

山东省城市协同创新网络结构特征与创新效率研究

吴艳婷, 张书豪, 于海生

(鲁东大学 数学与统计科学学院, 山东 烟台 264039)

摘要: 分析城市创新效率有助于提升山东省城市创新能力。本文基于 Web of Science 数据库以及国家知识产权局等相关网站中的跨地区合作数据, 构建知识创新合作网络, 对山东省城市之间的论文和专利合作情况分别进行特征分析; 从投入产出的视角, 采用 SE-DEA 模型对山东省各城市的创新效率进行测度。结果表明: 济南市和青岛市在论文、专利方面合作紧密, 同时也对周边地区产生了明显的辐射效应, 处于核心位置; 各城市的创新效率在 2011—2020 年呈增长趋势, 经济相对发达的地区具有较高的创新投入和创新产出, 发展相对缓慢的城市的创新效率仍有待提高。

关键词: 论文合作; 专利合作; 网络结构特征; SE-DEA 模型; 创新效率

中图分类号: O213; F124 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2023)03-0217-08

在产业结构转型优化升级的大背景下, 创新是驱动经济发展和社会进步的关键动力, 也是实现区域经济持续稳定增长的核心要素。作为中国经济发展的重要支柱, 山东省需要加强城市之间的协同创新建设, 以推动创新型国家建设目标的实现。

近年来, 关于城市创新的相关研究中, 有关区域创新效率的研究已经取得了不少成果。在效率测度方法上, 很多研究采用基于参数的随机前沿分析(stochastic frontier analysis, SFA) 和基于非参数的数据包络分析(data envelopment analysis, DEA) 评估不同城市的创新效率。王锐淇等^[1] 采用 SFA 分析方法在估计区域技术创新能力影响变量的同时, 对我国区域技术创新效率进行了系统测度。许春花等^[2] 运用以投入为主导的 DEA 模型, 对山东省 2009—2013 年地级及以上城市的水资源利用相对效率进行评价分析。Fan 等^[3] 采用改进的 DEA 模型对 2003—2016 年中国城市创新效率进行测度, 表明区域内协同创新不仅提高了本地区域的创新效率, 而且有效地带动了其他区域的创新效率提升。对于城市群创新效率的研究, Zhao^[4] 采用 DEA 方法研究了大湾区城市的创新效率, 并比较了规模效率和技术效率的差异。盛彦文等^[5] 引入修正引力模型、社会网络分析方

法和 DEA 模型等, 探讨城市群的创新联系网络结构对创新效率的影响。徐林^[6] 基于投入产出视角构建长三角城市群创新投入与产出评价指标体系, 并利用 DEA 模型对其进行了效率测度, 发现长三角城市群的创新效率与这些城市 R&D 经费投入呈正相关性。孙振清等^[7] 基于 2005—2018 年地级市数据, 以京津冀、山东半岛、长三角和珠三角城市群为研究对象, 采用三阶段 DEA 方法测算四大城市群协同创新效率, 并分析其时空特征。此外, 很多国内外学者利用论文、专利合作等数据来刻画不同空间尺度下的创新联系网络。Liang 等^[8] 利用中国科学引文数据库的合作论文发现, 作者排名、合作和地理距离都是影响区域间创新协同发展的重要指标。Pan 等^[9] 基于 1985—2017 年中国 31 个省份之间的合作专利数据, 运用图论、空间统计方法和二次分配模型对区域间网络结构进行了研究。刘乃全等^[10] 主要采用地区之间论文和专利合作的数据, 以 R&D 人力投入和 R&D 经费投入为创新投入指标, 以经济效益产出和知识成果产出为创新产出指标, 构建区域科技协同创新评价指标体系, 分析长三角地区间科技协同创新时空演变特征。危怀安等^[11] 从科技创新与经济产出效率的角度切入, 运用 DEA 模型对武汉城市圈 9 个城市的科技创新和经济产出进行

收稿日期: 2023-02-12; 修回日期: 2023-04-20

基金项目: 山东省社会科学规划研究项目(21CSDJ21)

通信作者简介: 于海生(1978—), 男, 教授, 硕士研究生导师, 博士, 研究方向为经济与社会统计。E-mail: qingzhu_yu@163.com

测算,发现区域协同发展格局对城市群中心城市和其它成员城市的科技创新、经济产出均产生巨大影响。

本文在上述研究的基础上,使用数据挖掘的相关方法获取 Web of Science 数据库以及国家知识产权局等相关网站中的跨地区合作数据,对山东省地级及以上城市之间的论文及专利合作网络的特征结构进行分析,以探究城市间创新关联的空间结构及演化趋势;从投入产出的视角出发,进一步采用超效率数据包络分析(SE-DEA)模型对各城市2011—2020年的创新效率进行测度研究,以分析城市的创新能力。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

DEA 是一种非参数的效率评估方法,其基本思想是将多个输入变量和输出变量组合成一个效率值,通过比较不同决策单元(decision marking unit, DMU)之间的效率得出最优解决方案。

传统的 DEA 通常分为 CCR 模型和 BCC 模型,假设有 n 个 DMU,每一个 DMU 有 m 个输入变量和 s 个输出变量,则两个模型的计算公式如下:

$$\text{CCR 模型为: } \begin{cases} \min [\theta - \varepsilon(e_1^T s^- + e_2^T s^+)] , \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + s^- = \theta X_k , \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - s^+ = Y_k , \end{cases}$$

$$\text{BCC 模型为: } \begin{cases} \min [\theta - \varepsilon(e_1^T s^- + e_2^T s^+)] , \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + s^- = \theta X_k , \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - s^+ = Y_k , \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 , \end{cases}$$

其中: $X_j \in \mathbf{R}^m$ 表示第 j 个 DMU 的投入向量, $Y_j \in \mathbf{R}^s$ 表示第 j 个 DMU 的产出向量; $\lambda_j \geq 0$ 表示第 j 个 DMU 的权重; $s^- \geq 0, s^+ \geq 0$ 表示松弛变量; ε 表示非阿基米德无穷小,通常取 10^{-6} ; $e_1 = [1, 1, \dots, 1]^T \in \mathbf{R}^m$, $e_2 = [1, 1, \dots, 1]^T \in \mathbf{R}^s$; θ 表示效率值。

传统的 DEA 效率值分为小于 1 和等于 1 两种情况,认为效率值小于 1 的 DMU 为“非 DEA 有

效”效率值等于 1 的 DMU 为“DEA 有效”。实际上效率值等于 1 的 DMU 之间也是存在差别的,利用 SE-DEA 可对效率值为 1 的 DMU 进行排序并比较。SE-DEA 是在 DEA 的基础上发展而来的方法,其主要思想是在 DEA 的基础上引入超效率值,即在一个最优前沿面中找到一个相对最优的 DMU,该 DMU 的效率值高于最优前沿面上的其他点。SE-DEA 模型的一般形式为:

$$\begin{cases} \min [\theta - \varepsilon(e_1^T s^- + e_2^T s^+)] , \\ \text{s. t. } \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \lambda_j X_j + s^- = \theta X_k , \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n \lambda_j Y_j - s^+ = Y_k . \end{cases}$$

1.2 研究范围与数据来源

合作论文数据来源于 Web of Science 数据库,选取时间范围为 2001—2020 年。对山东省 16 个地级及以上城市进行两两检索,利用爬虫工具获取城市节点间的合作论文数量。山东省地级及以上城市为济南市、青岛市、淄博市、枣庄市、东营市、烟台市、潍坊市、济宁市、泰安市、威海市、日照市、滨州市、德州市、聊城市、临沂市、菏泽市。

合作专利数据来源于国家知识产权局的专利信息服务平台,在高级检索中对专利地址进行检索,运用爬虫工具获取 2001—2020 年山东省 16 个地级及以上城市的专利信息。由于许多企业、单位在命名上并不带有城市信息,因此需借助天眼查等企业查询网站与其他地址进行匹配,多位专利申请人地址不在同一个城市的情况可认定为跨区域专利合作。

需要指出的是,自 2019 年起,国务院批复同意将莱芜市所辖区域划归济南市管辖,故本文将 2019 年之前莱芜市的相关数据合并至济南市。

2 实证分析

2.1 论文合作网络特征分析

2001—2020 年,山东省城市间论文合作在数量上存在明显差异,具体合作数量如图 1 所示。由图 1 可见:济南和青岛作为山东省的龙头城市,在论文合作中处于核心位置,具有引领作用,同时也对周边地区产生了明显的辐射效应,带动了其

他城市创新能力的快速发展;青岛—烟台、济南—烟台的合作数量表现也较为突出,但与青岛—济南的论文合作数量差距较大。究其原因:济南和青岛经济和工业基础好,在高新技术产业领域有大量的企事业单位提供科研实验平台,为知识产

出与知识合作助力,并且济南和青岛拥有全省最多的高校及科研院所,具有良好的技术储备、资金支持以及人才供应;对于鲁西南地区的城市来说,由于缺少高校的支持和人才的供应,论文合作数量相对较少。

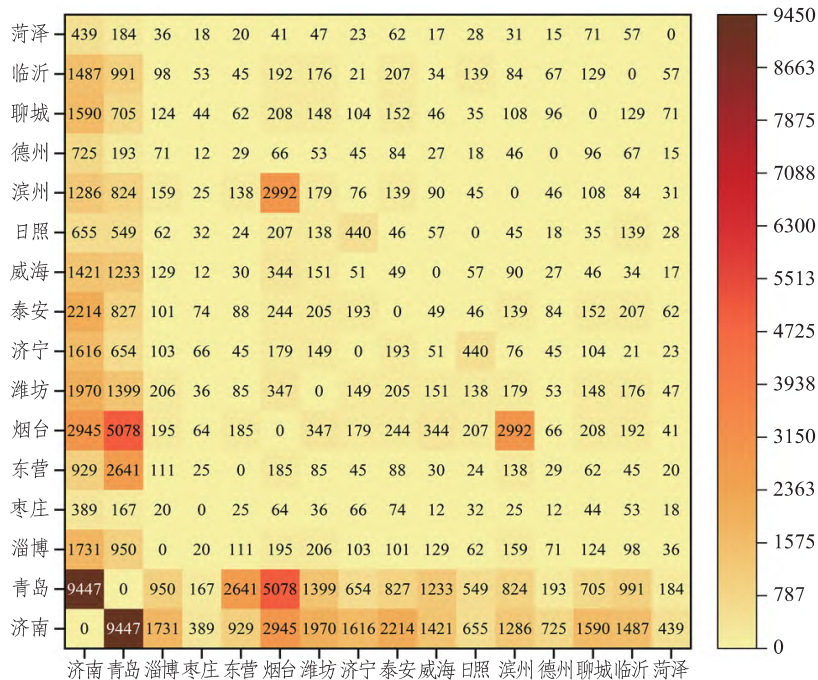
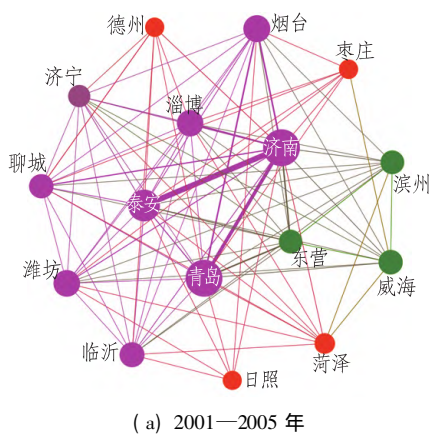


图1 2001—2020年城市间论文合作数量

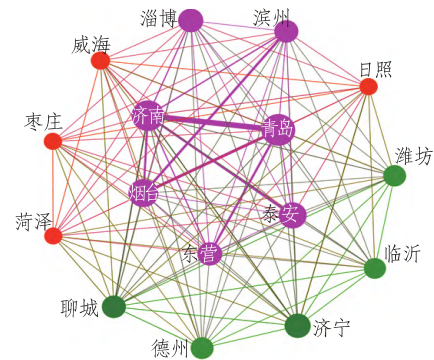
Fig. 1 Number of paper cooperation between cities from 2001 to 2020

为了分析不同时间段内城市间的论文合作网络结构,将2001—2020年的论文合作数据构建成合作网络矩阵,以5 a为时间间隔进行可视化呈现,结果如图2所示。

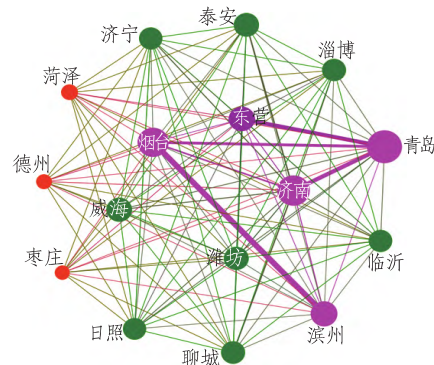
如图2(a)所示,2001—2005年,山东省各城市间的论文合作网络整体较为松散,除济南、青岛和泰安之外,大部分城市处于网络边缘位置。



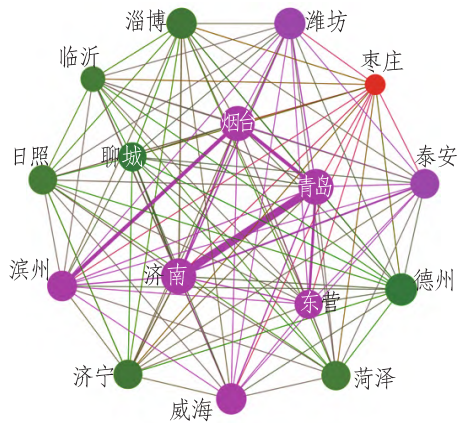
(a) 2001—2005年



(b) 2006—2010年



(c) 2011—2015年



(d) 2016—2020 年

图 2 2001—2020 年城市间论文合作网络

Fig. 2 Paper cooperation networks between cities from 2001 to 2020

2006—2010 年(图 2(b)),山东省各城市间论文合作强度逐渐增加,合作关网络越来越紧密,济南、青岛依然保持着与省内多数城市的合作状态。值得关注的是,烟台在论文合作网络中异军突起,并产生了比较固定的合作伙伴,成为核心节点之一。

2011—2015 年(图 2(c)),山东省的论文合作网络聚集程度稳步上升,各城市与固定合作伙伴城市之间的合作越来越多,大部分城市都积极

地加入到合作中。明显看出,烟台—滨州、青岛—东营和青岛—济南合作关系最为密切。

2016—2020 年(图 2(d)),山东省论文合作网络呈现一个爆发式的增长,不同节点之间的高频合作使整个网络密度显著增加;济南和青岛以广泛的合作群和极高的论文量在众多城市中脱颖而出,一跃成为山东省科研核心城市,在提高知识产出效率的同时,对创新合作网络中处于边缘地位的城市也产生了带动作用,促进了区域间的协同创新。

整体来看,各城市的论文合作对象都比较多,几乎两两之间都有合作历史。济南、青岛和烟台是山东省 3 个最为重要的城市节点,相比之下,青岛和济南之间的科研合作更为密切。

2.2 专利合作网络特征分析

近年来,山东省在知识产权保护和专利合作方面取得了巨大的进展。一方面,山东省政府积极推动专利法律制度的完善和知识产权的保护,加大了对高新技术企业和创新型企业的支持力度;另一方面,山东省相关机构积极开展专利信息检索和专利分析等工作,为企业和科研机构提供了强有力的支持。2001—2020 年山东省城市间专利合作数量见图 3。



图 3 2001—2020 年城市间专利合作数量

Fig. 3 Number of patent cooperation between cities from 2001 to 2020

由图3可见:济南和青岛分别作为山东省的省会和经济中心城市,具有较强的科技创新能力和知识产权意识,两城市间的专利合作最为密切,且与其他城市均存在合作状态;发展相对缓慢的城市的专利合作数量较少,如枣庄、滨州、日照、东营、菏泽等城市的专利申请和授权数量相对较少,且存在合作不足的情况。分析原因,这可能与这些城市的科技创新和知识产权保护水平较低有关,也可能与这些城市之间的经济联系和科技合作较少有关。

为更加清晰地了解专利合作的社会网络关系,以5a为时间间隔,对2001—2020年城市间专利合作数据所构建的合作网络结构进行可视化呈现,结果如图4所示。

如图4(a)所示,山东省2001—2005年各城市间的专利合作相对匮乏,整个省的专利申请和授权数量较少,总体上处于低水平,城市间的专利合作仅形成了一个稀疏的关联网络。其中,济南、青岛、烟台等城市之间的合作相对比较密切,其他城市之间的合作较少,甚至枣庄、滨州、日照等城市没有出现合作现象,处于网络边缘位置。

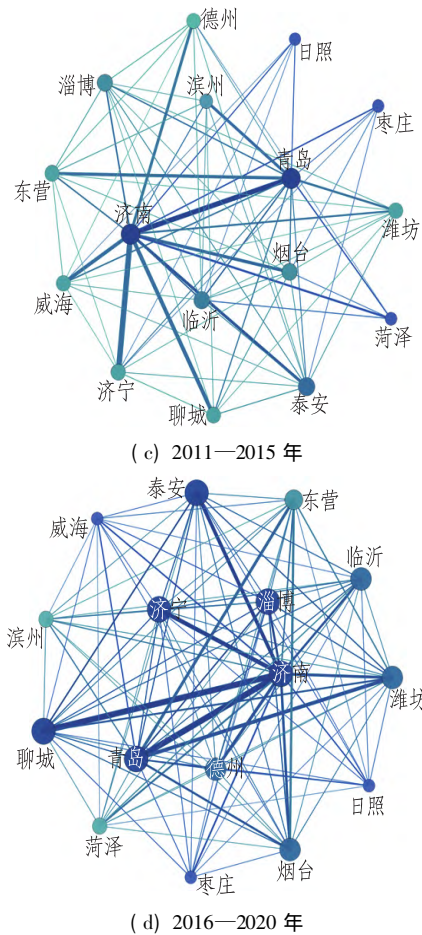
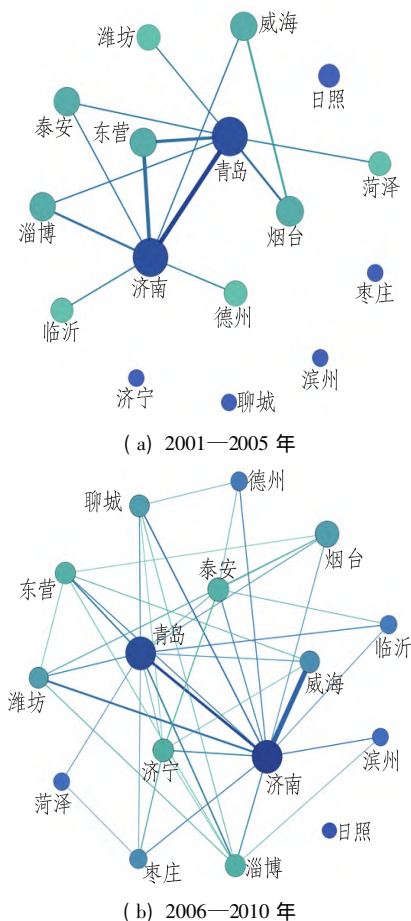


图4 2001—2020年城市间专利合作网络
Fig. 4 Patent cooperation networks between cities from 2001 to 2020

综合图4(b)、(c) 2006—2015年,山东省专利合作网络聚集程度呈稳步上升趋势,济南、青岛、烟台等城市之间的合作更为广泛和紧密,其他城市之间的合作也有了一定程度的增加,说明整个省份的专利申请和授权数量进一步提升。

由图4(d)所示:2016—2020年,网络中出现了越来越多的重要节点,专利合作呈现爆发式增长,各城市之间的合作持续加强,网络密度和强度都有明显的提升;除了青岛和济南以外,泰安、聊城、淄博、济宁等城市也形成了自己的关联网络,具备了一定的区域影响力。

综合以上分析,2001—2020年,随着创新技术的不断发展和政策的有力支持,山东省的专利合作完成了一个由少到多的转变。山东省各个城市之间的专利合作越来越紧密,合作的频率有明显的上升趋势,截至2020年,省内已经形成一个完整的网络,可以畅通无阻地进行专利合作交流。从城市节点来看:济南、青岛两地的辐射力和吸引

力不断增强,逐步成为区域专利合作的核心节点;枣庄、滨州、日照3个城市较菏泽和东营而言,处于网络更为边缘的位置,对外专利合作数量少。未来,山东省应进一步优化知识产权保护政策,加强科技创新能力,促进各城市之间的合作与发展,推动专利合作进入更高水平。

2.3 城市创新效率测度

城市创新效率具有重要内涵,与论文、专利等直接产出指标相比,创新效率是衡量创新关联效

果更准确的指标,更能反映各地区创新资源配置能力的强弱。因此,在分析城市间论文合作和专利合作网络特征的基础上,以各城市的R&D经费总支出、R&D人员折合全时当量和R&D活动单位数作为创新投入指标,将城市之间的论文及专利合作相关数据作为创新关联的产出指标,运用SE-DEA模型对山东省各城市的创新效率进行测度。表1为2011—2020年山东省各城市的创新效率,下面分别从时间维度和城市维度分析表1。

表1 2011—2020年城市创新效率计算结果

Tab. 1 Calculation results of urban innovation efficiency from 2011 to 2020

城市	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
济南	0.731 2	0.803 1	0.935 0	1.013 8	1.043 9	1.110 8	1.181 5	1.242 7	1.351 4	1.582 1
青岛	0.777 4	0.654 5	0.638 8	0.723 7	0.954 3	0.851 3	0.970 7	1.239 9	1.180 5	1.375 9
淄博	0.299 6	0.301 4	0.397 7	0.402 3	0.459 6	0.431 2	0.499 3	0.562 2	0.652 1	0.685 1
枣庄	0.248 9	0.221 2	0.310 2	0.284 1	0.385 7	0.334 5	0.419 0	0.434 1	0.632 4	0.581 8
东营	0.408 2	0.397 4	0.406 9	0.459 2	0.648 6	0.800 2	0.701 7	0.734 7	1.008 7	1.179 0
烟台	0.534 2	0.582 0	0.512 4	0.671 2	0.798 7	0.646 7	0.934 8	1.028 4	1.144 2	1.197 4
潍坊	0.398 2	0.337 8	0.406 3	0.342 7	0.544 9	0.507 4	0.508 9	0.738 0	0.733 6	1.126 8
济宁	0.324 1	0.371 5	0.371 6	0.416 5	0.478 3	0.438 9	0.439 7	0.643 8	0.608 3	0.675 1
泰安	0.396 7	0.464 1	0.447 9	0.549 0	0.612 2	0.445 9	0.556 0	0.791 8	1.021 9	0.925 5
威海	0.351 3	0.312 1	0.366 7	0.320 7	0.422 0	0.405 9	0.513 5	0.602 4	0.705 9	0.706 5
日照	0.283 8	0.286 1	0.304 9	0.405 8	0.312 4	0.305 8	0.417 7	0.414 5	0.610 5	0.655 8
滨州	0.317 5	0.324 8	0.400 5	0.337 3	0.411 9	0.541 7	0.502 8	0.691 2	0.736 5	0.823 7
德州	0.274 5	0.275 9	0.231 1	0.282 0	0.330 6	0.341 0	0.381 1	0.474 8	0.651 7	0.613 9
聊城	0.462 0	0.371 6	0.428 6	0.520 6	0.586 6	0.617 6	0.682 2	1.018 9	0.832 4	1.040 2
临沂	0.242 3	0.270 1	0.335 8	0.322 5	0.282 8	0.365 9	0.419 5	0.552 6	0.522 8	0.603 7
菏泽	0.230 1	0.238 7	0.299 1	0.322 0	0.257 5	0.269 4	0.379 0	0.391 2	0.447 8	0.530 7

从时间维度来看,山东省各城市在2011—2020年的城市创新关联总体呈现波动增长的趋势。在2011年,大多数城市的创新效率在0.4以下,创新效率最高的城市仅达到了0.777 4,创新效率较低,城市间的协同创新相对较少;2011—2015年,各城市创新效率增长,但增势较缓,且有震荡现象,波动原因可能是城市在创新合作领域存在一些短期的挑战和问题;2016—2020年,城市的创新效率增势变快,且震荡减少,截至2020年,创新效率最高可达到1.582 1,相较于2011年来说,排名比较靠后的城市创新效率也有所提升。

从城市维度来看,山东省各城市的创新效率水平存在差异。2011—2020年,济南、青岛、烟台

的创新效率基本位于山东省前列,可以看出这3个城市具有较强的自身创新能力和协同创新能力;而枣庄、临沂、菏泽排名比较靠后,需要进一步改善和提高创新能力,加强知识产权保护和创新合作。

为进一步展示创新效率的变动情况,对2011、2015和2020年各城市创新效率进行可视化呈现,具体如图5所示。总体来看,山东省16个地级及以上城市创新效率随时间呈上升趋势,空间集聚特征也愈加明显。在2011、2015和2020年,与济南紧邻的地区和胶东半岛地区的创新效率高于山东省其他地区。这些城市不仅在创新投入总量上具有优势,还具备较高的创新产出,

- regional research collaboration: regional scientific productivity and geographical proximity [J]. *Scientometrics*, 2002, 55(2): 287–316.
- [9] PAN X F, PAN X Y, AI B W. Structural heterogeneity and proximity mechanism of China's inter-regional innovation cooperation network [J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2020, 32(9): 1066–1081.
- [10] 刘乃全, 杨晓章. 长三角区域科技协同创新发展研究: 基于区域间论文和专利合作 [J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 55(5): 767–779.
- [11] 危怀安, 平霁. 区域协同视角下城市群科技创新与经济产出效率时空分异研究: 以武汉城市圈为例 [J]. *科技进步与对策*, 2019, 36(11): 40–45.

Structural Characteristics and Innovation Efficiency of Urban Collaborative Innovation Network in Shandong Province

WU Yanting, ZHANG Shuhao, YU Haisheng

(School of Mathematics and Statistics Science, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: The analysis of urban innovation efficiency is helpful to improve the urban innovation ability of Shandong Province. Based on the Web of Science database and the cross-regional cooperation data from China National Intellectual Property Administration and other relevant websites, a knowledge innovation cooperation network was built, and the paper and patent cooperation situations among cities in Shandong Province were respectively analyzed for their characteristics. From the perspective of input-output, SE-DEA model was used to measure the innovation efficiency of cities in Shandong Province. The results are shown as follows. Jinan and Qingdao which are in the core position, cooperate closely in papers and patents, and produce obvious radiation effects on the surrounding areas. The innovation efficiency of cities is shown in an increasing trend from 2011 to 2020, and relatively developed regions have higher innovation input and output, while the innovation efficiency of cities with relatively slow development still needs to be improved.

Keywords: paper cooperation; patent cooperation; characteristics of network structure; SE-DEA model; innovation efficiency

(责任编辑 顾建忠)