

长江中游城市群绿色发展效率时空演变轨迹及特征研究

徐晓波, 王正

(安徽建筑大学 公共管理学院, 安徽 合肥 230601)

[摘要]绿色发展承载着人们对美好生活的期许,是经济社会永续发展的必要条件。文章以超效率SBM模型测算长江中游城市群2010—2020年的绿色发展效率,运用核密度估计模型、重心模型揭示其时空演进特征。结果表明:(1)长江中游城市群绿色发展效率呈先降后升的浅“V”型趋势,分地区看,武汉城市圈、环长株潭城市群、环鄱阳湖城市群绿色发展效率均出现不同程度的增长;(2)核密度曲线由左侧“单峰”分布逐渐转向“M”型双峰分布,高低值各自聚集的“俱乐部收敛”现象显现;(3)绿色发展效率重心逐渐向长江中游城市群西部地区迁移,经度变化范围大于纬度变化范围,波动范围随时间迁移均愈发扩大,东西区域不平衡性较为突出。鉴于此,文章提出因地制宜推进绿色发展、畅通区域之间协调联动、树牢绿色发展理念等政策建议,以助推长江中游城市群实现绿色发展转型。

[关键词]绿色发展效率;时空演变轨迹;超效率SBM;核密度估计;重心模型

doi:10.3969/j.issn.1673-9477.2023.03.002

[中图分类号]F124.5

[文献标识码]A

[文章编号]1673-9477(2023)03-0008-07

绿色发展是实现经济社会可持续发展的根本遵循,是当代中国生态文明建设的核心,也是人民对美好生活追求的重要体现^[1]。党的十八届五中全会提出“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念,为城市的绿色发展指明道路。党的十九大报告进一步提出要“坚持和推进绿色发展,形成绿色发展方式与生活方式”。2022年,党的二十大报告中将人与自然和谐共生放到了中国式现代化的显著位置,并强调“要加快发展方式绿色转型”。由此可见,绿色发展已成为新时期我国生态文明建设的一个重要指向标。^[2]长江中游城市群是中部崛起战略的主要带动区,也是中国重要的经济新增长极。^[3]为此,科学评价长江中游城市群的绿色发展效率并厘清其空间分异性,对了解长江中游城市群绿色发展效率及演变特征、推动长江经济带高质量绿色发展有较强的现实指导意义。

一、文献回顾

近年来,学界对绿色发展的研究逐渐兴起,学者们主要从效率测度、时间演化和空间分布等方面进行研究。

一是效率测度研究。黄小勇等(2022)^[4]以长江经济带城市为研究区域,运用非期望DEA模型探讨

长江经济带城市发展绿色效率;陈菁泉等(2021)^[5]通过随机前沿法分析中国八大综合经济区能源生态效率演变趋势,并探讨其驱动因素的作用机制。

二是时空演化分析。陈明华等(2020)^[6]通过MinDS模型发现城市生态效率发生转移的趋势并不明显,从而导致总体及各地区均存在“俱乐部趋同”和“马太效应”;杨志江(2017)^[7]基于跨期生产前沿的SBM-DEA模型测算了中国省际1999—2012年的绿色发展效率,研究发现中国东中西部之间的绿色发展效率差异在不断增大,中国省际绿色发展效率差距也在逐步扩大。

三是空间分布探讨。韩剑尘等(2022)^[8]利用非参数共同前沿理论对我国2006—2018年各省份绿色发展效率进行测算,发现东部地区绿色发展效率远高于中西部地区,且区域绿色发展存在失衡现象;王青等(2021)^[9]采用非导向Super-SBM模型测算华北平原城市的绿色发展效率,结果表明华北平原的绿色发展高效率区整体呈现“S”型分布特征,且正趋向于均衡发展。上述研究为探索绿色发展效率的时空演化与驱动因素提供了宝贵见解,但是目前关于绿色发展效率的讨论大多集中在空间聚集关系、空间分布格局等研究上,较少从地理学角度分析绿色发展效率的空间重心迁移特征;研究区域大多以全

[投稿日期]2023-04-10

[基金项目]安徽省哲学社会科学规划项目(编号:AHSKY2021D168)

[作者简介]徐晓波(1974-),男,安徽合肥人,博士,副教授,研究方向:公共政策。

国、黄河流域、长三角地区或某一具体省份为样本,而对长江中游城市群绿色发展效率的研究相对较少。

绿色发展承载着人们对美好生活的期许,是有效化解发展不平衡不充分难题的重要举措。^[10]长江中游城市群是长江经济带极具发展活力和潜力的区域,在长江经济带生态文明建设和绿色发展进程中发挥重要作用。基于此,本文以长江中游城市群 28 个城市为研究对象,通过超效率 SBM 模型测算 2010—2020 年各区域绿色发展效率值并分析其时空演化规律,在此基础上采用核密度估计法分析城市绿色发展效率的分布动态,最后从地理学角度采用重心模型分析其时间演化路径,以期全面客观反映长江中游城市群绿色发展效率的发展格局,助推长江中游城市群实现绿色发展转型。

二、研究区域与研究方法

(一) 研究区域概况

长江中游城市群承东启西、连南接北,是长江经济带的重要组成部分,其范围涵盖鄱阳湖城市群、长株潭城市群和武汉都市圈,不仅是实施全方位深化改革、促进中部地区崛起战略的重点区域,也是中西部新型城镇化的先行区。凭借着雄厚的工业基础和密集的劳动生产要素,近年来其经济发展水平迅速提升,国内生产总值仅次于长三角、京津冀和珠三角地区,但同时也是长江经济带中生态环境问题最为突出的地区之一。^[10]

(二) 研究方法

1. 超效率 SBM 模型

为克服普通 DEA 模型存在的松弛变量问题,Tone(2002)^[11]提出了超效率 SBM 模型,该模型既能考虑到绿色发展投入过程中的非期望产出问题,也可以使所测算的效率值不再受制于 0—1 的区间限制,从而更好地实现多个高效率决策单元的排序。公式如下:

$$\min \delta = \frac{1 + \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m \frac{w_i^-}{x_{ik}}}{1 - \left(\frac{1}{s}\right) \sum_{r=1}^s \frac{w_r^+}{y_{rk}}}$$

$$s. t. \quad x_{ik} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j x_{ij} - w_i^-; y_{rk} \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j y_{rj} + w_r^+;$$

$$\lambda_j \geq 0; w_i^- \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; w_r^+ \geq 0, r = 1, 2, \dots, n;$$

式中, w_i^- 、 w_r^+ 表示投入、产出的松弛变量; λ_j 是

约束条件; δ 代表绿色发展效率值; x_{ik} 、 y_{rk} 代表第 k 个决策单元的投入、产出变量。

2. 核密度估计法

为了考察长江中游城市群绿色发展效率的时序演变特征,本文采用核密度估计曲线展现其分布形态、位置及延伸性等。非参数 Kernel 核密度估计是一种用于估计概率密度函数的方法,以连续密度曲线来刻画随机变量的分布形态,与直方图相比,估计结果的连续性更好。^[12]公式如下:

$$f(p) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^r K\left(\frac{p_i - p}{h}\right)$$

其中, $f(p)$ 为待估计指数的密度函数, p 、 r 分别为均值和样本个数; p_i 为独立同分布的观测值; h 为带宽。

3. 重心模型

重心模型是探究空间要素变动的重要分析工具。借助重心模型探究不同时期长江中游城市群绿色发展效率在空间上达到平衡的位置。具体公式如下:

$$X = \sum_{i=1}^n C_i x_i / \sum_{i=1}^n C_i$$

$$Y = \sum_{i=1}^n C_i y_i / \sum_{i=1}^n C_i$$

式中, X 、 Y 为绿色发展效率重心坐标; x_i 、 y_i 为 i 市地理坐标; C_i 为 i 市绿色发展效率值。

(三) 绿色发展效率测度指标选取

绿色发展效率的变量选取需要综合全面地反映城市的绿色发展水平。本文在借鉴已有相关研究的基础上^[13-14],根据长江中游城市群绿色发展的特征和发展方向选取资本投入、劳动投入与能源投入来衡量区域绿色发展的投入水平。其中,选取全社会固定资产投资额衡量长江中游城市群绿色发展的资本投入;劳动投入以社会就业人员数进行表征;能源投入按多数文献处理方法^{[9][15]},采用全社会用电量进行表征。绿色发展效率的产出衡量包括期望产出和非期望产出两个部分。一方面,期望产出通常选择城市 GDP 总量进行衡量,在一定程度上可以反映地区发展水平^[16];另一方面,非期望产出则考虑到发展过程中对生态环境的负向影响,参照关伟(2020)^[17]、穆献中(2022)^[18]等学者的研究,同时选取二氧化硫和废水排放量来反映城市绿色发展过程中的非期望产出,具体指标如表 1 所示。

(四) 数据来源

本研究所使用的数据均来自于 2010—2020 年间的各期《中国城市统计年鉴》以及各地区的相关统

计年鉴与国民发展统计公报,其中,二氧化硫和废水排放量等部分数据来源于相应年份的《中国环境统

计年鉴》,极少数的缺失值采用 GM(1,1) 预测值进行补齐。

表1 绿色发展效率指标选取

一级指标	二级指标	三级指标	单位
投入指标	资本投入	全社会固定资产投资	亿元
	劳动投入	社会就业人员数	万人
	能源投入	全社会用电量	万 kW · h
产出指标	期望产出	地区生产总值	亿元
	非期望产出	二氧化硫排放总量	吨
		工业废水排放总量	万吨

三、实证结果与分析

(一) 长江中游城市群绿色发展效率时空演进

基于超效率 SBM 模型,借助 DEARUN v3.0 软件计算得出 2010—2020 年长江中游城市群绿色发展效率,并观察其发展趋势(如图 1)。

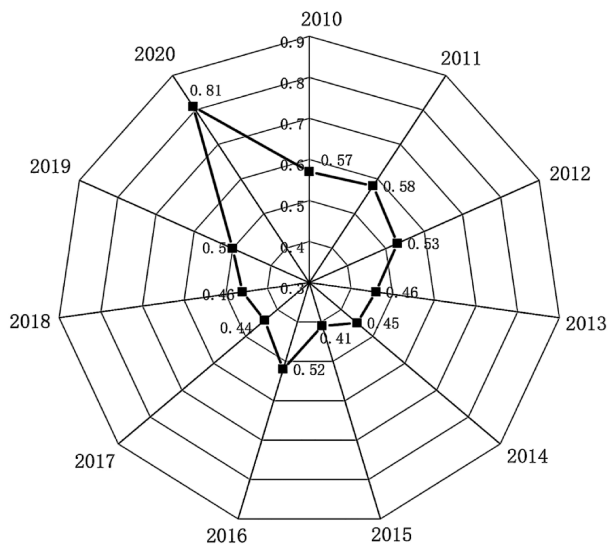


图1 2010—2020年长江中游城市群总体绿色发展效率图

从整体上来看,研究期内长江中游城市群绿色发展效率呈先降后升的浅“V”型波动态势,即在 2017 年之前呈缓慢下降态势,而在此之后则有了较大的提升,并于 2020 年出现跨越式提升,但是整体的效率值仍未达到 1,表明长江中游城市群绿色发展与有效前沿面仍有一定距离。分阶段看,2010—2015 年期间研究区绿色发展效率整体呈现下降趋势,特别是在 2015 年下降至 0.41,负增长率为 8.9%,这是由于发展初期长江中游城市群仍处于粗放式外延发展阶段,不利于绿色发展效率的提升;2015—2020 年绿色发展效率迎来黄金期,年均增长率达到 16.2%。2015 年《长江中游城市群发展规划》中明确指出要“着眼推动生态文明建设和提升可持续发展能力,建立健全跨区域生态环境保护联动

机制,促进城市群绿色发展”,这标志着长江中游城市群开始进入区域联动的绿色发展转型时期,各项环保政策的出台与落实使得绿色发展效率出现小幅度增长趋势。2016 年《促进中部地区崛起“十三五”规划》中进一步提出“发展壮大长江中游城市群,打造生态文明和绿色城镇化样板”。在生态文明思想的引领及其制度体系的完善下,长江中游城市群绿色发展效率水平持续稳步提升。

分区域来说,绿色发展效率在三个子城市群间的增长速度表现各异,其中尤以武汉城市圈最快,环长株潭城市群次之,而环鄱阳湖城市群则落于最后。从时间维度上看,三个子城市群的发展趋势与长江中游城市群的总体发展趋势基本保持一致。具体而言,研究初期武汉城市圈绿色发展效率被其他区域超越,位居第三。造成这一变动的主要原因是绿色发展初期武汉城市圈生态文明制度保障体系不健全、生态环境保护实施力度不足,很大程度上制约了武汉城市圈绿色发展效率水平的提升,但是随着《湖北省人民政府关于加强环境保护促进武汉城市圈“两型”社会建设的意见》等政策的出台,武汉城市圈资源集约利用及生态环境保护不断完善,其绿色发展效率水平直线提升,绿色发展效率均值从 2010 年的 0.59 升至 2020 年的 0.86,年均增长率 4.1%。

从环长株潭城市群来看,2010—2015 年环长株潭城市群绿色发展效率曲线落后于环鄱阳湖城市群并且呈下降趋势,这是由于湘江沿岸多为工业城市,研究初期清洁能源技术与节能减排技术覆盖率较低,难以有效降低工业生产对生态环境的负向影响,导致这一时期绿色发展效率明显下降。随着城市发展的绿色转型,2015—2016 年环长株潭城市群与环鄱阳湖城市群曲线表现出重叠和“赶超”的变化特征;2016—2018 年,环长株潭城市群绿色发展效率曲线领先于其他地区和长江中游城市群整体水平,绿色发展效率均值也从 2010 年的 0.54 升至 2020 年的

0.77, 年均增长率 3.9%。

从环鄱阳湖城市群来看,研究期间,环鄱阳湖城市群绿色发展效率曲线呈现波动上升的发展态势,并且呈现出“两头高,中间低”的变化特征,表明研究初期和末期环鄱阳湖城市群绿色发展水平均相对较高,而在研究中期则处于效率“低谷”阶段。分时期来看,2010—2015年间,环鄱阳湖城市群效率曲线位居第一,超越长江中游城市群整体水平;2016—2018年间,其效率曲线逐渐回落且被其他地区赶超;2019—2020年,环鄱阳湖城市群效率均值逐步提升,从2010年的0.57升至2020年的0.79,年均增长率3.5%。

总体而言,研究末期长江中游城市群及各区域的绿色发展效率均值处于0.77—0.86之间,这意味着虽然长江中游城市群绿色发展效率已经有了较大的提升,但距离达到效率前沿面仍有一定的差距。研究期内,长江中游城市群总体绿色发展效率曲线呈浅“V”型发展态势,三大子城市群绿色发展效率曲线也呈现不同程度的波动。其中,环鄱阳湖城市群一直处于效率曲线的前列,增长曲线较为平缓;武汉城市圈则在2015年之后逐渐崛起,其效率曲线也逐渐上升;相比之下,环长株潭城市群在2010—2015年期间的绿色发展效率曲线表现出较大的波动,但在2016—2018年期间,其绿色发展效率曲线逐渐领先于其他地区和长江中游城市群整体水平。因此,可以看出各子城市群的绿色发展效率曲线呈现出环鄱阳湖城市群领先、武汉城市圈崛起、环长株潭城市群追赶的变化趋势。

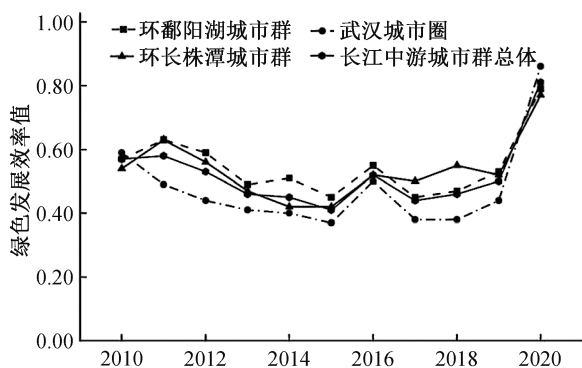


图2 2010—2020年长江中游城市群分区域绿色发展效率图

(二) 长江中游城市群绿色发展效率核密度分析

结合核密度估计公式得到长江中游城市群绿色发展效率的核密度测算结果,选取2010年、2015年、2020年数据绘制绿色发展效率的核密度曲线图(图3),分析长江中游城市群绿色发展效率的聚

集特征。

从整体来看,核密度曲线整体向右侧迁移,表明发展初期城市绿色发展效率集中在低水平区域,随着各城市的绿色发展转型,总体绿色发展效率值呈增长趋势,这与长江中游城市群绿色效率的时序变化情况相吻合。分时期来看,2010年核密度曲线整体为“单峰”分布,峰值区位于0.4附近并且曲线右侧不存在拖尾,说明较多城市聚集于低绿色发展效率水平区域,高绿色发展效率城市数量较少;2015年,核密度曲线整体由“单峰”分布转向“M”型双峰分布,曲线坡度“由陡变缓”、峰体“由窄转宽”,波峰出现在0.4和1.0周围,表明这一时期长江中游城市群绿色发展效率增长速度明显提升,高效率水平城市数量增加,但区域间绿色发展效率差异性逐渐变大,高低值各自聚集的“俱乐部收敛”现象显现;2020年,曲线整体向右迁移,表明这一时期长江中游城市群绿色发展低效率区域不断减少,总体水平呈正向增长趋势,核密度曲线峰度显著下降且右侧拖尾随时间迁移愈发拉长,表明2015—2020年间长江中游城市群绿色发展高效率城市有进一步的提升,但绿色发展效率极高城市与低效率城市间的差距逐渐扩大。因此,长江中游城市群的绿色发展效率仍有提升空间,尤其是低效率城市需要更多的关注和支持。

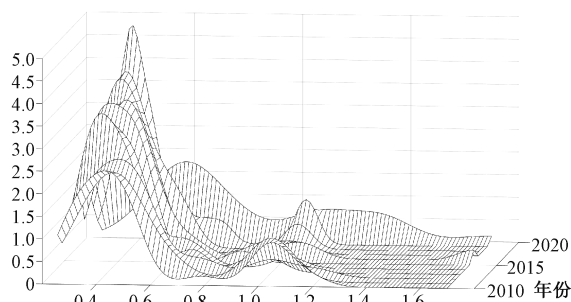


图3 2010—2020年长江中游城市群绿色发展效率核密度图

(三) 长江中游城市群绿色发展效率重心演变过程

利用重心模型公式测算出2010—2020年长江中游城市群绿色发展效率重心,并根据其重心移动情况绘制重心迁移轨迹图(如图4),在此基础上进一步计算出重心迁移方向和幅度(如图5)。

由图4可知,2010—2020年长江中游城市群绿色发展效率重心由(114.28°E, 29.04°N)迁移至(114.05°E, 29.13°N),累计移动距离为121.23km,年均移动距离为11.02km。具体来说,长江中游城市群绿色发展效率重心的迁移过程可以分为四个阶

段,第一阶段为2010—2011年,在此阶段,绿色发展效率重心呈西南方向移动趋势;第二阶段为2011—2016年,这一阶段绿色发展效率重心出现逆向变化,即迁移方向由西南方向转为东北方向,其中2014年为西南方向移动,2015年转回东北方向移动;第三阶段为2016—2018年,长江中游城市群绿色发展效率

重心迁移方向再次发生回转,迁移方向以西偏南为主;第四阶段为2018—2020年,这一时期绿色发展效率重心开始大幅偏向西北方向。从演变历程上看,长江中游城市群绿色发展效率重心总体变化方向是以西南—东北—西南—西北为主,总体迁移距离为24.64km。

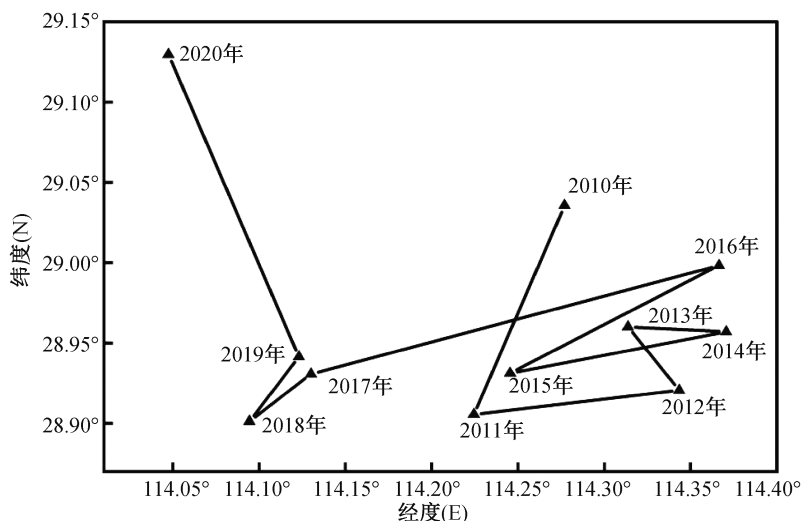


图4 2010—2020年长江中游城市群绿色发展效率重心迁移轨迹

结合图5进一步分析绿色发展效率重心的空间差异与分布。由图5可知,长江中游城市群绿色发展效率重心的经度变化范围在 -0.24° — 0.12° 之间,纬度变化范围在 -0.13° — 0.19° 之间。从重心迁移幅度上看,长江中游城市群绿色发展效率重心的经度变化范围大于纬度变化范围,说明东西方向上的绿色发展效率水平波动大于南北方向绿色发展效率水平波动。从重心迁移距离上看,绿色发展效率在2016—2017年迁移的距离最大,达到24.5km,其次是2019—2020年,迁移距离为22.19km,并且向西迁移的距离和年份要明显多于向东迁移的距离和年份,重心变化也呈现阶段性的特点。

综上可知,长江中游城市群绿色发展重心的空间分布范围东西向与南北向均呈逐渐扩大趋势,且重心迁移展现出明显的阶段性。2010—2015年绿色发展效率重心南北方向与东西方向波动范围与波动程度均较为平缓,重心整体向东迁移。说明在这一时期长江中游城市群东部地区的绿色发展效率要略优于西部地区,长江中游城市群整体绿色发展效率并未出现明显区域差异;2015—2020年绿色发展效率重心的南北波动范围和东西波动范围均迅速扩大,重心整体向西迁移,表明这一阶段西部地区的绿色发展水平显著提升,而长江中游城市群绿色发展效率的不平衡性在急速加剧,区域间差异更加突出。

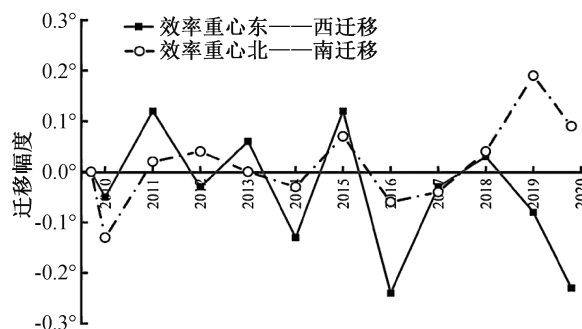


图5 2010—2020年长江中游城市群绿色发展效率重心迁移幅度

四、结论

(一) 结果分析

本文在把握现有研究成果和进一步明确研究方向的基础上,基于2010—2020年长江中游城市群28个城市的面板数据,通过超效率SBM模型测度其绿色发展效率值,并采取核密度估计和重心模型探究其时空演变规律,分析长江中游城市群绿色发展效率的时空演化趋势,探讨其变迁规律和阶段性特征。结果如下:

1. 2010—2020年长江中游城市群绿色发展效率整体呈先降后升的浅“V”型趋势,由2010年的0.57升至2020年的0.81,但距离有效前沿面仍有一定距

离。效率变迁过程可划分为两个时期:第一个时期是2010—2015年的绿色发展转型阶段,这一时期长江中游城市群绿色发展效率呈震荡式下降;第二个时期是2015—2020年的绿色发展深入阶段,这一时期研究区绿色发展效率水平显著提升。分区域来看,武汉城市圈绿色发展效率曲线增长速度最快,研究期末效率值达到0.86,年均增长率达4.1%;环长株潭城市群绿色发展效率曲线表现出重叠和赶超的变化特征,研究期末效率值达到0.77,年均增长率达到3.7%;环鄱阳湖城市群绿色发展效率曲线呈现“两头高,中间低”的变化特征,研究期末效率值为0.79,年均增长率为3.5%。

2. 研究期内长江中游城市群绿色发展效率增长速度显著提升,核密度曲线由左侧“单峰”分布逐渐转向“M”型双峰分布,曲线坡度“由陡变缓”,峰体“由窄转宽”,处于高效率水平的城市数量不断增加,但高绿色发展效率城市与低绿色发展效率城市间的差距逐渐扩大,高低值各自聚集的“俱乐部收敛”现象显现。

3. 从演变历程上看,长江中游城市群绿色发展效率重心总体变化方向是以西南—东北—西南—西北为主,分为“2010—2011年西南向迁移”“2011—2016年东北向迁移”“2016—2018年西南向迁移”“2018—2020年西北向迁移”四个阶段,绿色发展效率重心迁移展现出明显的阶段性且存在着区域间的失衡现象。2010—2020年绿色发展效率重心逐渐向长江中游城市群西部地区迁移,经度变化范围大于纬度变化范围,波动范围随时间迁移均愈发扩大。

(二) 对策建议

1. 立足区域发展特征,因地制宜推进绿色发展

城市群涵盖范围较广,城市群内各地区在发展条件、经济基础、资源禀赋等方面并非完全一致,其绿色发展水平及其制约因素也呈现区域差异。因此,要实现长江中游城市群各区域协同发展及绿色转型,就要立足区域发展特征,因地制宜推进绿色发展。一方面,长江中游城市群应明确绿色发展的重点环节,从全局出发因地制宜地制定绿色发展效率提升战略,从体制、机制、空间等维度构建可持续发展制度体系;另一方面,要着重考虑绿色要素跨区域的自由流通和优化配置,积极推动绿色产业发展,发挥先进地区的辐射带动效应,推广先进、科学绿色发展经验,以绿色发展为出路,提高资源利用效率。

2. 畅通区域之间协调联动,发挥优势地区带动作用

长江中游城市群是多核心、多层次的城市联合

体,更要建立起以中心城市引领城市群发展、城市群带动区域发展的新模式。研究期内武汉城市圈、环长株潭城市群、环鄱阳湖城市群的绿色发展效率均有较大提升,但高低值各自聚集的“俱乐部收敛”现象表明长江中游城市群中存在区域发展不平衡问题,未来的城市发展应鼓励城市间的互联互通,打造城市都市圈、城市经济圈等综合服务功能密集核心区,在此基础上完善集聚区的绿色产品供给及清洁能源基础设施建设,实现城市间的绿色协同发展,进一步提高区域整体的可持续发展水平。

3. 树牢绿色发展理念,激发绿色发展潜能

一方面,作为长江经济带的重要组成部分,长江中游城市群对周边城市的发展起着举足轻重的引领作用。因此,需要树立绿色发展观念,重视城市生态格局构建,促进经济社会发展绿色升级,这不仅有助于提高城市群绿色发展水平,更有利于带动周边地区的绿色转型;另一方面,长江中游城市群未来发展应注重破除阻碍城市发展的机制因素,积极探索绿色金融、绿色科技、绿色能源等新兴产业,不断优化绿色发展效率与资源配置效率,以鼓励提升期望产出,降低城市发展过程中的非期望产出量为目的,引导区域绿色发展,推动经济增长与生态保护的良性适配。

参考文献

- [1] 叶光宇,韩广富. 新时代绿色发展理念的减贫价值及其实现路径[J]. 广西社会科学, 2020, 305(11): 62-66.
- [2] 王丹,郝雨浓. 绿色发展理念的内涵与价值探究[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021, 231(23): 129-131.
- [3] 陈蓓,彭文斌,刘奕飞. 长江中游城市群绿色创新效率的时空演变与驱动因素[J]. 经济地理, 2022, 42(9): 43-49.
- [4] 黄小勇,查育新. 绿色发展效率的测度评价与驱动因素研究——以长江经济带为例[J]. 价格理论与实践, 2022, 456(6): 7-11.
- [5] 陈菁泉,刘娜,马晓君. 中国八大综合经济区能源生态效率测度及其驱动因素[J]. 中国环境科学, 2021, 41(5): 2471-2480.
- [6] 陈明华,刘文斐,王山,等. 长江经济带城市生态效率的空间格局及演进趋势[J]. 资源科学, 2020, 42(6): 1087-1098.
- [7] 杨志江,文超祥. 中国绿色发展效率的评价与区域差异[J]. 经济地理, 2017, 37(3): 10-18.
- [8] 韩剑尘,周良发. 绿色发展效率的地区异质性与因素分解[J]. 统计与决策, 2022, 38(14): 39-44.
- [9] 王青,肖宇航. 华北平原城市绿色发展效率时空演变趋势及影响因素[J]. 城市问题, 2021, 315(10): 65-75.
- [10] 孙洪哲,魏岚,韩光辉. 基于“双碳”目标的我国制造业绿

- 色转型优化路径探析[J]. 河北工程大学学报(社会科学版), 2022, 39(4): 11-17.
- [11] TONE K, TSUTSUI M. Dynamic DEA: A Slacks-based Measure Approach [J]. Omega, 2009, 38(3): 145-156.
- [12] 马立, 王丽娜, 王明珠, 等. 邯郸市旅游景点空间格局及其多尺度特征分析[J]. 河北工程大学学报(社会科学版), 2020, 37(3): 47-51.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 史玉芳, 兰欣颐. 中部地区资源型城市绿色发展效率的空间网络结构研究[J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(10): 86-98.
- [16] 李振, 王秀芝. 财政科技支出效率对地方产业结构升级的影响——基于我国省级面板数据的实证分析[J]. 经济体制改革, 2022, 232(1): 143-149.
- [17] 关伟, 许淑婷, 郭岫垚. 黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 150-158.
- [18] 穆献中, 周文韬, 胡广文. 不同类型环境规制对全要素能源效率的影响[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2022, 24(3): 56-74.

[责任编辑 李 新]

Research on the Spatiotemporal Evolution Trajectory and Characteristics of Green Development Efficiency in Urban Agglomerations in the Middle Reaches of the Yangtze River

XU Xiaobo, WANG Zheng

(School of Public Administration, Anhui Jianzhu University, Hefei, Anhui 230601, China)

Abstract: Green development carries the people's expectations for a better life and is a necessary condition for sustainable economic and social development. The super-efficiency SBM model is used to measure the green development efficiency of the urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River from 2010 to 2020, and the kernel density estimation model and the center-of-gravity model are used to reveal its spatiotemporal evolution characteristics. The results show that: (1) The green development efficiency of the urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River shows a shallow "V" trend which decreases first and then rises. From a regional perspective, the green development efficiency has increased in varying degrees in Wuhan urban agglomeration, the urban agglomeration around Changsha-Zhuzhou-Xiangtan, and the urban agglomeration around Poyang Lake, respectively; (2) The kernel density estimation curve gradually turns from the "unimodal" distribution on the left to the "M" type bimodal distribution, and the "club convergence" phenomenon of high and low values gathering appears, respectively; (3) The focus of green development efficiency is gradually shifting towards the western region of the urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River, with the changing ranges of longitude being greater than latitude. The fluctuation range is increasingly expanding over time, and the imbalance between the east and west regions is more prominent. In view of this, this study proposes some suggestions to promote the green development of the urban agglomerations in the middle reaches of the Yangtze River, such as green development based on local conditions, effective coordination between regions, strengthening the conception of green development, etc.

Key Words: green development efficiency; the spatiotemporal evolution trajectory; super-efficiency SBM model; kernel density estimation; center-of-gravity model