

长三角城市群产业生态效率及其时空跃迁特征^{*1}

毕斗斗¹, 王凯¹, 王龙杰², 方远平³

(1. 华南理工大学经济与贸易学院, 中国广东广州 510006;

2. 中山大学旅游学院, 中国广东广州 510275;

3. 华南师范大学旅游管理学院, 中国广东广州 510631)

【摘要】: 伴随区域一体化进程的加快, 区域内产业生态效率问题日益受到关注。文章采用数据包络分析和探索性时空数据分析法, 以长三角城市群 26 个城市为研究对象, 测度了城市群内产业生态效率及其时空跃迁特征。结果表明: ①2000—2014 年长三角城市群大部分城市产业生态效率呈现逐步上升趋势, 其中苏州、上海表现最好也最为稳定。②长三角城市群产业生态效率具有明显的空间集聚特征, 核心区域城市扩散效应不断增强, “东部独大”特征显著, 局部城市空间差异明显, 核心区域差异逐渐减弱, 整体空间自组织效应增强。③各城市产业生态效率空间结构的跃迁正向整合程度明显, 部分城市之间存在着转移惰性, 滁州的空间依赖方向表现最为稳定, 镇江的波动性最大。

【关键词】: 区域一体化; 产业生态效率; 时空跃迁; 长三角城市群

【中图分类号】: K902 文献标志码: A **【文章编号】**: 1000 - 8462 (2018) 01 - 0166 - 08

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2018.01.021

长三角位于长江与太平洋的交汇处, 是我国两大经济带——沿海经济带与长江流域经济带的 T 型结合部, 区位优势十分明显, 被誉为“世界第六大城市群”。截至 2016 年末, 长三角仅以全国 2.2% 的土地、11.5% 的人口, 创造的 GDP 占全国的比重达 16.5%, 是我国经济发展最快、效率最高、体量最大的区域, 社会经济发展模式在全国层面具有典型性。但在长期经济快速发展的背后, 生产、制造等经济活动对大量能源需求与本身资源禀赋少、能源赋存缺乏的矛盾显现, 而能源资源的巨量使用又不可避免地破坏着生态环境。众多研究表明, 城市发展需要与生态环境相协调, 产业生态效率正是衡量城市社会经济发展与生态环境如何良好兼容的重要突破口。

1970 年代, 加拿大科学委员会首次提出了生态效率的概念。1990 年代, Schaltegger 和 Sturm 第一次定义生态效率为“经济活动增加值与生态环境作用的比值关系”^[1]。Meier 认为生态效率的核心涵义在于描述一个系统的期望产出与其缺点之间的相互作用关系^[2]。Brown 认为生态环境是经济发展的基础, 经济发展应处于从属和立足于生态原理, 并提出生态中心论的观点^[3]。

¹ 收稿时间: 2017 - 03 - 24; 修回时间: 2017 - 06 - 10

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (41471106、41671150)

作者简介: 毕斗斗 (1976—), 女, 湖北襄樊人, 博士, 副教授。主要研究方向为服务经济与政策。E-mail: ddbi@scut.edu.cn。

国内近年来通过引进西方先进的生态效率研究方法也取得了积极的成果。许涤新的《论生态平衡》是国内较早涉足生态效率的研究，标志着我国生态经济学的起始^[4]。邱寿丰等参考德国环境经济账户的研究成果，建立了适合我国国情的指标体系^[5]。王震等通过构建工业生态效率的指标体系，分析了影响北京市环境生态效率变化的主要因素^[6]。岳媛媛等利用国际企业的相关生态效率研究，提出适合我国企业生态效率的模型步骤^[7]。

西方关于生态效率的计算方法主要有经济/环境单一比值法、指标体系法、模型法。国内学者在借鉴上述研究成果的基础上进行了大量的行业及区域层面的研究，但是目前产业生态效率的实证研究大多只是以 DEA 方法为主，纯粹地对其进行定量计算，缺乏对于区域层面的时空地理特征的演变分析，而传统的数理统计方法忽略空间维度特征，或者淡化时间层面特征，更多地度量空间相关及交互影响机制的截面表征^[8]。长三角城市群是我国最大的区域整体之一，也是经济增速最快的城市群之一，经济的均衡发展对于带动中西部发展，利用长三角的辐射带动作用支持建设 21 世纪海上丝绸之路核心区具有重要意义^[9]。鉴此，本研究以长三角城市群 26 个城市为研究单元，以产业生态效率值测算—跃迁路径—空间演化为研究主线，引用 Rey 提出的 ESTDA 方法框架^[10]，采用 LISA 时间路径、LISA 时空交互探究长三角城市群 26 个城市 2000—2014 年产业生态效率的时空动态特征，以更好地解读区域社会经济发展的时空演化，并对现有区域产业生态效率研究进行尝试性的拓展。

1 研究设计

1.1 研究对象及数据来源

本文以长三角城市群 26 个城市产业生态效率为研究对象，指标数据皆来源于 2001—2015 年各城市官方统计年鉴、《中国城市统计年鉴》以及其他统计资料汇编。

1.2 指标体系构建

产业生态效率指标体系是以生态效率为基础，包含众多相互关联且独立的指标。国内外关于产业生态效率的评价角度一般从资源赋予、自然环境行为两大维度进行。其中资源角度分为：人力资源、土地、水、社会资本以及自然能源；自然环境角度包括：废气、废水、烟粉尘、固体废弃物。本文在借鉴德国经济环境账户指标体系及国内其他学者^[11-12]等构造测度长江中游城市群的产业生态效率指标的基础上，构建适用于长三角城市群的产业生态效率指标评价体系，见表 1。

表 1 长三角城市群生态效率指标体系

指标类型	一级指标	二级指中不	三级指标	测量单位
投入要素	资源型消耗 (R)	劳动力	就业人数	万人
		能源	能源消耗	万 t 标准煤
		水	用水总量	亿 m ³
		土地	建设用地	km ²
		总物质投入	固定资产投资	万元
期望产出	经济类效益 (G)	经济发展总量	GDP	亿元
非期望产出	环境类影响 (E)	废水	废水排放总量	万 t
		SO ₂	SO ₂ 排放量	t
		烟(粉)尘	烟(粉)尘排放量	t
		固体废弃物	固体废弃物	万 t

根据生产函数 $Y=F(K, L)$ ，本文投入指标具体为水资源使用量采用用水总量进行测算，反映地区内生产、生活的用水状况；劳动力总数采用就业人数，反映地区的可用劳动人口；能源消耗采用生产所消耗的各类能源，反映地区的能源消耗情况；土地使用面积采用建设用地面积，反映城市各类经济活动的用地规模；社会资本投资总额采用固定资产投资进行测量，能够反映地区的固定资产的产出效益。产出指标分为非期望产出：采用废水、废气、粉烟尘排放量、固体废弃物，能够测度地区经济活动对环境的影响程度；期望产出：经济产出采用 GDP 为衡量指标，反映地区一定时期内的经济总产出，如果投入越少，产出越多，则说明产业生产效率高。

1.3 研究方法

1.3.1 数据包络分析

数据包络分析法是由运筹学家 Charnes、Coope 和 Rhodes 在“相对效率评价”基础上改进的一种新的系统分析方法，该方法主要以多指标投入和多指标产出的权重系数为决策变量，应用数学规划模型，在最优化的意义上进行评价^[13]。目前该模型主要有 BBC 模型，存在 n 个决策单元 (DMU)，每个 DMU 都有 m 种投入和 p 种产出， x_{ij} 和 y_{ij} 分别表示第 j 个决策单元 DMU _{j} 的第 i 种

投入和第 r 种产出， λ_j 为 n 个 DMU 的投入产出指标权重， $\sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j$ 和 $\sum_{j=1}^n y_{ij}\lambda_j$ 为加权处理后的 DMU 的投入量和产出量，具体表现为：

$$\begin{cases} \min [\theta - \varepsilon (\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{i=1}^m s_i^+)] \\ \sum_{j=1}^n x_{ij}\lambda_j + s_i^- = \theta x_{ij}, \quad i \in (1, 2, \dots, m) \\ s.t. \sum_{j=1}^n y_{ij}\lambda_j - s_i^+ = y_{ij}, \quad r \in (1, 2, \dots, s) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \theta, \lambda_j, s_i^-, s_i^+ \geq 0; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式中： θ 为相对效率； s_i^- 和 s_i^+ 为松弛变量； ε 为非阿基米德无穷小，一般取 $\varepsilon=0.000001$ 。假设模型的最优解为 θ^* ， S^* ， S^* ，则有：

①若 $\theta^*=1$ ，则代表 DMU 至少为弱 DEA 有效。

②若 $\theta^*=1$ 且 $S^*=S^*=0$ ，则代表 DMU 为 DEA 有效。

③若 $\theta^*<1$ 或 $S^*\neq 0$ ， $S^*\neq 0$ ，则代表相应的 DMU 为非 DEA 有效。而且 θ^* 越大，则 DMU 的相对效率就越高。

④利用最优解 λ^* 分析 DMU 相对应规模收益状况，若 $\sum_j \lambda_j = 1$ ，则规模效益不变；若 $\sum_j \lambda_j < 1$ ，则规模效益递增；

$$\sum_j^n \lambda_j > 1$$

若 $\sum_j^n \lambda_j > 1$ ，则规模效益递减。

1.3.2 探索性时空数据分析 (ESTDA)

ESTDA 是在时空交互测量的基础上，通过描述现象的时空结构特征来分析研究单元的时空交互规律，将时间维度融入到探索性空间数据分析中，系统地研究时序行为在空间上的分布和空间模式在时间上的演化，较好地弥补了 ESDA 在时间维度的测量缺陷。目前 ESTDA 主要包括 LISA 时间路径、LISA 时空跃迁，并广泛应用于资源配置等领域，但是在产业生态效率的时空交互特征领域尚不多见。

1.3.2.1 LISA 时间路径。LISA 时间路径是通过融合时间要素将研究对象的空间移动坐标轨迹直观显示在 Moran's I 散点图上，也是 LISA 马尔科夫转移矩阵的一种连续表达^[14]。经过研究单元的属性值及其随时间产生的空间滞后的可视化处理，LISA 坐标的稳定性水平可以很好地在 Moran's I 散点图测度，从而解释各城市的产业生态效率在区域层面上的时空协同变化以及确定局部空间差异和产业生态效率的时空动态特征。LISA 时间路径主要包括 LISA 时间路径长度、弯曲度及交叉率^[15]。城市 m 在 Moran's I 散点图上的移动轨迹可以用向量 $(z_{m,1}, z_{lm,1}), (z_{m,2}, z_{lm,2}), \dots, (z_{m,T}, z_{lm,T})$ ^[16] 表达。

LISA 时间路径长度^[14]：

$$L_m = \frac{M \cdot \sum_{t=1}^{T-1} l(p_{m,t}, p_{m,t+1})}{\sum_{m=1}^{M-1} \sum_{t=1}^{T-1} l(p_{m,t}, p_{m,t+1})} \quad (2)$$

LISA 时间路径弯曲度^[14]：

$$\varphi_m = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} l(p_{m,t}, p_{m,t+1})}{l(p_{m,1}, p_{m,T})} \quad (3)$$

LISA 时间路径交叉率^[15]：

$$Q_m = \frac{2q_m}{M(M-1)} \quad (4)$$

式中：M=26；T 表示时间长度，是第 t 年城市 m 的 LISA 坐标； $l(p_{m,t}, p_{m,t+1})$ 表示的是城市 m 的产业生态效率在第 t 年到第 $t+1$ 年间的移动距离； L 值越大，局部城市 m 的空间布局动态表现越激烈； $L > 1$ 表示城市 m 的跃迁长度大于城市跃迁长度的均值； $l(p_{m,1}, p_{m,T})$ 表示的是城市 m 在第一年到 T 年的移动距离； φ 值越高，LISA 时间路径曲折程度越明显，局部城市 m 的空间结构波动程度越弯曲说明存在更加变动的局部空间依赖方向和波动的区域经济增长过程； Q_m 是各城市间实际存在的 LISA 时间路径的交叉数之和， Q_m 越大表明城市群产业生态效率演化中存在更多元的局部空间结构，即相邻城市产业生态效率差异的收敛情况更复杂^[17]。

1.3.2.2 LISA 时空跃迁。Ray 在原先的基础上将 Moran's I 散点图中各空间单元在特定时间间隔内的移动路径长度、方向、集散等属性嵌入传统马尔可夫链中,提出了局部马尔可夫转移(local Markov transition)和时空跃迁(space-time transition)。除了基本的 4 种空间转移形态 (XX, XY, YY, YX) 内的跃迁,还存在其他 12 种空间跃迁,分为 Type1、Type2、Type3、Type4 这四种类型^[10]。其中 Type1 表示城市 m 只在城市自身内发生跃迁,此跃迁类型包括 $XX_t \rightarrow YX_{t+1}$ 、 $YX_t \rightarrow XX_{t+1}$ 、 $XY_t \rightarrow YY_{t+1}$ 、 $YY_t \rightarrow XY_{t+1}$; Type2 表示城市 m 只在临近城市间发生跃迁,本身单元保持不变,包括 $XX_t \rightarrow XY_{t+1}$ 、 $YX_t \rightarrow YY_{t+1}$ 、 $XY_t \rightarrow XX_{t+1}$ 、 $YY_t \rightarrow YX_{t+1}$; Type3 表示城市 m 在自身及临近城市间发生跃迁,其中 $XX_t \rightarrow YY_{t+1}$ 、 $YY_t \rightarrow XX_{t+1}$ 表示发生跃迁的方向相同,跃迁方向相反的为 $YX_t \rightarrow XY_{t+1}$ 、 $XY_t \rightarrow YX_{t+1}$ 。Type4 代表城市 m 均未发生任何跃迁,城市单元均保持最初状态。Rey 将时空变迁 (flux) 与凝聚 (cohesion) 定义为研究时段内某类型的跃迁数量与跃迁总数 y 之比,本文中, $y = (2015-2000) \cdot M(26) = 390$ 。依据四种类型的跃迁划分,可以得出 Moran's I 的空间聚集度:

$$C_t = \frac{S_{0,t}}{y} \tag{5}$$

式中: C_t 为空间凝聚度; $S_{0,t}$ 为 t 年发生跃迁 0 类跃迁的数量; y 是发生跃迁的所有可能的数量。

2 长三角城市群产业生态效率实证分析

2.1 PCA-DEA 分析

根据长三角城市群 2000—2014 年统计数据,由于原始数据的计算结果区分度不高,遵循 PCA 主成分分析法的基本步骤,运

$$F_{ij} = \frac{f_{ij} - \min f_{ij}}{\max f_{ij} - \min f_{ij}}$$

用 SPSS 22.0 软件对指标数据进行处理,按照 进行无量纲化处理,所得结果处于 [0, 1] 之间, KMO 值大于 0.7,由此判定可以进行主成分处理。鉴于本文数据量较大,此处仅以 2011 年数据为例,表 2、表 3 为投入、产出数据检验。

表 2 2011 年原始投入数据的变异数统计

元件	起始特征值			撷取平方和载人			循环平方与载人		
	总计	变异 (%)	累加 (%)	总计	变异 (%)	累加 (%)	总计	变异 (%)	累加 (%)
1	3.533	70.663	70.663	3.533	70.633	70.633	3.357	67.135	67.135
2	1.015	20.306	90.969	1.015	20.306	90.969	1.192	23.834	90.969
3	0.189	3.782	94.751						
4	0.167	3.343	98.094						
5	0.095	1.906	100.000						

注: 撷取方法为主体元件分析,下同。

表 3 2011 年原始产出数据的变异数统计

元件	起始特征值			撷取平方和载入			循环平方与载入		
	总计	变异（%）	累加（%）	总计	变异（%）	累加（%）	总计	变异（%）	累加（%）
1	2.472	61.794	61.794	2.472	61.794	61.794	2.471	61.766	61.766
2	1.007	25.179	86.973	1.007	25.179	86.973	1.008	25.206	86.973
3	0.365	9.114	96.086						
4	0.157	3.914	100.000						

由于 DEA 分析对于投入、产出指标有数值非负的要求，需要在主成分得分基础上正向处理各分值，按照

$$F_{ij} = 0.1 + 0.9 \cdot \frac{f_{ij} - \min f_{ij}}{\max f_{ij} - \min f_{ij}}$$

正向化处理。将分析处理后的 26 个城市投入、产出数据作为 DEA 决策单元，运用 DEA-Sovler 5.0 处理得到表 4。

表 4 2000—2014 年长三角城市群产业生态效率

城市	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
舟山	1.000	1.000	1.000	0.740	0.687	0.225	0.242	0.207	0.287	0.285	0.289	0.339	0.328	0.277	0.442
贵池	0.052	0.032	0.055	0.061	0.049	0.028	0.025	0.034	0.028	0.043	0.042	0.074	0.121	0.116	0.153
铜陵	0.056	0.038	0.066	0.084	0.074	0.051	0.052	0.047	0.048	0.063	0.066	0.115	0.182	0.169	0.200
安庆	0.135	0.091	0.167	0.143	0.113	0.062	0.058	0.057	0.066	0.096	0.095	0.115	0.207	0.182	0.232
台州	0.755	0.464	0.625	0.852	0.699	0.249	0.266	0.216	0.305	0.495	1.000	0.282	0.497	0.442	0.584
金华	0.090	0.072	0.108	0.143	0.126	0.084	0.080	0.114	0.086	0.108	0.123	0.124	0.485	0.482	0.590
绍兴	0.860	0.475	0.637	0.589	0.487	0.265	0.265	0.281	0.254	0.269	0.286	0.306	0.538	0.507	0.622
宁波	0.688	0.537	0.583	0.644	0.566	0.334	0.337	0.236	0.348	0.314	0.389	0.334	0.551	0.480	0.569
杭州	0.725	1.000	0.604	0.622	0.496	0.307	0.328	0.216	0.300	0.278	0.305	0.299	0.641	0.569	0.645
宣州	0.132	0.082	0.162	0.147	0.107	0.051	0.047	0.056	0.052	0.060	0.056	0.092	0.157	0.155	0.203
湖州	0.320	0.205	0.270	0.286	0.229	0.123	0.125	0.121	0.131	0.148	0.172	0.177	0.350	0.354	0.412

嘉兴	0.620	0.355	0.609	0.415	0.317	0.190	0.218	0.160	0.190	0.198	0.235	0.242	0.434	0.403	0.479
上海	0.749	1.000	0.881	1.000	1.000	1.000	1.000	0.589	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
苏州	1.000	1.000	1.000	1.000	0.823	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.753	1.000
无锡	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.689	0.685	0.566	0.631	0.637	0.729	0.741	0.864	0.730	0.919
常州	0.541	0.382	0.568	0.636	0.450	0.337	0.358	0.400	0.349	0.378	0.430	0.518	0.693	0.599	0.722
马鞍山	0.073	0.055	0.095	0.122	0.115	0.080	0.075	0.085	0.078	0.071	0.073	0.124	0.208	0.177	0.195
南京	0.237	0.364	0.328	0.380	0.315	0.441	0.424	0.289	0.404	0.419	0.528	0.627	0.565	0.604	0.714
镇江	0.358	0.271	0.334	0.415	0.350	0.236	0.235	0.259	0.259	0.312	0.329	0.371	0.545	0.471	0.615
芜湖	0.132	0.095	0.165	0.185	0.148	0.094	0.088	0.092	0.100	0.112	0.108	0.156	0.289	0.281	0.353
合肥	0.172	0.150	0.217	0.267	0.214	0.170	0.185	0.153	1.000	1.000	0.336	0.238	0.398	0.371	0.431
滁州	0.199	0.114	0.218	0.206	0.163	0.058	0.060	0.063	0.059	0.066	0.062	0.094	0.169	0.167	0.215
泰州	0.405	0.271	0.477	0.519	0.421	0.286	0.281	0.277	0.266	0.242	0.313	0.410	0.558	0.472	0.641
南通	0.631	0.435	0.673	0.697	0.649	0.421	0.429	0.446	0.452	0.470	0.499	0.533	0.644	0.558	0.703
盐城	0.860	0.410	0.936	0.686	0.527	0.372	0.360	0.359	0.408	0.454	0.411	0.382	0.504	0.445	0.579
扬州	0.386	0.256	0.421	0.149	0.410	0.299	0.291	0.273	0.291	0.362	0.412	0.422	0.596	0.498	0.718

注：26 个决策单元的所有指标均未出现零值，即为有效，符合产业发展的客观经济规律，可以在经济意义上给出合理解释且给出精确的优劣比较信息。

上海、无锡等城市因其处于长三角城市群的核心区位，产业生态效率值一直处于前列位置，这与其作为整个城市群的经济发展的稳定器、创新产业集聚中心的地位密切相关。传统地方中心的南京、杭州则因为经济后发优势不明显，高新技术产业发展起步较晚导致效率处于第二层级。而边缘区的合肥、铜陵等地因其薄弱的经济基础及欠佳的地理区位使得产业生态效率值较为落后。

2.2 LISA 时空动态性特征分析

2.2.1 LISA 时间路径的几何特征

长三角城市群 26 个城市的 2000—2014 年间产业生态效率的 LISA 时间路径的相对长度和弯曲度以及交叉率结果见表 5、表 6。

表 5 各城市的 LISA 时间路径相对长度与弯曲度

城市	L^a	$\varnothing_m$	城市	L_m	$\varnothing_m$
上海	0.045	3.201	南通	0.031	4.839
合肥	0.068	17.395	盐城	0.060	17.236
滁州	0.013	1.163	扬州	0.046	8.793
马鞍山	0.025	2.215	镇江	0.082	24.974
芜湖	0.014	2.208	泰州	0.031	8.564
宣城	0.016	1.540	杭州	0.057	19.772
铜陵	0.023	2.087	宁波	0.021	8.052
池州	0.038	3.066	嘉兴	0.028	9.993
安庆	0.090	8.980	湖州	0.015	3.275
南京	0.039	7.216	绍兴	0.036	11.802
无锡	0.024	2.122	舟山	0.029	8.104
常州	0.030	4.978	金华	0.023	4.012
苏州	0.040	2.881	台州	0.064	24.871

表 6 各城市的 LISA 时间路径交叉率

年度	交叉率 (Q_m)	年度	交叉率 (Q_m)
2000—2001	0.004	2007?008	0.006
2001—002	0.003	2008?009	0.004
2002—003	0	2009?010	0.010
2003—004	0	2010?011	0.007
2004—005	0.009	2011?012	0.003
2005—006	0.001	2012?013	0.001
2006—007	0.003	2013?014	0.003

整体上 LISA 时间路径移动相对长度大于 0.05 的城市有 6 个, 仅占总数的 23.1%, 表明长三角产业生态效率的空间格局较为稳定。相对长度呈西部及东北内陆向中东沿海递减的趋势, 内陆地区具有更加动态的空间结构, 沿海及中心区域具有较为稳定的局部空间结构(图 1)。内陆的安庆、镇江是相对长度最大的 2 个城市; 滁州、芜湖则是相对长度最短的 2 个城市。弯曲度呈外围向中心递减的趋势, 且数值均大于 1, 表明长三角产业生态效率具有较强的空间依赖性。弯曲度较大的城市多为产业结构单一城市, 例如安庆、合肥、台州等, 这些城市在空间依赖上具有最大的波动性, 反映出与其邻域间具有非动态的变迁过程。2000 年前丰富的矿产能源为其经济发展提供充足的动力, 但长期的产业结构中第一、第二产业比重居高不下, 导致经济发展乏力。弯曲度较小的城市成片分布于西部山区和东北部以及皖南贫困区域, 经济增速缓慢且局部结构稳定, 而无锡、苏州等弯曲度较小主要与其周边同是经济发达城市有关。

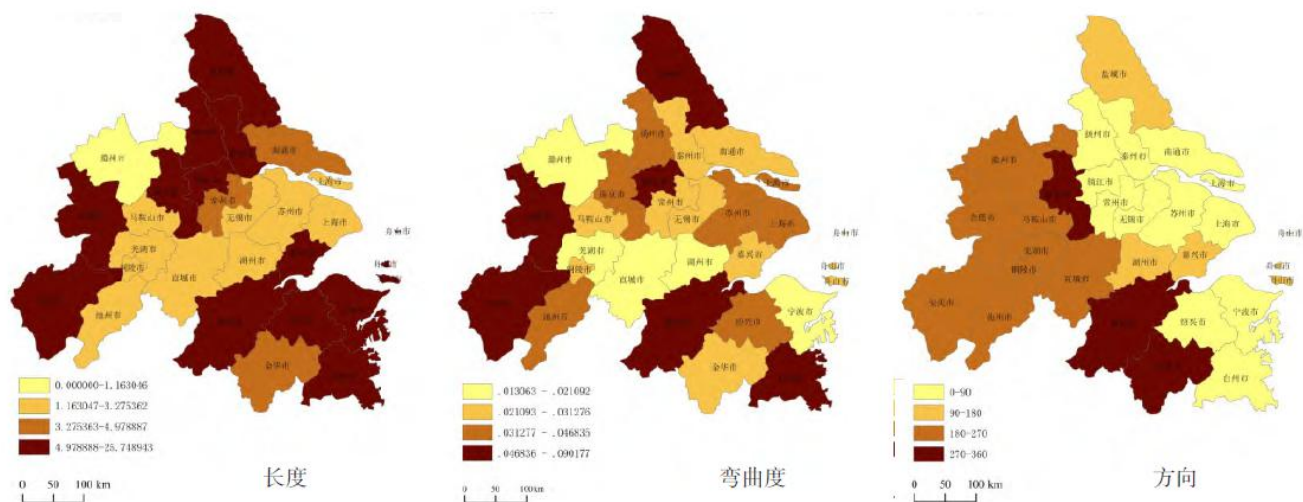
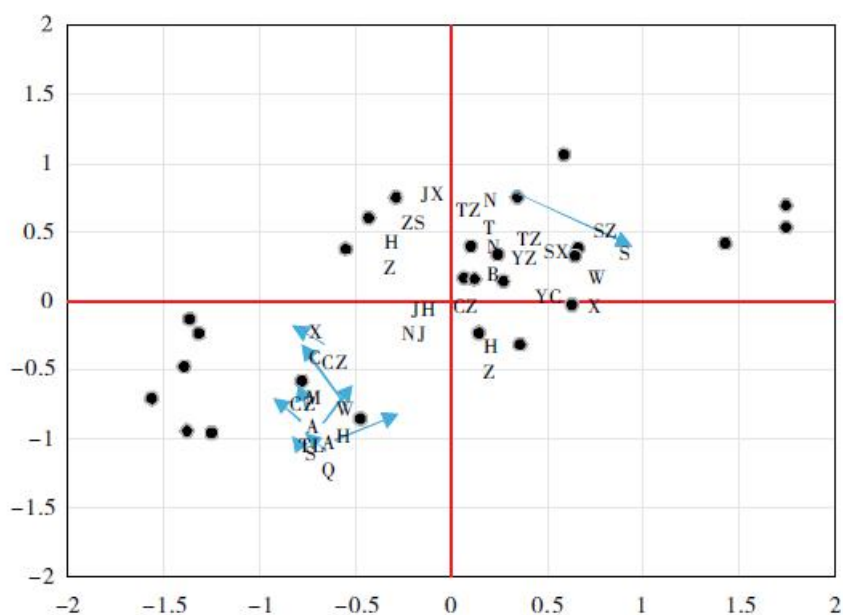


图1 LISA 时间路径空间特征分布
Fig.1 The spatial feature distribution of LISA time path

2.2.2 LISA 时间路径移动方向分析

根据长三角城市群 26 个城市在 Moran' s I 散点图中的坐标跃迁轨迹分析比较, 运用 GeoDa 软件描绘分析各城市单元位置坐标的跃迁方向。图 2 箭头方向代表城市的跃迁方向, 长短表示跃迁距离。第一象限表示城市 m 与其临近城市发生跃迁方向为正向协同增长, 第三象限表示城市 m 与其相邻城市发生跃迁方向为负向协同增长^[18]。第二象限和第四象限表示城市 m 与其临近城市发生跃迁方向为反向增长。整体来看, 协同增长的城市共有 20 个, 占城市群的 77%, 表明长三角城市群产业生态效率空间格局的演化具有较强的空间整合性。从图 1、图 2 来看, 上海、苏州、无锡等经济发达城市单元发生跃迁方向主要为正向协同, 而合肥、安庆、池州等城市单元发生跃迁方向呈现负向增长。



注:XX象限:SH(上海)、SZ(苏州)、WX(无锡)、SX(绍兴)、TZ(台州)、YC(盐城)、YZ(扬州)、NB(宁波)、NT(南通)、TZ(泰州)、CZ(常州)、ZJ(镇江);XY象限:JX(嘉兴)、ZS(舟山)、HZ(湖州);YY象限:HF(合肥)、WH(芜湖)、CZ(滁州)、XC(宣城)、MAS(马鞍山)、AQ(安庆)、CZ(池州)、TL(铜陵);YX象限:NJ(南京)、HZ(杭州)、JH(金华)。横线处为发生时空跃迁城市。

图2 LISA时间路径移动特征
Fig.2 LISA time path movement feature

2.2.3 LISA 时空跃迁分析

城市 m 的 LISA 时间路径的物理变迁方向刻画了各城市坐标在 Moran's I 散点图上的演变路径, Rey 进一步使用空间转移概率矩阵和时空跃迁来刻画不同单元种类间在 Local Moran's I 散点图上的演变过程。从 2000—2014 年的 Local Moran's I 转移概率(表 7)可知, 长三角城市群局部城市单元间空间结构较为稳定, 不同类型间较少发生跃迁, 城市类型间表现出一定的跃迁惰性。其中 $XY_t \rightarrow YY_{t+1}$ 、 $YY_t \rightarrow XY_{t+1}$ 的转移概率最大, 达到 0.03, 转移城市数达到了 11 个, 而其余的转移类型概率较低, 这也间接表明长三角城市群内部区域产业生态效率空间结构趋于稳定。由上可知, 2000—2014 年间长三角城市群各城市 LISA 未发生显著的时空跃迁, Moran's I 散点分布在相同象限内(类型 0 跃迁)为 82%, 也即 Moran's I 的空间凝聚力 $C_t=0.82$, 即表示长三角城市群 15 年间各城市产业生态效率未发生时空跃迁的概率为 82%, 表明长三角城市群产业生态效率的空间凝聚性显示出较高的路径锁定特性。

表 7 Local Moran's I 转移概率矩阵

	XX_{t+1}	XY_{t+1}	YX_{t+1}	YY_{t+1}
XX_t	type4 (0.280)	type2 (0.011)	type1 (0.016)	type3 (0.005)

XY,	type2 (0.011)	type4 (0.164)	type3 (0.003)	type1 (0.030)
YX,	type1 (0.008)	type3 (0.003)	type4 (0.052)	type2 (0.016)
YY,	type3 (0.008)	type1 (0.030)	type2 (0.016)	type4 (0.321)

1992年邓小平南巡讲话，揭开社会主义市场经济建设的新篇章。同年，国务院决定成立浦东新区，着力打造上海的“四个中心”建设，并努力朝着世界级城市迈进，作为一项国家战略，浦东新区对周围市域的制度创新的示范效应和市场机遇的外溢效应具有重要意义。沿海、沿江地区在国家多项优惠政策的支持下逐步形成全方位、多层次、宽领域的开放格局，以福建“晋江模式”为代表的江浙沪非公有制经济极大地释放了县域经济的活力。得益于优良的区位优势，沿海、沿江地区的差距呈扩大趋势。第一、三象限中，沿海与内陆的“核心—边缘”的二元空间结构显现，加剧区域差异。内陆的安庆、铜陵、合肥等部分传统工业与资源型城市在早期占据一定的发展优势，后期随着交通条件的改善、先进制造业在沿海地区集聚，苏州、上海等城市发展迅速反超。总之，该阶段中沿海地区整体呈现出协同高增长的内部空间格局，内陆地区则是协同与竞争并存。

2000年之后，在“浦东新区、杭州湾经济圈”的非均衡战略实施下，长三角空间格局发生变动，竞争增长态势越发明显，高协同增长的城市集中于长三角东部及中部地区，沿海或沿江开放城市的上海、无锡等地经济发展规模壮大。而西部及东北部等由于产业结构及区位因素被迅速拉开距离，形成显著的“输—赢”局面。第二、四象限中，少数存在于发达与落后之间的市域因为靠近核心区域，具有承接发达市域产业转移的先天优势，经济规模得以缓慢增长，如常州、湖州等。2008年，伴随着江淮都市圈及江苏沿海经济区等国家级发展战略的实施，一方面利用长三角腾笼换鸟的优势条件优化产业结构，另一方面完善自身交通等举措，促进欠发达地区发展，逐步融入长三角核心都市圈，长三角产业生态效率的整体空间交叉率也在逐步下降，使得整体产业生态效率差距逐步缩小。

3 结论与讨论

3.1 结论

采用数据包络分析、ESTDA方法，研究2000—2014年长三角城市群产业生态效率的时空跃迁特征。

研究发现：①长三角城市群的产业生态效率表现分为三个层次：第一梯队为苏州、上海、无锡等东部沿海城市，该地区区位优势明显，其产业生态效率值高。第二梯队是南京、常州、镇江等靠近第一梯队的城市，这些城市拥有较好的区域产业发展环境，但因为再生资源利用度不高导致效率较低，今后应着眼于产业结构的优化，提高利用效率。第三梯队是中部城市或靠近内陆的城市，比如合肥、湖州、台州、铜陵等城市，这些城市或是资源为主的单一结构或是地理位置优势不明显，但是在产业区域环境及资源利用条件上不具有一定的相对优势。②“核心—边缘”空间结构较为稳定，内陆城市的产业生态效率增长具有路径依赖特征。③LISA时间路径移动距离最大区域集中在长三角西北部，显现出西北—东南方向长，西南—东北方向距离短的格局。其中，东南—西北方向的产业生态效率值低下，城市空间结构表现出动态活跃程度更高。④LISA时间路径弯曲呈现出西北—东南方向递减的格局。长三角城市群产业生态效率城市单元局部结构表现不活跃，LISA时空跃迁在不同跃迁类型间较少发生转移，呈现出一定的转移惰性。⑤政策倾斜深刻影响着长三角市域差异的变迁，并且具有强化“核心—边缘”结构差异的态势。⑥长三角城市群产业生态效率的时空跃迁机制研究，能够很好地揭示出其发展阶段及未来发展演化趋势，但由于研究时序较短，针对不同城市群的内部差异的对比研究不足，仅基于社会经济视角研究发展差异的影响因素难免有失偏颇，后续研究将进一步改进模型，综合文化、自然等因素，为因地制宜的区域均衡发展提供参考。

3.2 政策含义

第一，加强城市间的经贸合作，尤其是与高附加值的第三产业、知识和技术密集型行业的合作，积极利用上海等发达城市的经济辐射能力，不断提升长三角整体产业生态效率。一方面，城市之间协商颁布促进地区产业创新的政策，完善行业制度、知识产权保护，打破地区产业壁垒、完善市场运行机制等等，达到中东部带动西北部协同发展的作用；另一方面，逐步增加对产业科技创新的投入，着重对创新人才的培养，加快新兴产业与现代科技的融合，促进长三角西部及北部城市的产业结构升级。

第二，重点扶持战略性新兴产业，利用信息化带动新型工业化发展，加快现代基础设施的建设，尤其是完善网络通讯等基础设施，及时将现代前沿科学技术融合到知识密集型产业，提高长三角区域的产业创新水平。首先，宏观层面应出台适当倾斜长三角西部、北部等欠发达地区的政策，增加对交通、网络等基础设施投入力度，引进高附加值产业，提高本地区的发展创新水平。另外，西部、北部等市域要抓住长三角发达市域“腾笼换鸟”的机遇，着重发展高科技产业，升级产业结构，逐步缩小与发达市域的发展差距。

第三，进一步推动户籍制度改革，推进新型城市化建设，加快新兴产业与城市化的融合发展，努力减少“伪城镇化”对社会经济发展的不利影响；与此同时应降低相关行业的进入门槛，扩大吸收国外和民间资金，促进制度创新的同时加快产业创新水平的提升。

参考文献：

- [1] Schaltegger S, Sturm A. Ecology induced management decision support. Starting points for instrument formation [R]. WWZDiscussion paper, 1989.
- [2] Meier M A. Ecoefficiency evaluation of waste gas purification systems in the chemical industry [J]. Reproductive Biology & Endocrinology, 1997, 2(25): 35.
- [3] 莱斯特·R·布朗. B 模式：拯救地球延续文明 [J]. 世界环境, 2004(4): 10 - 13.
- [4] 许涤新. 生态经济学探索 [M]. 上海：上海人民出版社, 1985.
- [5] 邱寿丰, 诸大建. 我国生态效率指标设计及其应用 [J]. 科学管理研究, 2007, 25(1): 20 - 24.
- [6] 王震, 石磊, 刘晶茹, 等. 区域工业生态效率的测算方法及应用 [J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 121 - 126.
- [7] 岳媛, 苏敏勤. 生态效率：国外的时间与我国的对策 [J]. 科学学研究, 2004, 22(2): 170 - 173.
- [8] Ye X, Carroll M C. Exploratory space-time analysis of local economic development [J]. Applied Geography, 2011, 31(3): 1 049- 1 058.
- [9] 纪小美, 付业勤, 陶卓民, 等. 福建省县域经济差异的时空动态与变迁机制 [J]. 经济地理, 2016, 36(2): 36 - 44.
- [10] Rey S J, Janikas M V. STARS: space-time analysis of regional systems [J]. Geographical analysis, 2006, 38(1): 67 - 86.

-
- [11] Höh H, Schoer K, Seibel S. Eco-efficiency indicators in German environmental economic accounting [J]. Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe, 2002, 19(1-2): 41 - 52.
- [12] 马勇, 刘军. 长江中游城市群产业生态化效率研究 [J]. 经济地理, 2015, 35(6): 124 - 129.
- [13] Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1984, 30(9): 1 078 - 1 092.
- [14] Ye X, Rey S. A framework for exploratory space-time analysis of economic data [J]. The Annals of Regional Science, 2013, 50(1): 1 - 25.
- [15] Rey S J, Murray A T, Anselin L. Visualizing regional income distribution dynamics [J]. Letters in Spatial and Resource Sciences, 2011, 4(1): 81 - 90.
- [16] Murray A T, Liu Y, Rey S J, et al. Exploring movement object patterns [J]. The Annals of Regional Science, 2012, 49(2): 1 -14.
- [17] Ye X. Comparative space time dynamics [D]. University of California, Santa Barbara and San Diego State University, 2010.
- [18] 郭永锐, 张捷, 卢韶婧, 等. 中国入境旅游经济空间格局的时空动态性 [J]. 地理科学, 2014, 34(11): 1 299 - 1 304.