Hurst 指数，该指数可由 R/S 由最小二乘法拟合出直线得到相应斜率。其中 $0 < H < 0.5$ ，城市绿色创新效率则具有反持续性发展趋势，若 $H = 0.5$ ，则表示城市绿色创新效率为随机序列，若 $0.5 < H < 1$ ，则表示城市绿色创新效率具有持续性发展趋势。

(4) Tobit 回归模型

由于城市绿色创新效率的截断性，即城市绿色创新效率处于 0~1 之间，引入面板 Tobit 计量模型用于本研究较为合适，参考已有文献的研究成果和文章前部的机制分析，采用系统观选取自然、经济和政策 3 个方面进行影响因素的实证研究(表 3)，计算公式为：

$$GIE_i^* = \beta_0 + \beta_1 ndvi_i + \beta_2 temp_i + \beta_3 PM_{2.5i} + \beta_4 \ln rgdp_i + \beta_5 \ln is_i + \beta_6 \ln fdi_i + \beta_7 er_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (11)$$

$$GIE_i = \begin{cases} GIE_i^*, & 0 < GIE_i^* \leq 1 \\ 0, & GIE_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (12)$$

式中：GIE_i表示各市城市绿色创新发展效率，ε_i表示随机误差项。由于在实际研究中不能观测到 GIE_i^{*}，故在可观测范围内有 GIE_i=GIE_i^{*}，且模型对 β 采用极大似然估计法来估计系数。且在数据处理阶段，对各要素的多重共线性与描述统计进行相关检验，确保各要素之间不存在多重共线性现象。考虑面板性数据可获取性，选取城市年平均温度(temp)、大气质量(eq)以及植被覆盖率(ndvi)3 个指标来表征自然要素。经济方面，选取人均 GDP 值(rgdp)来衡量城市整体经济实力，选取当年实际利用外资总额(fdi)作为指标衡量城市开放程度，同时本研究也选取第二产业产值与城市 GDP 的比值(is)作为衡量城市产业结构的指标，并对人均 GDP 以及实际利用外资进行平减处理。在政策方面，在查阅前人关于城市尺度的环境规制(er)的相关指标，从成本角度出发，选取劳动人力、物力以及资本力投入 3 个方面出发，选取相应指标并通过熵权法进行赋值，综合计算得出城市环境规制指数。共选取 7 个指标构成长三角地区城市绿色创新效率的影响因素指标体系。

表 2 影响因子指标表

因素类别	影响因素	代码	具体含义
自然要素	气温	temp	城市年平均温度
	PM _{2.5}	eq	城市年平均 PM _{2.5} 值
	植被覆盖率	ndvi	城市建成区绿化率
经济要素	城市经济实力	rgdp	城市人均 GDP
	产业结构	is	第二产业产值与城市 GDP 的比值
	开放程度	fdi	实际利用外资总额
政策要素	环境规制	er	熵权法 ^[34] 计算出的综合指数

2 长三角城市绿色创新效率的时空变化

2.1 城市绿色创新效率的时序特征

基于 SBM 模型对长三角地区 41 各地级以上城市 2006~2017 年的绿色创新效率 (Green Innovation Efficiency, GIE) 进行测度, 城市绿色创新效率与区域差异指数 (泰尔指数) 如图 2 所示。结果发现, 2006~2017 年该区域整体呈现波动上升的基本态势, 区域差异波动轨迹则与其相反; 从三省平均城市绿色创新效率值来看, 三省一市城市绿色创新水平存在显著差异, 大体上呈现“上海市—浙江省—江苏省—安徽省”递减格局。

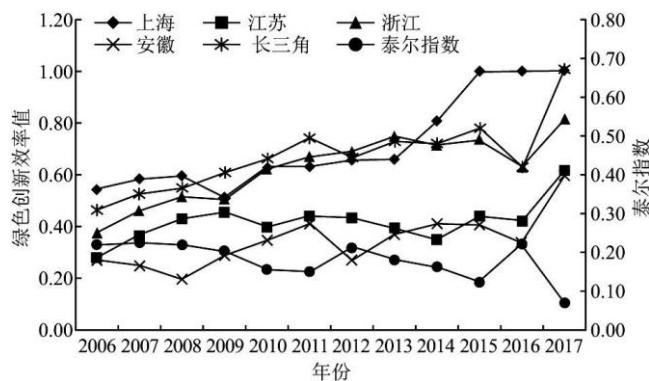


图 2 长三角地区城市绿色创新效率平均值和区域泰尔指数

长三角地区城市绿色创新效率在 2012 和 2014 年出现波动小幅下降, 但在 2016 年, 出现了较为明显的异动点, 该年受供给侧改革实行的影响^[36], 长三角地区在本年度加速了产业结构性改革, 且该区域处于实验阶段。至 2017 年改革成效渐显, 区域整体绿色创新效率显著增长。从不同区域的发展阶段来看, 三省城市绿色创新水平变化阶段略有差异。浙江省除 2016 年呈现与长三角地区相同的大幅回落现象, 其余年份大体上保持着稳步上升的态势, 这与该区域经济实力雄厚, 科技水平较高以及区域内 11 市发展阶段较为协调等要素均相关。江苏省在 2006~2009 年, 维持着稳步增长的态势, 但从 2010~2014 年则呈现明显的下降及收敛态势。安徽省则由于该省内各市发展水平差异较大, 整体趋势呈现出一波三折的特点。在 2015~2017 年, 三省发展态势保持一致, 由此可看出, 在绿色创新发展至较高水平时, 三省的发展协同度也有了显著提升。

2.2 长三角城市绿色创新效率空间分异特征

2.2.1 总体分布特征

采用已有研究中的划分标准, 以 0.25、0.50 和 0.75 作为临界值, 利用 ArcGIS10.2 软件将 2006~2017 年期间城市绿色创新效率值进行空间可视化绘图, 并选取 2006、2012 以及 2017 年 3 个节点进行展示, 反映长三角地区 41 市的绿色创新效率的空间分异特征 (图 3)。长三角地区绿色创新效率呈现出区域化集聚, 同时部分核心城市周围呈现效率凹地的特征, 三省之间以及区域间南北差异较大。

2006 年黄山、温州、亳州、宿州、徐州以及上海处于绿色创新较高水平。在产业绿色化转型初期, 城市绿色创新效率受城市自身资源禀赋影响较多, 故自然条件较为优越、工业企业数量较少的区域, 绿色创新效率水平较高, 上海市则因为该地区科技水平及工业水平较为领先, 在 2006 年城市绿色创新效率已达到较高等级。2012 年, 绿色创新较高水平城市主要分布于苏南以及浙江等区域。伴随着区域工业技术的提升, 安徽逐步承接产业转移^[36], 决定区域的绿色创新效率的决定性因素已从城市资源禀赋转为区域技术水平、产业结构等要素, 苏南地区、浙江地区以及上海绿色创新效率增长较快, 安徽各市绿色创新效率较低。而安徽省皖江经济带各市由于承接江浙地区产业转移^[36], 一方面工业技术水平得到显著提高, 另一方面工业生产带来的污染及非期望产出增加较多, 在二者的共同影响下, 安徽各市总体呈现缓慢增长态势, 其中皖江经济带城市总体绿色创新水平高于安徽省中其他各市。

2017 年，区域各市绿色创新水平显著提高，形成以合肥、南京、上海以及杭州为核心的高水平集聚带。在这一时期，几大核心城市重点发展信息产业如合肥的科大讯飞语音智能产业以及杭州的阿里巴巴等互联网产业，新型产业推动传统制造业转型，因此相关区域内绿色创新水平显著提升。

2.2.2 三省区域差异特征

为考察长三角地区内省际差异，将江苏省、浙江省与安徽省三部分，基于泰尔指数对组内差异和组间差异进行分解，分别计算各部分组内以及组间贡献率，结果如表 3 所示，而三省的组内泰尔指数与长三角地区整体泰尔指数变化如图 4 所示。长三角地区区域差异逐渐缩小，三省组内泰尔指数均呈现波动下降趋势，长三角呈现绿色创新协同的趋势，且各省内部差异大于三省之间差异。由已有研究可知，自 2006 年，长三角地区高端服务业与先进制造业的协同发展即产业结构的合理化推动了地区协同化发展^[37]，此外知识型人力资本、资本开放水平、技术市场发展也对长三角地区区域创新技术协同发展具有显著影响^[38]，与此同时，众多研究表明受相应政策颁布的影响，区域合作以及基础设施的互联互通具有显著提升，这也对长三角地区绿色创新的协同发展产生显著影响。

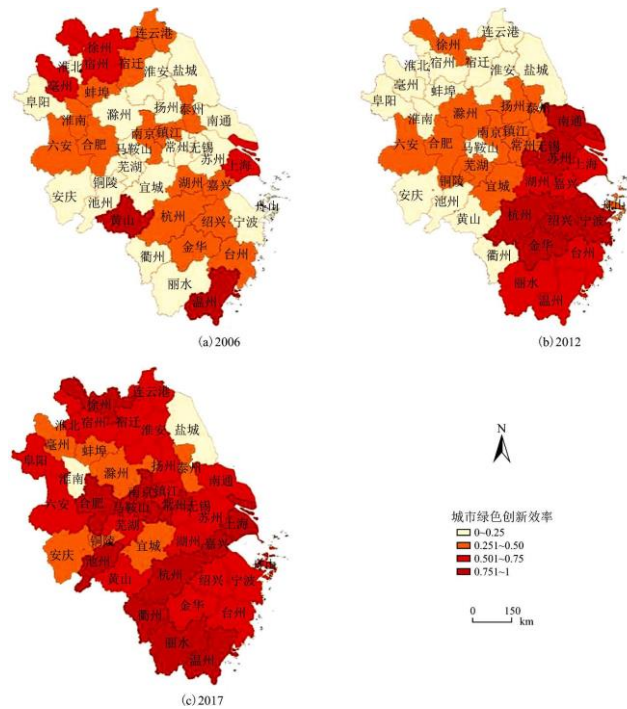


图 3 2006、2012 和 2017 年长三角地区城市绿色创新效率空间格局变化图

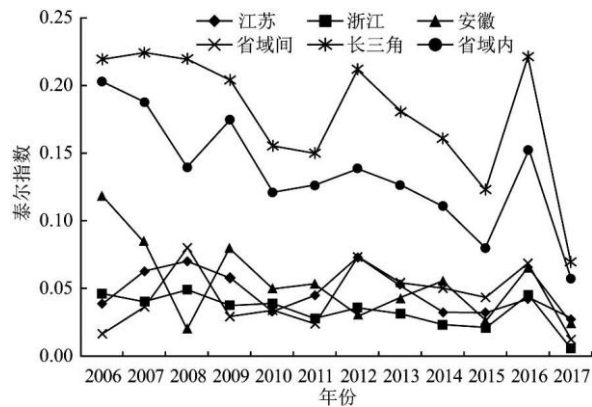


图 4 2006~2017 年长三角地区城市绿色创新效率泰尔指数分布图

由组内泰尔指数来看,安徽省以及江苏省组内泰尔指数值较高,即以上两区域内各市的绿色创新效率差异较大,发展情况较不协调,浙江省的组内泰尔指数较小,代表浙江省内各市协调度较高。通过泰尔指数的分解,表明省域内差异的演变除 2008 年,其余年份与长三角总体差异演变保持高度一致,且呈现出省域间差异小于省域内差异的特点。在 2006~2017 年期间,上海市以及江苏、浙江、安徽各市绿色创新效率均保持大幅度上涨。其中上海市绿色创新效率在 2011~2013 年 3 年保持稳定和低水平增长,其中在 2009 受 2008 年金融危机的影响,制造业受到较大冲击,故出现小幅度下滑。上海政府努力落实“十二五”规划中的改革创新的要求,受一系列政策实施影响,该市在 2013~2014 年进入高速度增长期,并于 2015 年进入绿色创新效率高水平时期。基于全国地级市的实证研究表明,城市绿色创新呈现出围绕城市群的多核心集聚特征^[38],这也为长三角区域在高质量一体化背景下,绿色创新协同化发展提供支撑^[17]。

表 3 2006~2017 年泰尔指数贡献率分解结果(%)

年份	区域内				区域间	总体
	江苏	浙江	安徽	区域内总和		
2006	18	21	54	93	7	100
2007	28	18	38	84	16	100
2008	32	22	9	64	36	100
2009	28	18	39	86	14	100
2010	21	25	32	78	22	100
2011	30	18	36	84	16	100
2012	34	17	14	66	34	100
2013	29	17	23	70	30	100
2014	20	14	34	69	31	100
2015	26	17	22	65	35	100
2016	19	20	30	69	31	100
2017	40	8	35	83	17	100

2.3 长三角城市绿色创新效率发展趋势分析

基于对区域创新发展趋势的科学预测,本文利用 NICH 指数和 Hurst 指数测算并对指数进行叠加分析,结合前文的分析结果,得出地区绿色创新效率发展趋势图,并对长三角地区城市绿色创新效率进行预判和相关讨论。由公式(6)计算可得,各市绿色创新效率 2006~2017 年的 NICH 指数,由此指数可将指数大于 1 即增长率大于地区平均水平的城市归入大幅上升区,将 NICH 指数在 0~1 之间的城市归入较高上升区, NICH 指数为 0 的归入稳定发展区,同理将效率下降率低于地区平均水平即 NICH 指数在-1~0 的城市纳入较低下降区域,将 NICH 指数小于-1 的城市归入大幅下降区,如图 5a 所示。同时,根据公式(7~10)测算出地

域城市绿色创新效率的 Hurst 指数，并基于计算结果将地区城市按等间隔，分为四类，其中 Hurst 值在 0~0.5 的城市为反持续发展趋势，在 0.51~1 之间的城市为持续发展趋势，结果如图 5b 所示。将地区 41 市的 NICH 指数与 Hurst 指数叠加，得到地区城市发展趋势图，如图 5c 所示。

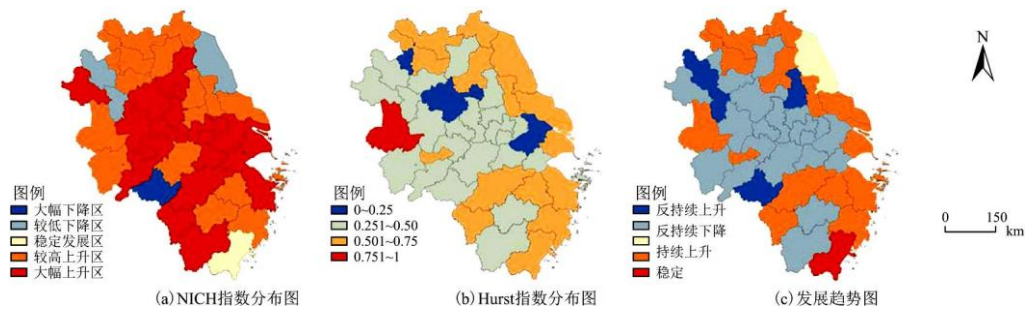


图 5 长三角地区绿色创新效率的变化趋势 (a)、Hurst 指数 (b) 及未来发展趋势 (c)

目前三省城市绿色创新效率均呈上升趋势，安徽省绿色创新效率有回落风险。就具体数值来看，浙江省的 NICH 指数最高达到 1.199 高于安徽省 0.887 和江苏省 0.914，该省的创新效率涨幅最为迅猛，也由此可知安徽省和江苏省的平均增速均低于地区平均水平。由三省的 Hurst 值来看，江苏省和浙江省的 Hurst 值均高于 0.5，代表着两省有着连续发展的趋势，全省绿色创新平均水平将持续上升，而安徽省的 Hurst 值仅为 0.33，该省呈现弱反连续发展趋势，故安徽省绿色创新效率有回落的风险。与此同时，东部沿海各市呈现出持续发展趋势，持续发展分布且呈现带状和环状分布的特征。长三角地区东部城市中，仅盐城市呈可持续下降趋势，温州市保持高水平稳定态势，东部沿海各市均呈现持续上升态势，而中部安徽省 16 市中除六安、铜陵呈现持续上升态势，亳州淮南呈反持续上升态势，其余各市均呈现反持续下降趋势。由长三角绿色创新效率的发展趋势来看，长三角地区东部沿海城市与内陆城市的差距有增加的态势，东部城市将要成为新一轮的绿色创新效率的增长极，这也预示着未来地区间内部差异将有重新扩大的风险。

3 长三角地区城市绿色创新效率的影响因素

考虑到环境规制等要素与城市绿色创新效率之间的影响机制较为复杂，且已有研究证明环境规划制和城市绿色创新效率之间关系受城市发展阶段影响，模型 (1)、模型 (2)、模型 (3) 根据 GIE 的时间趋势变化，分为 2006~2017 全阶段，2006~2011 稳定缓慢增长阶段和 2012~2017 波动阶段，并分别对不同阶段的各要素进行回归分析并对比。

自然要素方面，绿化率、温度以及 PM_{2.5} 通过影响城市自然资源禀赋，从而对城市绿色创新效率产生影响 (表 4)。实证结果显示，全阶段中，自然要素中温度对城市绿色创新效率产生正向促进作用，而 PM_{2.5} 值则对城市绿色创新效率产生相应抑制作用，但植被覆盖率不显著，这意味着较好的自然本底条件会正向促进 GIE 的提高，即证明了自然本底条件的物质基础作用。以时间维度上的不同阶段来看，2006~2011 期间，GIE 水平较高时，自然要素对 GIE 的解释度较低。

表 4 长三角地区城市绿色创新效率影响因素回归结果

	变量	(1) 2006~2017	(2) 2006~2011	(3) 2012~2017
自然要素	ndvi	-0.0092	0.0005	-0.0033
	temp	0.0365**	-0.0044	0.1119***

	eq	-0.3117***	-0.3718***	0.0007
经济要素	lnrGDP	0.0185***	0.0000	0.0183**
	lnis	-0.2423***	-0.1608	-0.3298***
	lnfdi	0.0438***	0.0331***	0.0261**
政策要素	et	0.0156*	-0.0129	0.0197**
	常数项	0.4088	1.5518***	-0.3229
相关检验	样本数	492	246	246
	卡方统计量	109.00	23.48	102.46
	R ²	0.8918	0.8720	1.3551

注：*p<0.10, **p<0.05, ***p<0.01.

经济要素方面，由于创新活动以及生态保护均需较大的资金支持，对经济本底基础的要求较高，且在绿色创新发展不同阶段，各要素影响机制不尽相同。实证结果中，经济方面因素较自然要素，对 GIE 的解释度更高，其中人均 GDP 回归系数为 0.0185，且通过了 99%显著性水平检验，在两阶段中，在 GIE 低水平时期，人均 GDP 对 GIE 影响不显著，伴随着 GIE 的增长，地区经济水平对 GIE 影响程度显著提高。产业结构与 GIE 在研究全期限内呈负相关，即产业结构每变动 1%，GIE 则负向变动 0.24%，且在 GIE 低水平阶段，产业结构要素不显著，由此可见在 GIE 发展到高水平阶段，产业结构的升级和区域内进行合理产业转移对于 GIE 的提升具有正向作用。原因是，第二产业相较于第三产业对城市绿色发展负向作用较大，而第二产业在创新的产出较为有限。同时实际利用外资因素回归结果始终正向显著，且后一阶段较前一阶段，回归系数显著回落，表明区域内经济发展的外向依赖性减弱，该区域正逐渐跨越“污染避难所效应”阶段。

政策要素方面，环境规制一方面会促使城市企业个体进行创新活动实现节能减排，另一方面过度的环境规制也会限制城市创新活动。从实证结果来看，在全研究时限中，环境规制要素与 GIE 呈显著正相关关系。研究表明，环境规制对 GIE 的影响也是具有一定的阶段性^[40]，在区域绿色创新水平较低时，环境规制对于绿色创新的影响不显著，且由于初期较为严苛的环境规制政策对于企业生产具有负向作用，环境规制的回归系数也为负，当绿色创新水平上升到较高水平时，环境规制将促进企业进行创新，故对 GIE 有正向推动作用，这一结果与已有研究一致。

4 结论与展望

本文运用 SBM 方法对城市绿色创新效率进行测度，同时利用泰尔指数和 Hurst 指数对长三角地区城市绿色创新效率的静态分布格局进行刻画，并从“自然-经济-政策”3 个维度探讨了其影响因素。主要结论如下：

(1) 区域整体呈现波动上升的基本态势，区域差异波动轨迹则与其呈现相反态势，长三角地区呈现绿色创新协同发展趋势。安徽省由以低效率区为主转换为多种类型区域共存的态势，浙江省较低效率区域均向高效率区域转移，江苏省则由以低效率区域为主转变为以较高效率为主，上海市则由较低效率区转移至高效率区并保持长时间高水平稳定。长三角地区城市绿色创新泰尔指数由 0.22 下降至 0.07，长三角绿色创新协同度显著增加。

(2) 长三角三省城市绿色创新水平存在显著差异，大体上呈现“上海>浙江>江苏>安徽”格局，且呈现出各省组间差异大于

省内差异的特点。同时,长三角地区绿色创新效率呈现出区域化集聚,同时部分核心城市周围呈现效率凹地的特征,高效率分布区由自然禀赋优越区域向技术水平、产业结构高水平区域转移。长三角地区区间区域差异逐渐缩小,三省组内泰尔指数均呈现波动下降趋势,且三省组内差异大于组间差异,由此可见长三角地区的区域不平衡性主要体现在各省内部。

(3)长三角中部区域各市,绿色创新效率有反持续下降风险,其中安徽省下降风险较大。持续增长区域主要分布于东部沿海区域以及江苏省外圈各市,呈现带状和环状分布特征。江苏省和浙江省的Hurst值均高于0.5,代表着两省有着连续发展的趋势,全省绿色创新平均水平将持续上升,而安徽省的Hurst值仅为0.33,该省呈现弱反连续发展趋势,东部城市中,仅盐城市呈可持续下降趋势,温州市保持高水平稳定态势,长三角地区东部沿海各市均呈现持续上升态势。

(4)各影响因素对城市绿色创新效率解释度均具有时段差异性,经济要素较自然要素,对GIE的解释度更高,政策要素与城市绿色创新效率正相关。自然要素方面,不同时段,自然要素对GIE的解释度均较低。经济要素中经济发展与城市绿色创新发展之间关系存在阶段性。产业结构与GIE在研究期限内呈负相关,实际利用外资与GIE呈现正相关,但伴随着GIE增加,其解释度逐渐降低,代表区域内经济发展的外向依赖性逐渐减弱。环境规制对GIE的影响具有一定的阶段性,在区域绿色创新水平较低时,环境规制对于绿色创新的影响不显著,当绿色创新水平上升到较高水平时,该因素则对GIE具有正向推动作用。

本文的不足主要体现在以下方面:本研究对于绿色创新效率的影响因素研究是从自然、经济与政策3个方面展开,但城市绿色创新乃至长三角一体化是个复杂的系统问题,故量化指标以及影响机理和因素等分析均应从更加系统完善的角度出发,进行进一步研究。在未来的进一步研究中,可从本文的研究结论出发,探究更小尺度的研究对象绿色创新问题,如以产业园区以及产业集群为研究对象,从而实现更为细致化的区域绿色创新格局刻画。

参考文献:

- [1]曾刚,曹贤忠,王丰龙,等.长三角地区一体化发展推进策略研究——基于创新驱动与绿色发展的视角[J].安徽大学学报(哲学社会科学版),2019,43(1):148-156.
- [2]FUSSLER C, JAMES P. Driving co-innovation: A break through discipline for innovation and sustainability[M]. London: Pitman Publishing, 1996.
- [3]BEISE M, RENNINGS K. Lead markets and regulation: A framework for analyzing the international diffusion of environmental innovations[J]. Ecological Economics, 2005, 52(1): 5-17.
- [4]滕堂伟,瞿丛艺,胡森林,等.长三角城市群绿色创新效率格局分异及空间关联特征[J].华东师范大学学报(哲学社会科学版),2019,51(5):107-117,239-240.
- [5]卢丽文,宋德勇,李小帆.长江经济带城市发展绿色效率研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(6):35-42.
- [6]陈锐,李如刚.可持续创新的城市运行与发展模式——以北京构建首善之区的理念、格局与路径为例[J].中国科学院院刊,2009,24(6):623-630.
- [7]程华,廖中举,戴娟兰.中国区域环境创新能力与经济协调性研究[J].经济地理,2011,31(6):985-991.
- [8]李金滢,李泽宇,李超.城市绿色创新效率实证研究——来自长江中游城市群的证据[J].江西财经大学学报,2016(6):3-16.

-
- [9]MIRATA M,EMTAIRAH T.Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation:The case of the land skrona industrial symbiosis programme[J].Journal of Cleaner Production,2005,13(10):993-1002.
- [10]KEEBLE J,LYON D,VASSALLO D,et al,Innovation high ground:How leading companies are using sustainability driven innovation to win tomorrow' s customers[J].Boston:Arthur D.Little.,2005,32(1):21-28.
- [11]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[J].地理科学,2018,38(9):1475-1482.
- [12]陈华斌.试论绿色创新及其激励机制[J].软科学,1999(3):43-44.
- [13]黄磊,吴传清.长江经济带工业绿色创新发展效率及其协同效应[J].重庆大学学报(社科版),2019,25(3):1-13.
- [14]WANG D,LI S,SUEYOSHI T.Environmental assessment on U.S.industrial sectors:Investment for improvement in operational and environmental performance to attain corporate sustainability[J].Energy Economics,2014(45):254-267.
- [15]周力.中国绿色创新的空间计量经济分析[J].资源科学,2010,32(5):932-939.
- [16]SUN H P,BLESS K E,SUN C W,et al.Institutional quality,green innovation and energy efficiency[J].Energy Policy,2019,35:1-14.
- [17]滕堂伟,林惠灵,胡森林.长三角更高质量一体化发展:成效进展、空间分异与空间关联[J].安徽大学学报(哲学社会科学版),2020,44(5):134-145.
- [18]吴传清,黄磊.长江经济带工业绿色发展效率及其影响因素研究[J].江西师范大学学报(哲学社会科学版),2018,51(3):91-99.
- [19]贾军,魏洁云,王悦.环境规制对中国 OFDI 的绿色技术创新影响差异分析——基于异质性东道国视角[J].研究与发展管理,2017,29(6):81-90.
- [20]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.
- [21]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.
- [22]PORTER M,LINDE C.Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J].Journal of Economic Perspectives,1995,9(4):97-118.
- [23]陈华斌.试论绿色创新及其激励机制[J].软科学,1999(3):43-44.
- [24]KLAUS R.Redefining innovation:Eco-innovation research and the contribution from ecological economics[J].Ecological Economics,2000,32(2):319-332.

-
- [25]LI H,ZHANG J,OSEI E.Sustainable development of China' s industrial economy:An empirical study of the period[J]. Sustainability,2018,10(3),764.
- [26]KNELLER R,MANDERSON E.Environmental regulations and innovation activity in UK manufacturing industries[J]. Resource and Energy Economics,2012,34(2),211-235.
- [27]SONG M,TAO J,WANG S.FDI technology spill over and green innovation in China:Analysis based on data envelopment analysis[J].Annals of Operations Research,2015,228(1),47-64.
- [28]MANAGI S,KANEKO S.Economic growth and the environment in China:An empirical analysis of productivity[J]. International Journal of Global Environmental Issues,2006,6(1),89-133.
- [29]TONE K.A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.
- [30]张国俊,黄婉玲,周春山,等.城市群视角下中国人口分布演变特征[J].地理学报,2018,73(8):1513-1525.
- [31]兰海霞,赵雪雁.中国区域创新效率的时空演变及创新环境影响因素[J].经济地理,2020,40(2):97-107.
- [32]胡雪瑶,张子龙,陈兴鹏,等.县域经济发展时空差异和影响因素的地理探测——以甘肃省为例[J].地理研究,2019,38(4):772-783.
- [33]秦耀辰,刘凯.分形理论在地理学中的应用研究进展[J].地理科学进展,2003,22(4):426-436.
- [34]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.
- [35]滕堂伟,胡森林,侯路瑶.长江经济带产业转移态势与承接的空间格局[J].经济地理,2016,36(5):92-99.
- [36]胡森林,滕堂伟.江淮城市群产业结构特征及其优化路径研究[J].华东经济管理,2016,30(6):25-31,143.
- [37]曹东坡,于诚,徐保昌.高端服务业与先进制造业的协同机制与实证分析——基于长三角地区的研究[J].经济与管理研究,2014(3):76-86.
- [38]崔志新,陈耀.区域技术创新协同的影响因素研究——基于京津冀和长三角区域面板数据的实证分析[J].经济与管理,2019,33(3):1-8.
- [39]彭文斌,文泽宙,邝嫦娥.中国城市绿色创新空间格局及其影响因素[J].广东财经大学学报,2019,34(1):25-37.
- [40]沈能,胡怡莎,彭慧.环境规制是否能激发绿色创新?——基于点-线-面三维框架的可视化分析[J].中国人口·资源与环境,2020,30(4):75-84.