

长三角高校科技创新效率及其时空演化 ——基于沪、苏、浙、皖41市的实证分析



吴颖¹ 崔玉平²

(1. 安徽师范大学 教育科学学院, 芜湖 241000; 2. 苏州大学 教育学院, 苏州 215123)

摘要: 加强长三角高校科技创新对区域创新体系建设和高质量一体化发展具有重大意义。基于2013—2017年长三角41市的微观面板数据,运用DEA-VRS模型和Malmquist指数法测评市域高校科技创新效率,利用ESDA和收敛检验方法探究其时空演化特征。研究发现:长三角高校科技创新技术效率较高,总体逐年上升,但增速放缓,主要原因是规模效率增加,但规模效应趋于衰减;高校科技创新全要素生产率年均增长率略有下降,期间波动较大,表现为先降后升,但后劲不足,主要原因是技术进步不足;长三角高校科技创新技术效率的空间集聚性和依赖性总体呈减弱趋势,且时序差异趋于缩小,存在显著 σ -收敛和绝对 β -收敛,显示高校科技创新效率朝着区域一体化发展格局演进。未来要重视基于投入—产出相对效率评价逻辑的高校科技创新绩效评价;推动技术进步,促进长三角高校融入区域协同创新体系;跨越行政边界,努力形成高校科技创新效率一体化发展新格局。

关键词: 长三角; 科技创新效率; 时空演化; 创新体系

[中图分类号]G646 [文献标志码]A [文章编号]1673-8012(2022)03-0104-14

一、研究背景与文献综述

(一) 研究背景

自改革开放以来,我国高校科技创新在区域和国家创新体系中发挥着越来越重要的作用,大致经

* 致谢: 特别感谢安徽大学程雁雷教授、夏焰副研究员,浙江大学张应强教授,华东师范大学钱冬明教授,宁波大学张宝歌教授,安徽师范大学王玉杰博士等在本课题调研取样过程中多次提供的无私帮助和支持。本文的一些思考来自“中国教育经济学学术年会”和“粤港澳大湾区高等教育国际学术论坛”的交流,文责自负。

修回日期: 2022-03-23

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目“长三角区域高等教育一体化水平监测评估研究”(20YJA880006); 教育部人文社会科学研究青年基金项目“新时代背景下大学文科教师科研生产力评价及影响因素分析”(19YJC880081)

作者简介: 吴颖,女,安徽六安人,安徽师范大学教育科学学院讲师,长三角教育一体化发展安徽研究院助理研究员,教育学博士,主要从事教育经济与管理及区域高等教育研究。

通信作者: 崔玉平,男,黑龙江林口人,苏州大学教育学院教授,博士生导师,主要从事教育经济与管理研究。

引用格式: 吴颖,崔玉平. 长三角高校科技创新效率及其时空演化: 基于沪、苏、浙、皖41市的实证分析[J]. 重庆高教研究, 2022, 10(3): 104-117.

Citation format: WU Ying, CUI Yuping. The efficiency of science and technology innovation in colleges and universities and its spatial-temporal evolution in the Yangtze river delta: an empirical study based on 41 cities in Shanghai, Jiangsu, Zhejiang and Anhui[J]. Chongqing higher education research 2022, 10(3): 104-117.

历了大学科技创新工作的复苏(1978—1985年)、科技体制改革号角的奏响(1985—1992年)、高等教育改革的风云再起(1992—1998年)、致力于世界一流大学建设(1998—2012年)和大学科技创新工作的新发展(2012年以来)5个时期^[1]。高校通过科学研究直接增加区域创新成果,也通过人才培养、成果转化等方式充实区域知识创新,间接推动创新成果涌现^[2],成为区域创新体系的核心要素之一,对我国新时期建设世界科技强国和高等教育强国发挥了战略支撑作用^[3],成为国家创新体系的重要组成部分。

2019年12月,中共中央、国务院印发了《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,明确提出要加强区域协同创新产业体系建设,对引领全国高质量发展、建设现代化经济体系意义重大^[4]。长三角区域高等教育资源分布密集,科技创新能力强。相关统计数据显示,该区域目前拥有全国约17%的普通高等学校、30%的ESI前1%学科、28%的国家重点实验室,其中“双一流”高校约占全国的1/4^①;各类高校年R&D经费拨入和有效专利授权数均占全国的1/4左右^②。在新时代,创新日益成为长三角区域一体化发展的重要驱动因子^[5],高校作为区域创新主体的“最强大脑”,往往在源头创新、原始创新和基础创新等方面不可或缺,因而提升区域高校科技创新效率具有十分重要的战略意义。

在当前全力推进长三角区域更高质量一体化发展的国家战略背景下,区域内高校必将面临如何更好地服务、支撑和引领区域创新等新挑战^[6]。可见,高校抓住新的战略机遇、借助区域科技协同创新先发优势、有效提升科技创新效率,将是融入区域协同创新体系建设和实现更高质量一体化发展的关键之举。基于此,本研究致力于回答以下具体问题:长三角区域内部高校科技创新效率(包括静态效率和动态效率)究竟如何?其在时间和空间上存在何种变动趋势及演进规律?当前在此方面是否形成了区域一体化发展新格局?

(二) 相关文献综述

科技创新效率是指在具有一定科技资源配置能力和处于适宜创新环境条件下单位科技资源投入所取得的科技创新产出,一般基于知识生产函数和投入—产出理论,通过比较科技创新性产出与投入之间的数量关系来评价其高低。目前学界主要运用两类计量方法进行测度:一是基于非参数技术的数据包络分析(DEA)或其衍生方法,二是基于参数技术的随机前沿分析法(SFA)。相关研究文献可谓浩如烟海,但研究高校科技效率大多选取第一类方法,该方法已经被广泛应用于不同国家、不同环境下从事不同活动的不同实体的绩效评价^[7]。

与高校各部门生产率相关的研究文献通常基于不同的样本以及扩展的数据时序来开展定量评估。例如,一些早期研究基于横截面数据,运用DEA对英国“老”大学^[8]和澳大利亚国立大学^[9]的技术效率进行评估;另有研究基于澳大利亚35所大学的的面板数据,运用DEA-Malmquist指数对大学生生产率(包括科研和教学等方面)增长进行测度,结果发现样本大学的整体年平均生产率增长主要归功于技术进步,且科研生产率增长的贡献大于教学^[10]。又如,有研究基于美国2003—2010年综合高等教育数据,运用SFA方法评估950所社区大学的综合效率,发现这种效率会随时间推移稳步提升,但各大学间有显著差异^[11];有研究以欧洲高等教育一体化为背景,基于横截面和时间序列数据实证分析博洛尼亚进程对意大利大学投入—产出相对效率的影响,结果显示高等教育系统绩效呈现显著的

① 根据《2018年全国教育事业统计公报》《2018年国民经济和社会发展统计公报》、2017年“双一流”建设高校公布名单、ESI学科排名以及国家重点实验室建设名单等相关数据计算。

② 根据《2018年高等学校科技统计资料汇编》分地区学校科技经费、分地区学校科技成果数据计算;R&D是“科学研究与试验发展”的简称,包括基础研究、应用研究和试验发展3类活动。

收敛趋势,但高校之间、地区之间均存在差距^[12];有研究通过分析2000—2015年中国研究型大学的投入—产出效率发现,期间效率均值总体上呈现不断上升的趋势^[13]。虽然有众多国际文献关注高校科研绩效评估,但专门研究高校科技创新效率的并不多见。

相比而言,国内高校科技创新效率的研究起步虽晚,但相关文献增长量大,研究对象广泛。从样本数据来源看,主要有如下两类研究。

一类是以全国不同地区高校整体为样本的研究。例如,早期研究结果显示,我国不同地区高校科技创新效率总体不存在显著差异^[14]。但后来越来越多的文献均在不同程度上对此结论予以修正,如有研究运用Malmquist指数法测度1995—2008年全国高校科技创新的效率变动,发现高校科技创新全要素生产率总体上呈现不断增长的变化趋势,但并不稳定,表现为东部地区最高、西部居中、中部最低^[15]。还有研究基于投入—产出相对效率视角,运用DEA对2000年以后的全国高校科技统计数据测度,也得出了高校科技创新效率存在较大地区差异的结论,其中主要包括不同区域间的差异^[16-19]和特定区域的内部差异^[20-22]。也有少数学者使用非参数核密度估计和SFA方法对我国2011—2015年的高校创新效率演进进行动态分析,发现高校科技创新效率呈现西部最高、中部次之、东部最低的分布特征,其中技术效率“两极”聚集、规模效率省域差异显著、纯技术效率波动较大^[23]。

另一类是以单一行政省域高校为样本的研究。如一些研究以上海市^[24]、广东省^[25]、江苏省^[26]和湖北省^[27]的高校为案例和数据来源,实证分析了高校科技创新效率及省域内部差异,研究结论能为特定省域高校科技创新政策制定提供决策参考。如果说前一类文献是基于宏观层面的实证研究,那么后一类则是细化和深入该主题研究的产物,大多通过对数据的拆分、整合得到新的研究发现和补充性的理论解释,构成相对独立的学术板块,有具体的政策含义,这一思路也为本文指明了一条可行的研究路径。

通过上述文献梳理可以发现,近些年国内学者致力于高校科技创新效率测度及相关问题的探究,但由于指标不同、数据来源不同、方法迥异、估算偏差以及选取时期不同等原因,所得研究结论差异较大,尚存在如下问题亟待深入研究:(1)在研究对象上,对特定典型功能区或功能区内部高校科技创新效率的研究不足,尤其是对市域高校科技创新效率的实证研究较为鲜见;(2)在研究内容上,大量文献关注高校科技创新效率的测度、差异比较及影响因素剖析,而对其地域空间特征和时序变化趋势的研究相对不足;(3)在测量指标上,高校科技创新效率测度指标并无统一标准,如何在数据可获得的情况下,整合和优化各类评价指标体系,仍需深入探索。因此,本文以沪、苏、浙、皖一市三省41个市域高校科技创新活动作为研究对象,把市域范围内高校总体作为一个独立单元,运用数据包络分析、探索性空间数据分析和收敛性检验等方法,测度和比较2013—2017年长三角市域高校科技创新效率,在此基础上探索其时空演化特征及趋势。研究结果将有助于透视长三角高校科技创新效率的区域一体化进程及问题。

二、研究方法、指标体系和数据来源

(一) 研究方法

1. 数据包络分析

第一,基于DEA-VRS模型的静态评价法。本文使用数学规划评价所具有的多输入与多输出的决策单元(decision making units, DMUs)间的相对有效性,判断DMU是否位于生产可能集的“前沿面”上(若是,则认为达到DEA有效)。

已知评价指标体系包括 K 种非负投入指标和 L 种非负产出指标,要测度 N 个市域高校的科技创

新效率,可设 $x_{nk} (x_{nk} > 0)$ 、 $y_{nl} (y_{nl} > 0)$ 分别为第 n 个市域高校科技创新的第 k 种投入和第 l 种产出。对于第 $n (n = 1, 2, \dots, N)$ 个市域 $\theta (0 \leq \theta \leq 1)$ 为高校科技创新投入—产出效率综合指数,即技术效率(或综合效率); λ_n 为权重向量,用于判断高校科技创新的规模收益情况; s^- 、 s^+ 分别为投入和产出的松弛量,表示高校科技创新达到 DEA 有效需要减少的投入量和增加的产出量; ε 为非阿基米德无穷小量。其数学表达式如下:

$$\begin{cases} \min(\theta - \varepsilon(\sum_{k=1}^K s^- + \sum_{l=1}^L s^+)) \\ s. t. \sum_{n=1}^N x_{nk}\lambda_n + s^- = \theta x_k^n \quad (k = 1, 2, \dots, K) \\ \sum_{n=1}^N y_{nl}\lambda_n - s^+ = y_l^n \quad (l = 1, 2, \dots, L) \\ \lambda_n \geq 0; s^- \geq 0; s^+ \geq 0 \quad (n = 1, 2, \dots, N) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)是基于规模收益不变(constant returns to scale)的 DEA-CRS 模型,也就是 CCR 模型。若存在最优解 $\theta_n = 1$,说明第 n 个市域高校科技创新活动运行在最优生产前沿面上,即产出相对于投入而言达到最优;若 $\theta_n < 1$,则说明在此方面 DEA 无效; θ_n 接近 1,表示市域高校科技创新效率趋于有效,反之则趋于无效。当增加约束条件时, $\sum_{n=1}^N \lambda_n = 1 (\lambda \geq 1)$,可将其转变为规模收益可变(variable returns to scale)的 DEA-VRS 模型,也就是 BCC 模型,并把技术效率分解为纯技术效率(PTE)和规模效率(SE),即 $\theta_n = \theta_{PTE} \times \theta_{SE}$ 。其中 θ_n 含义同上; $\theta_{PTE} (0 \leq \theta_{PTE} \leq 1, \theta_{PTE} > \theta_n)$ 、 $\theta_{SE} (0 \leq \theta_{SE} \leq 1, \theta_{SE} > \theta_n)$ 分别为市域高校科技创新纯技术效率和规模效率指数值,值越接近 1,表示效率越高。文中市域高校科技创新的技术效率用于综合衡量与评价决策单元的高校科技创新资源配置能力、利用效率和规模优化程度等;纯技术效率反映高校科技管理水平、制度体系等因素对生产效率的影响;规模效率反映在管理水平和制度体系不变的情况下高校科技创新当前规模与最优规模之间的差距。

第二,基于 DEA-Malmquist 模型的动态评价法。上述 VRS 模型仅能测度特定时间截面单元的效率,可横向比较长三角市域高校科技创新静态效率值。若从时间维度纵向揭示其动态变化情况,则需要引入 Malmquist 全要素生产率(TFP)指数法。设定若 TFP_{ch} 大于 1,全要素生产率提升,反之则停滞或衰退。该方法不仅能指明影响效率变动的因素来源,而且可以对跨期活动进行动态评价。

按照已有研究的分解方法,基于产出导向的 t 到 $t+1$ 时期 Malmquist 全要素生产率变动指数可以转换为技术效率变动(Eff_{ch})指数与技术进步变动(TE_{ch})指数的乘积^[28]。

当假设规模报酬不变时,前者(Eff_{ch})是用 $t+1$ 与 t 时期决策单元实际产出值与最优前沿面上值的比率来表示的相对效率变化,它测度每个市域高校整体从 t 到 $t+1$ 期技术效率的变化程度,反映决策单元要素配置能力和管理水平。若 $Eff_{ch} > 1$,表明决策单元 $t+1$ 期比 t 期更加接近生产前沿面,展现出要素配置效率提高、管理水平提升与生产经验有效积累等改善状态。后者(TE_{ch})是指在既定投入前提下市域高校整体从 t 到 $t+1$ 期科技生产最优前沿面的移动,反映决策单元是否实现科研设施更新、核心研发技术革新、成果转化机制创新等。若 $TE_{ch} > 1$,表明与上一期相比,决策单元当期的科技生产前沿面向外移动,实现科技进步;若 $TE_{ch} < 1$,表明科技生产前沿面向内移动,出现技术衰退。

当假设规模报酬可变时,技术效率变动指数又可进一步变换为纯技术效率变动(PTE_{ch})指数和规模效率变动(SE_{ch})指数的乘积。若 Eff_{ch} 、 TE_{ch} 、 PTE_{ch} 、 SE_{ch} 中任一个大于 1,表明该变动指数对全要素生产率的提升具有促进作用,反之则为阻碍作用。

2. 探索性空间数据分析

探索性空间数据分析(exploratory spatial data analysis ,ESDA) 方法主要通过对特定区域事物或属性的空间可视化表达或空间相关指数来检验是否存在空间依赖和集聚现象 ,从而揭示研究对象之间的空间关联性及其相互作用机制^[29]。当检验空间单元某一属性特征在全域范围内是否存在空间自相关时 ,通常采用全局莫兰指数(*Global Moran's I*) 来度量; 当需要检验空间单元的某种属性特征与其邻居单元同类属性特征的局部空间自相关情况时 ,常采用局部莫兰指数(*Local Moran's I*) 来度量。本文选用全局莫兰指数来分析长三角全部市域高校科技创新活动效率的空间关联性特征 ,其计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{(S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij})} \quad (2)$$

式(2)中 , i, j 表示各个市域($i \neq j$); n 为市域总数($n = 41$); x_i, x_j 为市域 i 和邻居市域 j 高校科技创新活动的实际效率值; \bar{x} 为市域高校科技创新活动的平均效率值; w_{ij} 为空间权重矩阵的元素值 ,若两市域相邻则 $w_{ij} = 1$,不相邻则 $w_{ij} = 0$; $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 为样本方差。*Moran's I* 取值区间为 $[-1, 1]$,若值显著为正 ,表示存在正空间自相关(呈“高一高”或“低—低”集聚); 若显著为负 ,则表示存在负空间自相关(呈“高一低”或“低—高”集聚); 若等于 0 ,表示不存在空间自相关性(呈随机分布) 。同时采用 Z 值进行显著性检验。

(二) 高校科技创新效率的测度指标

本研究通过对高校科技产出要素与投入要素的量化比较来测度其科技创新活动效率。对测度指标逐级分解 ,共包括 5 个一级指标、9 个二级指标和 12 个三级指标(见表 1)。

表 1 高校科技创新活动的投入和产出测度指标

指标类型	一级指标	二级指标	三级指标	单位	测量方法
高校科技 创新投入	数量性投入	科技人力投入	R&D 全时当量人员	人年	直接引用
		科技经费投入	当年拨入科技经费总额	千元	直接引用
		科技项目投入	科技课题总数	项	直接引用
			科技课题当年拨入经费	千元	直接引用
	结构性投入	人力配比结构	R&D 全时当量人员占比	%	R&D 全时当量人员 / 教学科研人员 $\times 100\%$
		政府支持程度	政府经费投入占比	%	当年政府投入资金 / 拨入总科技经费 $\times 100\%$
		平均项目经费	科技项目平均拨入经费	千元 / 项	科技课题当年拨入经费 / 科技课题总数
高校科技 创新产出	科技成果	著作和论文	出版科技著作数	部	直接引用
			发表科技论文数	篇	直接引用
	成果转化	技术转让与应用	技术转让签订合同数	项	直接引用
			技术转让当年实际收入	千元	直接引用
	科技获奖	成果授奖	科技创新成果授奖数	项	直接引用

需要说明的是 ,评价高校各种创新活动的指标有多种 ,但反映其“创新”程度的数据还很有限。例如 ,经济合作与发展组织(OECD) 的统计调查把 R&D 人力资源和 R&D 经费等作为度量创新的核心

心指标^[30]。实际上,高校科技生产属于创造新知识、发现新领域的活动,本身就蕴含创新因子,其科技人力、经费、项目、成果及其转化应用等指标都是反映科技创新全过程的关键要素,因此,表1所列指标可以较好地反映高校科技创新活动的投入与产出状况。

(三) 数据来源

2012年安徽加盟“长三角教育协作体”,涵盖上海、江苏、浙江和安徽的长三角区域教育一体化发展新版图正式形成^[31],因而高校科技创新活动的预算执行年应从2013年算起。因此,本文选取2013—2017年共5年的41个市域高校科技创新投入与产出指标数据建立短面板数据。原始数据源于《高等学校科技统计资料汇编》(2014—2018年)。本次数据库建立的具体过程为:首先对一市三省样本高校(包括“211工程”及省部共建高校、其他本科高校、高等专科院校三大类)逐个按照各自所在的市域进行归类,依次录入指标值,然后分市域统计,最后汇总全部样本高校各指标数据。

三、长三角高校科技创新效率的测度结果

(一) 市域高校科技创新技术效率及其分解

基于产出导向的DEA-VRS模型,运用Deap 2.1软件对2013—2017年长三角高校科技创新效率进行测度,结果发现,在样本期内,上海、南京、无锡、扬州、连云港、盐城、镇江、宿迁、合肥、蚌埠、淮南、安庆和亳州13个市域的高校科技创新效率值始终稳定为1,温州、阜阳等4个市域的高校科技创新效率值接近最优效率值,徐州、常州、杭州、芜湖等7个市域的高校科技创新效率值整体较高,并逐步上升至最优效率值,说明这些市域的高校科技创新产出相对于投入而言,基本达到最优状态。宁波、绍兴、舟山、湖州、台州、衢州、马鞍山、滁州和宣城9个市域的高校科技创新效率值总体呈快速上升趋势,主要得益于规模效率提升,而且大多进入规模收益递增阶段,说明期间科技生产要素持续投入产生了效能。苏州、泰州、淮安、金华、丽水、淮北、六安和黄山8市的高校科技创新技术效率均有所衰退。表2呈现了统计汇总后的测度结果。高校科技创新技术效率值等于1的市域数逐年增加,5年间整体技术效率均值也逐年提升,2014—2017年的环比增长率分别为1.45%、9.27%、1.2%和0.75%,可见期间长三角高校科技创新技术效率总体上呈持续上升趋势,而在2015年出现增长拐点,随后增长放缓。其中,整体规模效率均值始终大于纯技术效率均值,说明这一阶段高校科技资源投入的规模优势得以发挥;纯技术效率值等于1的市域数快速增加,规模效率值等于1的市域数总体上也有所增加,但规模收益递增的市域数减少,规模效率的主要贡献度开始受到抑制。

表2 长三角市域高校科技创新效率测度结果统计

效率类型	2013年			2014年			2015年			2016年			2017年		
	均值	=1市域数	<1及ins市域数	均值	=1市域数	<1及ins市域数	均值	=1市域数	<1及ins市域数	均值	=1市域数	<1及ins市域数	均值	=1市域数	<1及ins市域数
θ_n	0.829	23	18	0.841	24	17	0.919	25	16	0.930	26	15	0.937	28	13
PTE	0.903	24	17	0.912	27	14	0.935	26	15	0.945	31	10	0.962	31	10
SE	0.918	24	16	0.922	24	16	0.982	26	13	0.984	26	13	0.974	28	12

注:限于篇幅,不报告每一年度各市域高校科技创新技术效率及其分解指标值;表中 θ_n 、PTE和SE分别代表技术效率、纯技术效率和规模效率;ins表示规模收益递增,规模收益不变和规模收益递减两种情况表中不予呈现

(二) 市域高校科技创新全要素生产率及其分解

基于2013—2017年长三角高校科技创新投入—产出的面板数据,运用DEA-Malmquist指数法估算科技创新活动的动态效率,结果见表3。

表 3 年度平均 Malmquist 生产率指数及其分解

时间段	PTE_{ch}	SE_{ch}	Eff_{ch}	TE_{ch}	TFP_{ch}
2013—2014 年	1.003	1.024	1.027	0.846	0.869
2014—2015 年	1.040	1.045	1.087	0.858	0.933
2015—2016 年	1.007	1.007	1.014	1.036	1.051
2016—2017 年	1.025	0.990	1.014	1.017	1.032
年平均	1.019	1.016	1.035	0.943	0.976

注: 由于科技创新投入和产出之间存在时滞效应, 本文采用一阶滞后期, 即第 t 年投入影响第 $t + 1$ 年产出; $TFP_{ch} = Eff_{ch} \times TE_{ch} = PTE_{ch} \times SE_{ch} \times TE_{ch}$; 年平均值为几何平均数; 下同

5 年间, Malmquist 指数年平均值为 0.976(略小于 1), 说明长三角高校科技创新全要素生产率年均增长率略有下降, 年均下降 2.5%。整体效率在前期均为负增长, 后两个年度出现不同程度的正向增长(增长幅度分别为 5.1% 和 3.2%), 而这种发展后劲并不强。技术进步变动和技术效率变动指数均值分别为 0.943 和 1.035, 平均每年由于科技生产技术创新和成果转化及应用层面的停滞或退步而导致全要素生产率下降幅度为 5.7%, 由于科技生产资源配置和利用效率改善而带来全要素生产率增长幅度为 3.5%, 其中, 纯技术效率变动和规模效率变动指数均值分别为 1.019 和 1.016, 年均增长率分别为 1.9% 和 1.6%。值得重视的是样本期规模效率值呈缩小趋势, 尤其是 2016—2017 年度规模效率值缩小至 1 以下, 引致生产率下降, 可见走规模扩张之路将不可持续。

概言之, 在长三角高校科技创新全要素生产率变动过程中, 技术效率和技术进步效率变化幅度相差较大, 引致样本期全要素生产率下降的主要原因是生产技术的衰退。有学者已提出, 我国高校科技创新最突出的问题, 是因科技成果与经济社会发展隔离而出现的科技成果难以转化为现实生产力的“孤岛现象”^[32]。

此外, 由表 4 可以看到具体的市域变化趋势及特征, 样本期高校科技创新全要素生产率年均保持上升发展趋势的市域数量约占一半, 其中仅有 8 个市域得益于技术进步, 以上海、南京、杭州、合肥等中心城市为主, 不过它们并非名列前茅, 说明其高校科技创新全要素生产率仍有提升空间。另一半市域高校科技创新 Malmquist 指数值均小于 1, 说明全要素生产率均有不同程度的下降。绝大多数市域的技术进步变动指数值都小于技术效率变动指数值, 这再次印证了前文研究结果, 即技术进步的衰退是高校科技创新全要素生产率增长的主要障碍。

表 4 基于 Malmquist 指数及其分解的高校科技创新效率测度结果

城市	Eff_{ch}	TE_{ch}	PTE_{ch}	SE_{ch}	TFP_{ch}	城市	Eff_{ch}	TE_{ch}	PTE_{ch}	SE_{ch}	TFP_{ch}
上海市	1.000	1.033	1.000	1.000	1.033	湖州	1.284	0.928	1.092	1.176	1.192
南京	1.000	1.035	1.000	1.000	1.035	台州	1.060	1.018	1.025	1.034	1.079
苏州	0.954	0.969	0.960	0.994	0.925	丽水	0.950	0.907	0.976	0.973	0.862
无锡	1.000	0.912	1.000	1.000	0.912	衢州	1.204	0.944	1.102	1.092	1.137
徐州	1.164	0.943	1.091	1.067	1.098	合肥	1.000	1.051	1.000	1.000	1.051
常州	1.029	1.035	1.013	1.015	1.064	芜湖	1.030	0.973	1.021	1.009	1.002
南通	1.046	0.962	1.034	1.012	1.006	马鞍山	1.210	0.928	1.129	1.072	1.122
泰州	0.942	0.849	0.952	0.990	0.800	蚌埠	1.000	0.886	1.000	1.000	0.886
扬州	1.000	1.144	1.000	1.000	1.144	淮南	1.000	0.900	1.000	1.000	0.900

续表

城市	Eff_{ch}	TE_{ch}	PTE_{ch}	SE_{ch}	TFP_{ch}	城市	Eff_{ch}	TE_{ch}	PTE_{ch}	SE_{ch}	TFP_{ch}
淮安	0.917	0.969	0.976	0.939	0.888	安庆	1.000	0.955	1.000	1.000	0.955
连云港	1.000	0.913	1.000	1.000	0.913	淮北	0.946	0.941	0.927	1.020	0.890
盐城	1.000	0.624	1.000	1.000	0.624	阜阳	1.000	0.923	1.000	1.000	0.923
镇江	1.000	0.960	1.000	1.000	0.960	铜陵	1.000	0.787	1.000	1.000	0.787
宿迁	1.000	1.006	1.000	1.000	1.006	六安	0.952	0.944	0.971	0.979	0.899
杭州	1.027	1.030	1.020	1.007	1.058	宿州	1.000	0.670	1.000	1.000	0.670
宁波	1.155	0.976	1.145	1.008	1.127	池州	1.240	0.976	1.129	1.098	1.210
温州	1.000	0.962	1.000	1.000	0.962	滁州	1.188	0.977	1.056	1.124	1.161
绍兴	1.064	0.958	1.051	1.012	1.019	黄山	0.969	0.929	1.017	0.953	0.900
金华	0.956	0.942	0.961	0.995	0.901	亳州	1.000	0.796	1.000	1.000	0.796
嘉兴	1.069	0.943	1.038	1.029	1.008	平均值	1.035	0.943	1.019	1.016	0.975
舟山	1.198	0.887	1.104	1.085	1.063						

注: 宣城 2013 年和 2014 年的高校科技创新效率为极端值 0, 故此处将该市域数据剔除

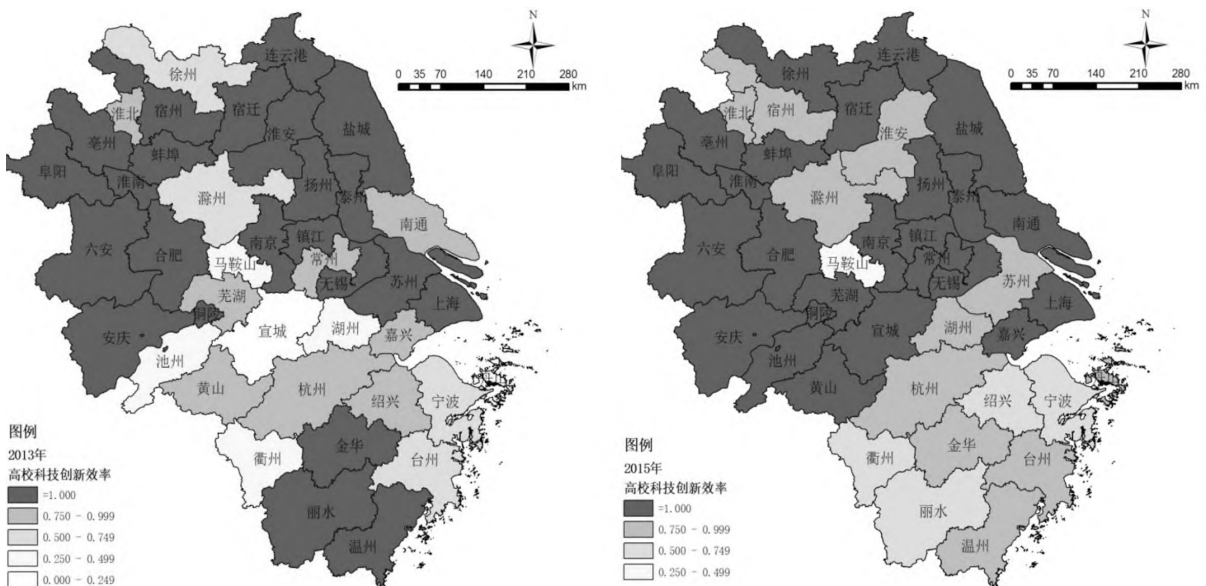
可以预见, 促进长三角高校科技创新可持续发展的突破点将在于革新科技研发设备设施、引入更加先进的科研技术与方法以及加大科技成果的转化应用力度。

四、长三角高校科技创新效率的时空演化

(一) 市域高校科技创新技术效率的空间关联分析

借助 ArcGIS 10.4 软件进行空间可视化分析, 图 1 显示了 2013 年、2015 年和 2017 年的分析结果(颜色越深代表相对效率越高)。

首先, 长三角高校科技创新技术效率水平较高, 且随时间推移呈持续上升趋势。样本期高校科技创新技术效率相对较高的市域数大幅增加, 2013 年相对有效的市域为 23 个(占 56.10%), 2015 年增长至 25 个(占 60.98%), 2017 年达到 28 个(占 68.29%)。



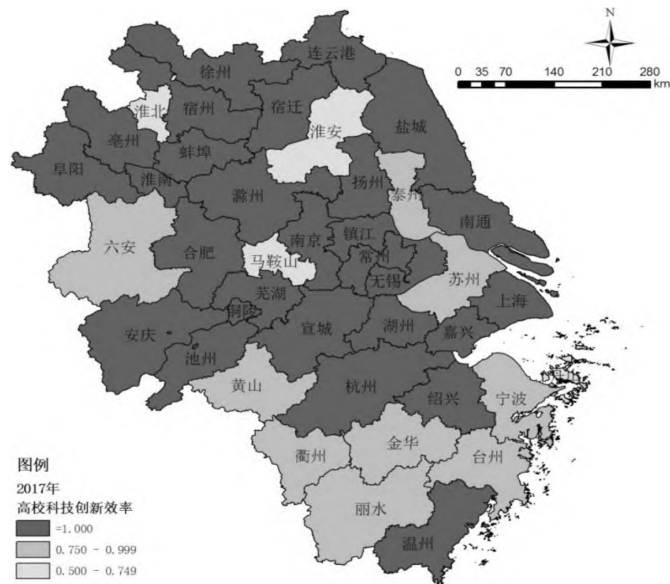


图1 长三角高校科技创新技术效率的空间分布及演变

注:根据长江三角洲地区区域图绘制,审图号:GS(2020)3189号

其次,长三角高校科技创新技术效率在空间上呈现不均衡分布状态,但随着时间推移,这种不均衡程度减轻,尤其是环杭州湾城市群和皖江城市带^①中多数市域的高校科技创新技术效率上升明显。在省域层面上,上海始终保持着相对最优效率;江苏整体效率水平变化不大但空间格局变化较大;浙江整体效率水平先降后升且逐步趋向均衡;安徽整体效率水平先迅速提升后又下降。在市域层面上,2013年高效率水平的市域单元主要分布在区域版图的西北翼、东北翼和南部,而包括宣城、滁州、池州、马鞍山、湖州在内的中部市域效率水平相对较低,表现出一定程度的“塌陷”;2015年整体效率水平明显提升,徐州、宣城、滁州、池州、湖州、舟山等市域达到相对最优效率或跻身较高效率水平行列,苏州、淮安、金华、温州等市域降为非相对最优,但仍处在较高水平,只有马鞍山仍处于较低效率水平;2017年除淮安、舟山、淮北和马鞍山4市,其他所有市域均达到相对最优或较高效率水平。

运用 GeoDa 1.14.0 软件计算得到样本期 41 个市域高校科技创新技术效率的全局莫兰指数,包括基于邻接(contiguity)关系和基于距离(distance)关系两种空间权重矩阵的结果(见表5)。基于地理邻接 Queen 法构建的空间权重矩阵计算得出的 $Moran's I$ 值均大于 0(2017 年为负值除外),但只有 2015 年和 2016 年显著为正($p < 0.1$),表明仅这两年长三角高校科技创新效率呈现显著空间集聚状态。基于地理距离阈值法构建的空间权重矩阵计算得出的 $Moran's I$ 值也均大于 0(2017 年除外),且统计检验均达到 10% 的显著性水平,表明市域高校科技创新效率具有相对显著的正向空间自相关性。在一定地理距离范围内的市域高校科技创新技术效率呈现“高一高”集聚、联动变化的空间分布态势,表明长三角市域间高校科技创新活动已经跨越行政边界,产生了合作与互动。另外,基于不同空间权重矩阵计算得到的两种 $Moran's I$ 值总体上都呈现下降趋势,表现出对空间依赖性减弱的趋势,这从一定程度上说明长三角高校科技创新技术效率正逐步呈现区域一体化的协调联动态势。

需要引起注意的是 2017 年 $Moran's I$ 值和 Z 值均为负数,虽然不具有统计显著性,但从理论上说,应当给予重视,避免因过度竞争而形成极化效应或“高一低”集聚趋势。

^① 环杭州湾城市群包括浙江省的杭州、宁波、绍兴、嘉兴、湖州、舟山 6 个地级市;皖江城市带包括安徽省的合肥、芜湖、马鞍山、安庆、滁州、池州、铜陵、宣城 8 个地级市全境以及六安市的金安区和舒城县。

表5 长三角高校科技创新技术效率的 Global Moran's I 及检验统计量

年份	地理邻接权重矩阵			地理距离权重矩阵		
	Moran's I	p 值	Z 统计量	Moran's I	p 值	Z 统计量
2013 年	0.090	0.140	1.073	0.196	0.043	1.877
2014 年	0.010	0.339	0.338	0.163	0.065	1.612
2015 年	0.190	0.035	2.020	0.199	0.037	1.975
2016 年	0.117	0.099	1.286	0.180	0.046	1.875
2017 年	-0.061	0.181	-0.911	-0.041	0.377	-0.429

注: 地理邻接权重矩阵中, 由于舟山市的邻居个数为 0, 这里通过修改参数的方式将其邻居设定为距离最近的宁波市, 同时增加舟山为宁波的邻居

(二) 市域高校科技创新技术效率的收敛性检验

上文全局莫兰指数计算结果显示, 样本期长三角高校科技创新技术效率存在空间自相关性且呈现相对减弱趋势, 但没有说明这种空间分异是否长期真实存在缩小趋势。根据 Barro 和 Sala-I-Martin 的经济收敛理论, σ -收敛和 β -收敛是度量收敛的两个重要指标, 其中 β -收敛又可分为绝对 β -收敛和条件 β -收敛。 σ -收敛是指所取样本的某一属性值的离差随时间推移而逐渐变小; β -收敛是指发展水平低的样本属性值比发展水平高的增长更快, 如果所取样本总体的属性值能够保持一致性的稳态 (steady state) 则为绝对 β -收敛, 如果每个样本个体都只能趋近于各自的稳态则为条件 β -收敛^[33]。本文重点关注长三角市域高校总体科技创新技术效率是否会朝着协同化方向演变, 故仅进行 σ -收敛检验和绝对 β -收敛检验。

1. σ -收敛检验

σ -收敛指数也称趋同指数, 这里采用市域高校科技创新技术效率值的标准差来计算:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln E_{it} - \ln \bar{E}_t)^2} \quad (3)$$

式(3)中, $\ln E_{it}$ 为市域 i 第 t 年高校科技创新技术效率的自然对数; $\ln \bar{E}_t$ 为第 t 年 n 个样本市域高校科技创新技术效率均值的自然对数; σ_t 为第 t 年 n 个样本市域高校科技创新技术效率自然对数值的标准差。若在 t 到 $t+T$ 年间 (T 为时间跨度) 满足 $\sigma_{t+T} = \alpha \sigma_t$ ($0 < \alpha < 1$), 则可判定样本市域存在 T 阶 σ -收敛, 表明市域高校科技创新效率存在趋同趋势; 反之则为发散趋势。

计算结果经整理后绘制图 2。 σ -收敛指数呈逐年下降趋势(由 0.257 降至 0.105), 可见样本期存在显著的 σ -收敛, 据此初步判断长三角市域高校科技创新技术效率差距正逐年缩小, 朝着正向协同化方向演进。

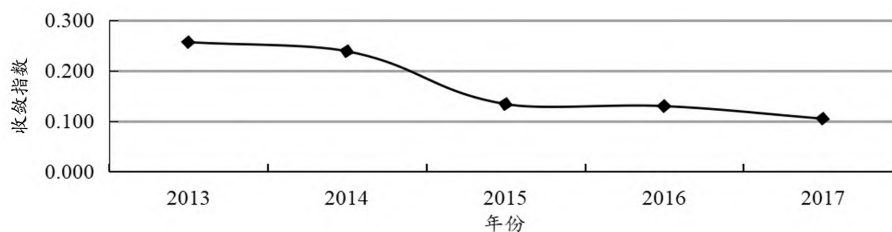


图2 长三角高校科技创新技术效率的 σ -收敛趋势

2. 绝对 β -收敛检验

借鉴上述 Barro 和 Sala-I-Martin 的对数表达思想, 本文将绝对 β -收敛模型设定如下:

$$\frac{1}{T} \ln(E_{i(t+T)} / E_{it}) = \alpha + \beta \ln E_{it} + \varepsilon \quad (4)$$

式(4)中, $\ln(E_{i(t+T)}/E_{it})/T$ 反映市域 i 初期 t 年(这里 $t = 2013$) 到末期 $t + T$ 年(T 为起止期隔年数) 高校科技创新技术效率的年平均增长率; α 为常数项; β 为收敛系数估计值, 若 β 小于 0 且通过显著性水平检验, 则判定起止期存在绝对 β -收敛; ε 为随机误差项。然后通过公式 $\beta = -(1 - e^{-\lambda T})/T$ 反向计算得到 λ 值, 将其称为绝对收敛速度^[34]。另外, 考虑到收敛性分析所得结论对所取样本时间跨度有较强敏感性, 导致可能无法有效说明收敛连续性, 这里参考刘兴凯等的做法^[35]。除了综合考察整个样本时序($T = 4$) 外, 还以 2015 年为分界, 进一步划分为 2013—2015 年($T = 2$) 和 2015—2017 年($T = 2$) 两个阶段, 结果见表 6。

表 6 长三角高校科技创新技术效率的绝对 β -收敛检验结果

	2013—2017 年	2013—2015 年	2015—2017 年
B	-0.208*** (0.014)	-0.332*** (0.037)	-0.204*** (0.046)
常数项 α	-0.014** (0.006)	-0.022** (0.015)	-0.020** (0.010)
收敛速度 λ	0.446	0.545	0.262
调整后的 R^2	0.870	0.702	0.562
F 统计量	261.778***	92.977***	52.373***

注: 括号内是标准误; *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平下通过统计检验

由表 6 可知, 就整个评价时序而言, β 估计值为 -0.208 ($p = 0.000$), 说明长三角高校科技创新技术效率增长速度与其初期水平呈显著的负相关关系, 因此存在绝对 β -收敛。也就是说, 高校科技创新效率值较低的市域对较高的市域具有显著“追赶效应”, 整体上将趋同于某一稳态水平, 而且低水平值与高水平值的市域高校科技创新技术效率差距大约每年以高达 44.6% 的速度缩小。当对整个区域分阶段进行绝对 β -收敛检验时, 结果显示两个时期的 β 估计值均显著为负, 说明存在绝对 β -收敛态势且连续, 只不过 2015 年之后的收敛速度(26.2%) 明显慢于 2015 年之前(54.5%), 这一点与图 2 所呈现的趋势一致。

综合上述空间关联和时序收敛变化分析结果, 可以初步判断长三角市域高校科技创新综合技术效率总体朝向联动协同方向迈进。但是, 使用相同方法却未能证明市域高校科技创新全要素生产率存在空间自相关性或集聚性, 也未能证明收敛性, 这也可能是面板数据时序较短所致^①。

五、结论和建议

(一) 研究结论

运用 DEA-VRS 模型和 Malmquist 指数法分别从静态和动态两个层面测评了 2013—2017 年长三角 41 个市域的高校科技创新效率, 并运用 ESDA 和收敛性检验方法探究时空演化特征, 主要得出以下研究结论:

第一, 从静态效率测评结果看, 长三角高校科技创新技术效率水平整体较高, 总体上持续上升但增速放缓, 主要原因是规模效率增加, 但其贡献呈现衰减趋势。

第二, 从动态效率测评结果看, 长三角高校科技创新全要素生产率年均增长率略有下降, 年度波动较大, 表现为先降后升但后劲不足。

第三, 市域高校科技创新技术效率存在正向空间聚集性和依赖性, 而总体差异程度缩小, 且存在显著的 σ -收敛和绝对 β -收敛, 显示长三角高校科技创新技术效率在市域之间联动协同, 正朝着区

^① 即使将数据时序放长一年, 更新至 2018 年, 所得结果也并无实质改变, 即长三角市域高校科技创新全要素生产率尚未形成一体化发展格局。未来研究需要收集更长时序的数据来加以验证。

域一体化新格局演进,但还未完全形成,这支持了创新一体化在长三角区域一体化发展分领域中相对滞后的研究结论^[36]。

(二) 对策建议

基于上述研究结论,提出如下3点政策建议。

第一,重视基于投入—产出相对效率评价逻辑的高校科技创新绩效评价,发挥好评价的“指挥棒”和“助推器”作用。本文使用DEA模型测评了长三角41个市域的高校科技创新效率。每一个市域高校都可以通过调整自身科技投入规模和结构来实现效率提升。考虑到一市三省之间及省域内部发展差距较大、高校科技创新能力悬殊等特点,使所有市域的高校科技生产活动都达到区域内的“绝对最大”效率几乎不可能,但可以追求适合本市域高校科技生产状况的“相对最优”效率。必须清楚地认识到,长三角区域总体正处在从“投资驱动”的规模扩张阶段向“创新驱动”的高质量发展阶段转变的关键期,高校科技创新发展也要避免长期走“增量”扩张之路,单纯依赖规模扩张已在本文中被证明是不可持续的。

第二,联合推动高校科技创新技术进步,促进长三角高校融入区域科技协同创新体系。动态评价结果表明,技术进步减慢是长三角高校科技创新全要素生产率增长的主要障碍。因此,应重点在高校科技生产的新平台搭建、核心技术革新、技术转移以及成果转化等具体方面下“狠功夫”。

首先,要共享高校科技生产新设备,共建新平台。通过内外部力量共同作用,形成合力,更高质量地推进长三角高校优质科研资源共享。可以在“一流”大学中建设一批前沿科学研究中心,由具有比较优势的高校牵头组建联合实验室、科技协同中心以及创新成果转移转化平台,从而促使整个区域内高校科技生产可能性边界外移。

其次,要注重革新高校科技创新核心技术。鉴于技术进步和创新水平在很大程度上取决于高级人力资本存量^[37],因而在稳定基本R&D人员队伍和优化队伍结构的同时,各高校要结合自身定位,加强高水平和专业型人力资本的积累,通过内引外联的方式聚集科技创新人才,形成创新发展的源头活水。

再次,要促进高校科技创新技术转移和成果转化应用机制的创新。科技成果转化是科技创新活动全过程的“最后一公里”。国家必须深化高校科技管理体制改革,支持高校探索创新科技成果转化机制。同时,政府、高校、科研院所、企业及社会多元创新主体要积极形成合力,共同推动科技更高质量协同创新,充分释放长三角地区科技协同创新的巨大潜力。

第三,跨越传统行政边界,努力形成长三角高校科技创新效率区域一体化发展新格局。本次探索性研究结果表明,长三角高校科技创新技术效率在一定地理空间内总体呈现出“高一高”集聚联动态势,市域间的差异随着时间推移而缩小,因而要进一步突破行政藩篱,加强地理距离相对更近的市域高校间的科技创新交流活动,鼓励和支持邻近市域的高校之间开展深入合作。

最后需指出的是,本文仅是一项初步研究,许多问题仍有待深入讨论。例如,现有的数据时序较短,因此有必要研究更长时间的时空演化趋势与规律,以较好地避免短期波动的干扰,同时使用空间面板模型深入分析影响长三角高校科技创新效率变动的因素,进一步探讨其时空演化的动力机制,这是有待后续研究的重要内容。

参考文献:

- [1] 苏竣, 睦纪刚. 中国高校科技创新发展与人才培养[J]. 科学学研究, 2018, 36(12): 2132-2135.
- [2] 张鹏, 于伟. 高校对区域创新效率的影响: 基于随机前沿生产函数的分析[J]. 教育与经济, 2013(6): 24-29.
- [3] 杜占元. 新时代新使命新作为 奋力谱写高校科技工作新篇章[J]. 中国高等教育, 2018(2): 14-17.
- [4] 中共中央 国务院印发《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》[EB/OL]. (2019-12-01) [2020-09-28]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-12/01/content_5457442.htm.

- [5] 曾刚,曹贤忠,王丰龙,等.长三角区域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.
- [6] 李宜江.长三角高等教育一体化高质量发展目标与行动路径[J].苏州大学学报(教育科学版) 2020 8(4):37-45.
- [7] COOPER W W, SEIFORD L M, ZHU J. Handbook on data envelopment analysis[M]. New York: Springer 2011:39.
- [8] ATHANASSOPOULOS A D, SHALE E. Assessing the comparative efficiency of higher education institutions in the UK by the means of data envelopment analysis[J]. Education economics 1997 5(2):117-134.
- [9] ABBOTT M, DOUCOLIAGOS C. The efficiency of Australian universities: a data envelopment analysis[J]. Economics of education review 2003 22(1):89-97.
- [10] DUAN S X. Measuring university efficiency an application of data envelopment analysis and strategic group analysis to Australian universities[J]. Benchmarking: an international journal 2019 26(4):1161-1173.
- [11] AGASISTI T, BELFIED C. Efficiency in the community college sector: stochastic frontier analysis[J]. Tertiary education and management 2017 23(3):237-259.
- [12] GUCCIO C, MARTORANA M F, MONACO L. Evaluating the impact of the Bologna process on the efficiency convergence of Italian universities: a non-parametric frontier approach[J]. Journal of productivity analysis 2016 45(3):275-298.
- [13] WANG C Y, CHENG Z, ZHAO S K. Analysis of input and output efficiency of university in China(2000—2015): based on the SBM of super-efficiency DEA model and global Malmquist index analysis[J]. Transformation in business & economics 2017 16(2B):656-672.
- [14] 周静,王立杰,石晓军.我国不同地区高校科技创新的制度效率与规模效率研究[J].研究与发展管理 2005 17(1):109-117.
- [15] 李瑛,高燕楠.我国高校科技创新效率的实证研究[J].求索 2011(1):177-179.
- [16] 张海燕,陈士俊,王梅,等.2002~2005年间我国不同地区高校科技创新效率比较研究[J].科技进步与对策, 2007(11):109-114.
- [17] 沈能,宫为天.我国省区高校科技创新效率评价实证分析:基于三阶段 DEA 模型[J].科研管理 2013 34(S1):125-132.
- [18] 王辉,陈敏.基于两阶段 DEA 模型的高校科技创新对区域创新绩效影响[J].经济地理 2020 40(8):27-35 42.
- [19] 张海波,郭大成,张海英.“双一流”背景下高校科技创新资源配置效率研究[J].北京理工大学学报(社会科学版) 2021 23(1):171-179.
- [20] 李璐.京津冀高校科技创新效率的实证研究:基于 DEA 分析的 SBM 模型和 Malmquist 生产率指数[J].教育学术月刊 2019(2):44-53.
- [21] 吴宏超,马聪颖.“一带一路”沿线省份高校科技创新效率及影响因素:基于 DEA-Malmquist-Tobit 模型的研究[J].重庆高教研究 2020 8(6):34-47.
- [22] 蔡文伯,赵志强.我国十大城市群高校科研效率及影响因素研究:基于 DEA-Malmquist-Tobit 模型[J].重庆高教研究 2021 9(4):30-42.
- [23] 王晓珍,蒋子浩,郑颖.高校创新效率动态演进分析及影响因素识别:基于非参数核密度估计和 SFA 模型[J].统计与信息论坛 2018 33(9):81-87.
- [24] 汪彦,陈悦,曹贤忠,等.上海高校科研创新效率与影响因素实证研究:基于 DEA-Tobit 模型[J].科技管理研究, 2018 38(8):100-109.
- [25] 林涛,吕寒.广东省高水平大学科技投入产出效率研究[J].高教探索 2018(3):31-36.
- [26] 李滋阳,李洪波,王海军,等.高校科技创新效率及影响因素探讨:基于随机前沿函数的分析[J].中国高校科技, 2020(9):30-34.
- [27] 宋维玮,邹蔚.湖北省高校科技创新效率评价研究[J].科研管理 2016 37(S1):257-263.
- [28] FARE R, GROSSKOPF S. Malmquist productivity indexes and Fisher ideal indexes[J]. The economic journal 1992, 102(410):158-160.
- [29] CLIFF A D, ORD J K. Spatial processes: models and applications[M]. London: Pion 1981:10-23.
- [30] 余继,闵维方,王家齐.大学创新能力与国家经济增长:基于 33 个国家数据的实证分析[J].北京大学教育评论, 2019 17(4):109-123 187.
- [31] 吴颖,崔玉平.长三角区域高等教育一体化的演进历程与动力机制[J].高等教育研究 2020 41(1):25-36.

- [32] 张金福.高校科技创新“孤岛现象”的源头治理[J].教育发展研究,2020,40(3):3.
- [33] BARRO R, SALA-I-MARTIN X. Convergence across states and regions [J]. *Brookings papers on economic activity*, 1991(1):107-182.
- [34] MANKIW N G, ROMER D, WEIL D N. A contribution to the empirics of economic growth [J]. *Quarterly journal of economics*, 1992, 107(2):407-437.
- [35] 刘兴凯,张诚.中国服务业全要素生产率增长及其收敛分析[J].数量经济技术经济研究,2010,27(3):55-67,95.
- [36] 滕堂伟,林蕙灵,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.
- [37] 杜育红,赵冉.教育在经济增长中的作用:要素积累、效率提升抑或资本互补? [J].教育研究,2018,39(5):27-35.

(编辑:张腾 校对:杨慷慨)

The Efficiency of Science and Technology Innovation in Colleges and Universities and Its Spatial-Temporal Evolution in the Yangtze River Delta: An Empirical Study Based on 41 Cities in Shanghai, Jiangsu, Zhejiang and Anhui

WU Ying¹, CUI Yuping²

(1. School of Educational Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;

2. School of Education, Soochow University, Suzhou 215123, China)

Abstract: It's of great significance to strengthen scientific and technological innovation of colleges and universities in the Yangtze River Delta for the construction of regional innovation system and the development of higher quality integration. Based on micro-panel data of 41 cities in the Yangtze River Delta from 2013 to 2017, the DEA-VRS model and the Malmquist index method were used to measure and evaluate scientific and technological innovation efficiency of universities in those cities, and ESDA and convergence test methods were used to explore the spatial-temporal pattern evolution characteristics. The study shows the following: the technological efficiency of science and technology innovation in colleges and universities in the Yangtze River Delta is relatively high, showing a continuous rise on the whole but a slow growth rate, which mainly due to the increase in scale efficiency, while the scale effect tends to decline. However, the annual growth rate of total factor productivity of scientific and technological innovation in colleges and universities declines slightly. In this sample period, the annual change fluctuates greatly, which is manifested as the decrease first and then the rise but the lack of staying power. The main factor was the lack of technological change and the lag behind the technical efficiency. The spatial agglomeration and dependence of science and technological innovation efficiency in colleges and universities in the Yangtze River Delta are generally weakening, and temporal difference tends to narrow, with significant σ -convergence and absolute β -convergence, indicating that efficiency of science and technology innovation in colleges and universities is evolving towards the pattern of regional integration. In the future, the attention should be paid to the scientific and technological innovation performance evaluation of colleges and universities based on the input-output relative efficiency evaluation logic; the technological progress should be improved and the colleges and universities in the Yangtze River Delta should be promoted to integrate the regional collaborative innovation system; going beyond the administrative boundary, the integrated development new pattern of colleges and universities' science and technology innovation efficiency should be established.

Key words: the Yangtze River Delta; efficiency of science and technology innovation; spatial-temporal evolution; innovation system