

长三角城市群协同创新网络对协同创新绩效的影响研究

王海花¹ 孙 芹² 杜 梅³ 周 洁¹

- (1. 上海大学 管理学院, 上海 200444;
2. 山东大学 管理学院, 山东 济南 250100;
3. 同济大学 上海国际知识产权学院, 上海 200092)

摘要: 本文以2009—2018年长三角城市群产学研联合申请专利为研究数据,将城市所嵌入的知识网络和城市间合作网络纳入同一个框架中,构建依存型多层网络并进行实证分析,结果表明:体现知识网络属性的知识多样性和知识组合机会均对城市协同创新绩效具有显著的正向影响;合作网络中心度正向调节知识网络属性对城市协同创新绩效的影响,合作网络结构洞负向调节知识网络属性对城市协同创新绩效的影响;合作网络密度强化了网络中心度和结构洞在知识网络属性与协同创新绩效间的调节效应;合作网络中心势强化了网络中心度在知识网络属性与协同创新绩效间的调节效应。因此,政府应该通过整合创新资源,建立长效合作机制和提高城市群连通性等措施,以推动城市群高质量协同创新。

关键词: 城市群协同创新; 依存型多层网络; 知识网络; 合作网络

中图分类号: F207

文献标识码: A

0 引言

随着我国“创新驱动发展战略”的实施,城市群协同创新受到学术界的广泛关注。协同创新是指在创新系统内各类创新要素的整合以及创新资源的无障碍流动^[1]。区域协同创新是区域内企业、高校和科研机构等创新主体在生产、配置资源和知识过程中的复杂交互作用^[2]。城市群协同创新系统作为以城市为载体的跨区域创新系统^[3],是通过不同创新子系统及系统内部各要素(知识、技术、信息等)的交互作用,形成的以企业、高校和科研机构等为创新主体的有序集合。城市网络联系是在城市体

系内长距离、大跨度的联系^[4],彼此贯通的高等级交互网络可以有效推动城市间创新要素流动和知识溢出,促进协同创新活动^[5]。由此可见,城市群协同创新的过程是一个多元创新主体(企业、高校和科研机构等)参与的、以城市为载体通过城际关系互动形成的一种具有空间根植性的动态学习过程^[6]。通过建立以城市群为载体的多边协同创新网络可以实现区域内创新要素的良好协同,提高协同创新绩效^[7]。

关于城市群协同创新绩效影响因素的相关研究主要从两个角度展开。一方面从知识型人力资本、资本开放水平等城市属性特征^[8]出发进行研究,但忽视了城市在社会网络中的位置、联结和网络结构^[9]的影响。另一方面

收稿日期: 2020-07-27; 修回日期: 2021-01-04。

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目“基于ERGM的产学研协同创新网络形成与演化机制: 依存型多层网络视角”(19YJA630076, 2019.01—2021.12); 教育部哲学社会科学重大课题攻关项目“创新驱动发展战略的顶层设计与战略重点”(15JZD017, 2015.01—2020.12); 上海市2020年度“科技创新行动计划”软科学重点项目“创新券支撑长三角区域科技创新一体化研究: 典型案例与政策建议”(20692109000, 2020.07—2021.07)。

作者简介: 王海花(1983—),女(汉),上海大学管理学院副教授,管理学博士,硕士生导师,研究方向: 产学研协同创新、创新与知识管理。

孙 芹(1995—),女(汉),山东大学博士研究生,研究方向: 创新创业与战略管理、创新与知识管理。

杜 梅(1995—),女(汉),同济大学博士研究生,研究方向: 创新与知识管理。

周 洁(1996—),女(汉),上海大学硕士研究生,研究方向: 创新与知识管理。

通信作者: 孙芹

从合作网络特征^[10]切入展开分析,但未讨论知识资源组合和流动的影响^[11]。实际上,城市所嵌入的合作网络位置、城市所拥有的知识元素组合特征以及城市资源属性均会影响城市间的知识流动和创新产出。作为我国创新能力最强的区域之一^①,长三角城市群协同发展一直是学者们研究的热点。《长三角地区一体化发展三年行动计划(2018—2020)》中明确指出到2020年,要基本形成世界级城市群框架、创新引领的区域产业体系和协同创新体系,长三角城市群在推动实施国家创新战略过程中的地位不言而喻。此外,2019年长三角一体化发展上升为国家战略,这为长三角城市群协同创新发展带来新的挑战 and 机遇。因此,以长三角城市群为例研究城市群协同创新网络及其对创新绩效的影响具有重要的研究意义。

本文基于依存型多层网络视角,将城市所嵌入的知识网络和城市间合作网络纳入同一个框架中构建城市群协同创新网络,探究其对长三角城市群协同创新绩效的综合

影响,揭示多层网络的作用路径和影响机制。以期拓展多层社会网络的相关研究,同时为城市群协同创新绩效的提升提供有价值的实践启示。

1 研究设计

1.1 网络构建

联合申请专利数据能够反映社会网络中相关节点基于创新活动进行的合作关系^[12],已经成为协同创新研究领域使用最为广泛的数据^[10]。本文基于2009—2018年长三角城市群各城市联合申请专利数据构建依存型多层社会网络(图1)。其中,以长三角城市群41座城市及其拥有的知识元素(专利IPC分类号前4位^[13])为节点,以知识元素同时出现在同一条专利中的组合关系为联结构建知识网络;以城市为节点,以城市间联合申请专利的合作关系为联结构建合作网络。

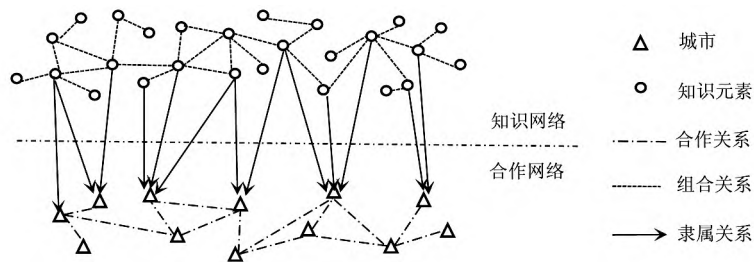


图1 长三角城市群协同创新依存型多层网络示意图

Figure 1 Schematic diagram of interdependent multi-layer network for Yangtze River Delta urban agglomeration collaborative innovation

1.2 研究假设

1.2.1 知识网络属性对协同创新绩效的影响

创新主体的创新能力主要由知识创新能力所体现^[14]。知识创造本质上是一个社会过程,新知识是通过现有知识的不断重组而产生的^[11]。知识网络中的知识结构特性意味着过去创新中知识元素之间的相互作用所产生的多样性、组合机会等^[15],这些特性已被证实会影响创新主体的创新结果^[16]。知识多样性是指创新主体拥有的知识要素的丰富程度,创新主体的知识分布在不同的领域,因而具有不同专长和知识技能^[17]。相较于拥有狭窄知识元素的创新主体,拥有广泛知识元素的创新主体思想更开放,能够更好地与不同领域的知识进行联系,并有效地实现知识重组^[18]。在城市群协同创新网络中,知识多样性意味着该城市拥有广泛领域的知识,有利于其建立与外部知识库的联系,有效地进行知识搜索和重组,从而实现更高水平的创新绩效。知识组合机会是指知识元素与其他知识元素的重组机会^[19]。知识网络中位于结构洞位置的知识元素提供了尚未被开发的重组机会,因而拥有高

知识组合机会的创新主体更有可能利用其现有知识进行创新^[15]。城市拥有高知识组合机会意味着其占据控制信息和知识流动的优势,与其进行组合的知识元素相应更多,进而有利于提高协同创新产出。由此,本文提出假设:

H1a: 知识多样性对协同创新绩效具有显著的正向影响;

H1b: 知识组合机会对协同创新绩效具有显著的正向影响。

1.2.2 合作网络位置的调节作用

城市群协同创新网络中的合作网络和知识网络是解耦的,二者共同影响协同创新产出结果^[20]。在合作网络中,具有不同自我中心网络结构属性的创新主体有不同的机会获得创新活动所必需的新知识,因此,合作网络的位置属性与创新主体的创新绩效有着密切的关系。其中,中心度和结构洞是社会网络研究中网络位置的两个特征指标^[21]。

中心度是指网络中的某一个节点在该网络中处于核心地位的程度^[22]。中心度可以反映一个节点获取或控制

注:① 引自2019年中共中央、国务院印发《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》。

资源的程度和方式,该节点的中心度越高,与其维持直接关系的其他节点数量就越多^[23],继而在利用、整合和共享知识和技能等异质性资源方面更具优势。因此,相较于处于网络边缘位置的主体,居于网络中心位置的创新主体掌握更多的知识和信息,有更多机会发现并接近具有开发机会的知识元素,从而进行知识重组^[24],进而将其转化为创新绩效。在城市群协同创新网络中,当一个城市处于中心位置时,该城市将获得更多获取、利用和重组知识资源的机会,从而提高创新产出。由此,本文提出假设:

H2a: 合作网络中心度在知识多样性与协同创新绩效间起到正向调节作用;

H2b: 合作网络中心度在知识组合机会与协同创新绩效间起到正向调节作用。

结构洞是指网络中不存在联结的节点间的空隙^[25],用来衡量网络中节点之间的非冗余联系^[21]。在网络中,占据结构洞位置的创新主体在没有直接联结的另外两个创新主体之间充当着知识和信息控制“枢纽”的角色^[26]。占据结构洞位置的创新主体可以获得更多的非冗余信息,并在节点之间充当沟通的桥梁^[25]。但是,结构洞的存在也表明部分创新主体之间缺少联系,意味着网络密度较低,从而限制创新主体从外界获取知识,妨碍主体间的知识协调^[27]。同时,结构洞位置也给组织带来了创新成本,包括从其他领域获取非冗余知识并对其进行加工、整合和吸收所付出的时间和精力^[28]。此外,过多的结构洞不利于节点间知识共享惯例的形成,增加节点的机会主义行为,阻碍节点间信任形成^[27]。在城市群协同创新网络中,占据过多的结构洞位置会降低城市对新知识的识别能力,阻碍其对多样性知识的获取和利用,从而影响其协同创新绩效。由此,本文提出假设:

H3a: 合作网络结构洞在知识多样性与协同创新绩效间起到负向调节作用;

H3b: 合作网络结构洞在知识组合机会与协同创新绩效间起到负向调节作用。

1.2.3 合作网络结构的三阶调节作用

互动理论认为创新活动发生在特定社会环境中,环境因素会加强或削弱创新主体独立变量和因变量之间的关系^[9]。探究城市群协同创新绩效的影响因素,需要考虑城市所处协同创新网络的整体结构特征,网络密度和网络中心势^[22]为网络主体展开创新活动提供了外部环境。

网络密度是指在网络中各节点之间的联系紧密程度^[22]。网络密度越高,越有利于提高节点之间的凝聚力和知识流动的效率,进而推动知识的转移和吸收^[29]。网络密度与网络位置存在一定关联,即当创新主体所处的网络密度较高时,节点间存在较高连通性和传输效率,这有助于加速创新要素的流动,进而提高中心位置节点对多领

域知识的整合和吸收^[30]。此外,在高密度网络中,节点之间存在大量的直接联系,这降低了网络中的异质性知识和资源,削弱了结构洞位置节点获取和控制信息的优势^[31]。在城市群协同创新网络中,网络位置的作用受到网络密度的影响,高密度网络结构的高连通性使得处于网络中心地位的城市能够减少从外界获取知识资源的成本,更有效地重组和使用现有知识资源、探索未被开发的知识领域,从而有助于参与协同创新;而高网络密度布局会加剧城市间协同创新的路径依赖,不利于新的合作关系的建立,这会加强网络结构洞位置带来的知识转移阻力,不利于多样化知识的跨主体、跨城市转移、重组和利用,可见高网络密度结构会使得网络中过多结构洞的负向影响更加突出,阻碍城市协同创新产出。由此,本文提出假设:

H4a: 网络密度强化了合作网络中心度在知识多样性与协同创新绩效间的正向调节作用。

H4b: 网络密度强化了合作网络中心度在知识组合机会与协同创新绩效间的正向调节作用。

H4c: 网络密度强化了合作网络结构洞在知识多样性与协同创新绩效间的负向调节作用。

H4d: 网络密度强化了合作网络结构洞在知识组合机会与协同创新绩效间的负向调节作用。

网络中心势是指整个网络的集中趋势。网络中心势越高表明网络呈现出更不均匀的“核心-边缘”布局^[32],部分节点之间存在更多的联结,从而占据网络中获取、整合和利用知识的优势地位。适宜的中心势网络结构不仅有利于网络内部建立适度的创新秩序、提高网络节点的创新效率,而且有助于节点能够以更短的路径、更少的时间及更低的成本获取不同领域的知识^[33]。当城市群协同创新网络具备高中心势特征时,处于合作网络中心位置的城市在强联系布局下更容易识别和获取不同领域的、未开发的知识,通过加速知识资源的流动参与城市群协同创新。然而,“核心-边缘”网络结构布局也意味着网络资源集中在小部分城市主体手中,这种资源配置强化了结构洞位置主体因过高的资源控制优势而带来的高创新成本和两边主体间信任问题,从而不利于城市协同创新产出。由此,本文提出假设:

H5a: 网络中心势强化了合作网络中心度在知识多样性与协同创新绩效间的正向调节作用。

H5b: 网络中心势强化了合作网络中心度在知识组合机会与协同创新绩效间的正向调节作用。

H5c: 网络中心势强化了合作网络结构洞在知识多样性与协同创新绩效间的负向调节作用。

H5d: 网络中心势强化了合作网络结构洞在知识组合机会与协同创新绩效间的负向调节作用。

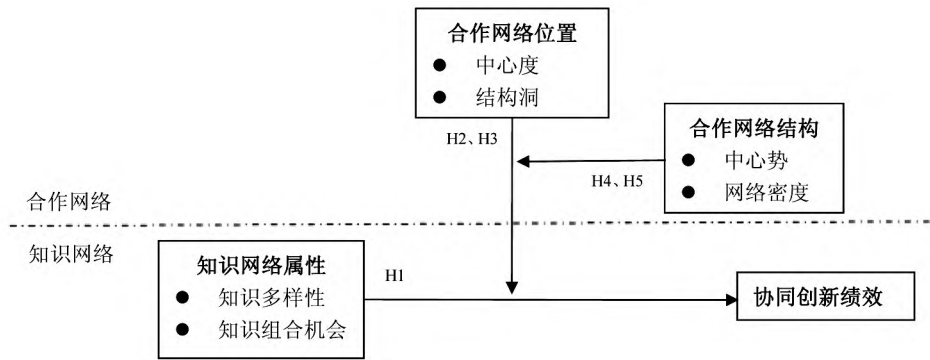


图 2 概念模型
Figure 2 Conceptual model

1.3 研究数据与变量测量

1.3.1 数据收集

本文以 2009—2018 年长三角城市群产学研联合申请专利为研究数据。在国家知识产权局专利检索及分析网站以隶属于长三角城市群 41 座城市的 139 所本科院校为检索点 检索并下载共 488 658 条发明专利数据 ,剔除不符合要求专利数据(如包括长三角城市群外申请主体等)

后得到专利数据 14 849 条 ,专利的年份 - 省份分布情况如图 3 所示 ,城市群内各城市联合申请专利数量呈现上升趋势 ,但是总量差异较大。其中 ,南京、上海、苏州、杭州和南通的一直居于前列 ,同时增长速度明显快于宿州、池州和丽水等城市。可见 ,长三角城市群协同创新呈现总体持续提升但存在城市间发展不平衡的情况。

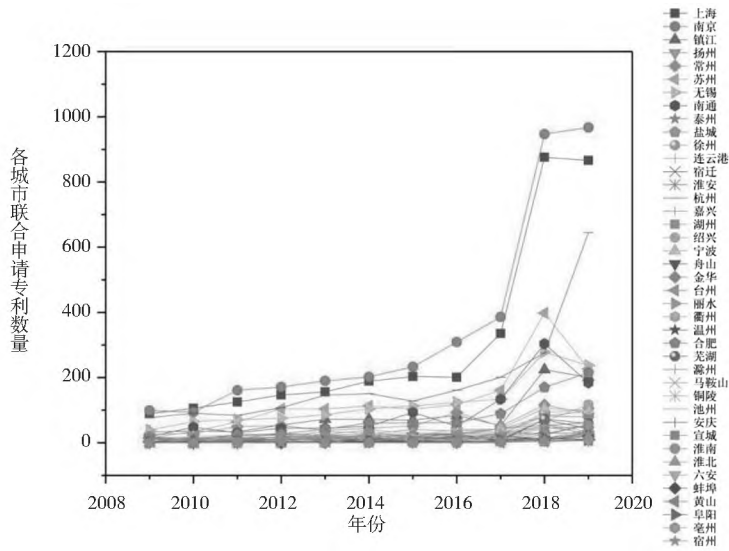


图 3 长三角城市群内产学研联合申请专利情况
Figure 3 Joint application of patents by the enterprises , universities and research institutes in the Yangtze River Delta urban agglomeration

本文利用以上专利样本作进一步数据处理 ,针对同一条专利的申请人的地域分布进行拆分并统计城市间合作关系与知识元素间组合关系以实现三角城市群协同创新网络构建。具体规则为若存在某条 2009 年申请的发明专利 ,其申请人所在城市分别为 A、B 和 C ,则城市 A 与 B 之间存在合作关系 ,A 和 C 之间存在合作关系 ,B 和 C 之间存在合作关系;若该专利的 IPC 分类号分别为 a、b 和 c ,则

知识元素 a 和 b 之间存在组合关系 ,知识元素 a 和 c 之间存在组合关系 ,知识元素 b 和 c 之间存在组合关系^[1]。

为更直观地观察长三角城市群协同创新网络 ,采用 GEPHI 软件将其可视化 ,以 2009 年和 2018 年为例(图 4) 进行展示。其中 ,网络中城市节点的大小表示与该城市节点存在合作关系的其他城市的数量;连线粗细代表两城市节点之间的合作频次。由图 4 可见 ,相较于 2009 年 ,2018

年长三角城市群协同创新网络密度明显提高, 这意味着各城市间基于协同创新的合作关系更加密切; 同时网络核心城市增多, 由上海、南京和杭州三个核心城市发展为上海、

南京、杭州和合肥等多核心城市的格局, 表明城市群创新活力得到明显提升。

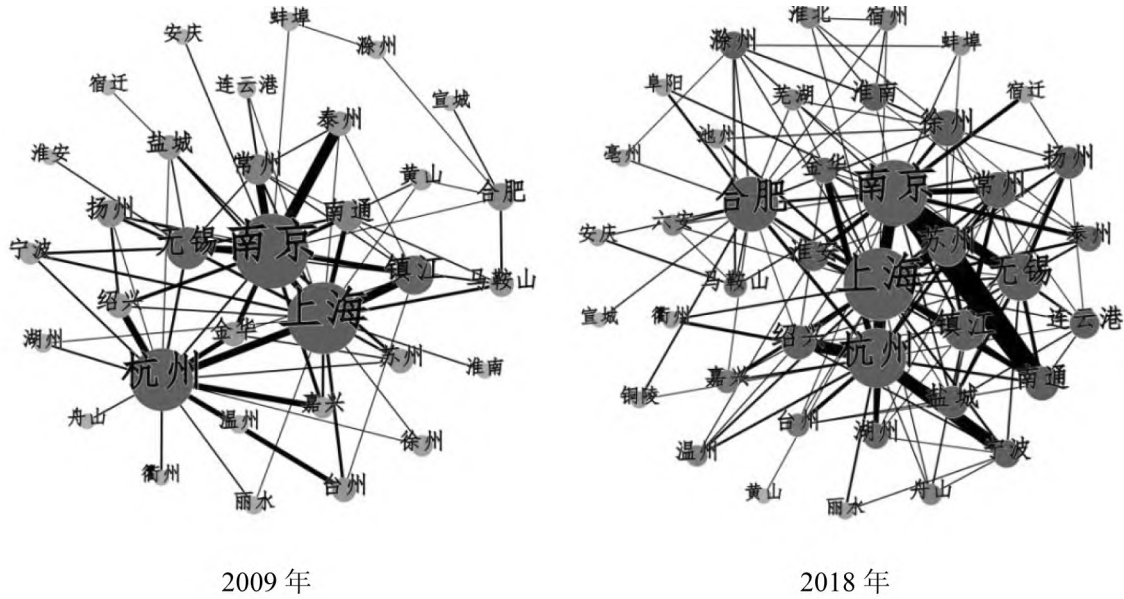


图4 长三角城市群协同创新网络图

Figure 4 Schematic diagram of the collaborative innovation network in Yangtze River Delta urban agglomeration

1.3.2 变量测量

本文因变量为各城市协同创新绩效, 因为专利促进了更多的创新并已成为衡量创新产出的常用标准^[9], 而且创新是一个不确定的过程, 故本文使用三年的时间窗来获得一个平均创新产出指标^[34], 即用三年内某城市与城市群内其他城市联合申请专利数量的均值进行测量, 如: 2010年上海市协同创新绩效是指2009年、2010年和2011年上海市与长三角城市群内其他城市联合申请专利数量的均值, 记为P, 计算公式为 $P_i = (P_{i-1} + P_i + P_{i+1}) / 3$ 。自变量中知识多样性(KD)和知识组合机会(KO)分别以某

城市所拥有的知识元素个数和某城市所拥有的知识元素结构洞效率之和进行测量^[19]。调节变量中合作网络中心度(BD)和结构洞(Hole)分别以中间中心度取对数以及结构洞限制度进行衡量^[22]。三阶调节变量中网络密度(DE)和中心势(CP)分别采用整体密度和中间中心势进行衡量^[22]。具体测量指标及公式见表1, 其中n表示合作网络节点数量, m表示合作网络中存在的直接联系实际数量, i、j、q表示城市节点, g分别表示节点间的捷径条数, k表示知识网络节点数量, r表示知识元素节点, z表示知识元素的结构洞数量。

表1 变量测量公式

Table 1 Formulae for measurement of variables

变量	测量公式	变量	测量公式
知识多样性	$KD = \sum_r x_{ir}$	结构洞	$Hole = (p_{ij} + \sum_q p_{iq} p_{qj})^2$
知识组合机会	$KO = \frac{\sum_{r=1}^k \sum_r z_{ir}}{k}$	密度	$Density = \frac{2m}{n(n-1)}$
中心度	$C_{ABi} = \sum_j \sum_k b_{jk}(i)$ 其中 $b_{jk}(i) = g_{jk}(i) / g_{jk}$	中心势	$CP = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ABmax} - C_{ABi})}{n^3 - 4n^2 + 5n - 2}$

以往研究指出创新绩效会受到经济实力^[10]、科研能力^[35]、市场化水平^[36]和制度优势^[37]等因素的影响,因此本文将城市人均生产总值(GDP)、城市研发投入(R&D)、高校专任教师数量(Teacher)、区域市场化指标(MKT)、是否为省会城市或直辖市(Capital)和是否纳入长三角城市群发展规划(Membership)作为控制变量。Capital和Membership为虚拟变量,当满足要求时值为1,否则为0。其中MKT变量借鉴王小鲁等^[38]编制的中国分省份市场化指数;Membership变量参考历年国务院出台的发展规划及指导意见^①;GDP、R&D、Teacher变量数据均从2009—2017年的《中国城市统计年鉴》以及各城市统计年鉴中获取。

1.3.3 模型设定

由于因变量具有离散非连续、标准差大于平均值等特点,故本文建立负二项回归模型进行实证检验。构建实证模型如下:

$$E(P|\partial_{i,t}, X_{i,t-1}) = \exp(\partial_{i,t} + \beta_1 KD_{i,t-1} + \beta_2 KO_{i,t-1} + \beta_3 C_{ABi,t-1} + \beta_4 Hole_{i,t-1} + \beta_5 Density_{i,t-1} + \beta_6 CP_{i,t-1} + \beta_7 KD_{i,t-1} * C_{ABi,t-1} + \beta_8 KD_{i,t-1} * Hole_{i,t-1} + \beta_9 KO_{i,t-1} * C_{ABi,t-1} + \beta_{10} KO_{i,t-1} * Hole_{i,t-1} + \beta_{11} KD_{i,t-1} * C_{ABi,t-1} * Density_{i,t-1} + \beta_{12} KD_{i,t-1} * C_{ABi,t-1} * CP_{i,t-1} + \beta_{13} KO_{i,t-1} * C_{ABi,t-1} * Density_{i,t-1} + \beta_{14} KO_{i,t-1} * C_{ABi,t-1} * CP_{i,t-1} + \beta_{15} GDP_{i,t-1} + \beta_{16} R\&D_{i,t-1} + \beta_{17} Teacher_{i,t-1} + \beta_{18} MKT_{i,t-1} + \beta_{19} Capital_{i,t-1} + \beta_{20} Membership_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t})$$

其中P为城市群协同创新绩效;GDP_{*i,t-1*}、R&D_{*i,t-1*}、Teacher_{*i,t-1*}、MKT_{*i,t-1*}、Capital_{*i,t-1*}和Membership_{*i,t-1*}为控制变量;C_{ABi,t-1}、Hole_{*i,t-1*}分别表示*i*城市第*t-1*年合作网络位置(中心度和结构洞指标),Density_{*i,t-1*}、CP_{*i,t-1*}分别表示*i*城市第*t-1*年合作网络结构(密度和中心势指标),KD_{*i,t-1*}、KO_{*i,t-1*}分别表示*i*城市第*t-1*年知识网络属性(组合机会和多样性指标);β₁~β₂₀皆是模型中待估计的系数;∂_{*i,t*}为截距项常数,ε_{*i,t*}表示残差项。

2 实证分析

2.1 描述性统计与相关性分析

表2结果表明,自变量之间存在适当的相关性(小于0.65),同时因变量与其他变量(除合作网络中心势)之间存在显著的相关关系,故进一步作回归分析。

2.2 负二项回归分析

本文使用STATA16.0软件进行负二项回归分析,同时对各变量进行去中心化处理以降低多重共线造成的影响^[39],分析结果如表3和表4所示。

2.2.1 主效应检验

表3中模型2和模型3分别表明知识多样性和知识组合机会均对协同创新绩效产生显著的正向影响(β=0.116,

p<0.05;β=0.090 *p*<0.1),H1和H2得到验证。

2.2.2 调节效应检验

模型4~模型7检验了合作网络位置在知识网络属性(知识多样性、知识组合机会)与协同创新绩效关系间的调节效应。其中模型4中知识多样性与合作网络中心度的交互项显著促进了协同创新绩效(β=0.244, *p*<0.01),模型5中知识组合机会与合作网络中心度的交互项显著促进了协同创新绩效(β=0.135, *p*<0.01),模型6中知识多样性与合作网络结构洞的交互项显著抑制了协同创新绩效(β=-0.109, *p*<0.01),模型7中知识组合机会与合作网络结构洞的交互项显著抑制了协同创新绩效(β=-0.098, *p*<0.01)。结果说明合作网络中心度正向调节了知识网络属性与协同创新绩效间的关系,合作网络结构洞负向调节了知识网络属性与协同创新绩效间的关系,H2a、H2b、H3a和H3b均得到验证。调节效应图见图5。

2.2.3 三阶调节效应检验

参考罗胜强等^[40]的研究,当三阶调节效应存在时,自变量*调节变量*三阶调节变量的回归系数显著。模型8~模型15在模型4~模型7的基础上加入了网络密度和结构洞变量,以检验合作网络位置对知识网络属性(知识多样性、知识组合机会)与协同创新绩效间的调节作用是否受到合作网络结构(网络密度和网络中心势)的再调节,分析结果如表4所示。

模型8~模型9表明知识网络属性、合作网络中心度与网络密度的交互项显著促进了协同创新绩效(β=0.183, *p*<0.01;β=0.129, *p*<0.01),模型10~模型11知识网络属性、合作网络结构洞与网络密度的交互项显著抑制了协同创新绩效(β=-0.100, *p*<0.01;β=-0.118, *p*<0.01),结果说明网络密度强化了合作网络中心度和结构洞在知识网络属性与协同创新绩效间的调节作用,H4a、H4b、H4c和H4d得到验证。

模型12~13表明知识网络属性、合作网络中心度与网络中心势的交互项显著地促进了协同创新绩效(β=0.069, *p*<0.05;β=0.059, *p*<0.01),模型14~模型15表明知识网络属性、合作网络结构洞与网络中心势的交互项为负向但不显著(β=-0.037, *p*>0.1;β=-0.042, *p*>0.1),结果说明合作网络中心势强化了合作网络中心度在知识网络属性与协同创新绩效的调节作用,但未影响合作网络结构洞在知识网络属性与协同创新绩效的调节作用,故H5a和H5b得到验证,但H5c和H5d未得到验证。三阶调节效应图见图6,在高网络密度-高中心度和高网络密度-低结构洞组合下,知识网络属性对协同创新绩效的促进效用最强;在高中心势-低结构洞组合下,知识网络属性对协同创新绩效的促进效用最强。

注:① 参考2008年发布的《国务院关于进一步推进长江三角洲地区改革开放和经济社会发展的指导意见》;2010年国务院发文批复的《长三角地区区域规划》;2014年发布的《国务院关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》;2016年国务院常务会议通过的《长江三角洲城市群发展规划》。

表2 描述性统计及相关性分析
Table 2 Descriptive statistics and correlation analysis of variables

变量	标准差	平均数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KD	1.461	2.496	1.000												
KO	1.415	2.160	0.611***	1.000											
C _{AB}	1.723	1.006	0.638***	0.503***	1.000										
Hole	0.370	0.616	-0.213***	-0.234***	-0.520***	1.000									
DE	0.064	0.273	0.012	0.016	-0.072	0.093*	1.000								
CP	0.022	0.135	0.198***	0.223***	0.071	0.006	-0.050	1.000							
Teacher	1.337	7.917	0.587***	0.452***	0.601***	-0.335***	0.004	-0.018	1.000						
GDP	0.651	10.728	0.696***	0.604***	0.412***	-0.205***	0.050	0.337***	0.402***	1.000					
R&D	1.546	3.105	0.772***	0.573***	0.539***	-0.255***	0.027	0.317***	0.556***	0.779***	1.000				
MKT	1.394	8.175	0.645***	0.484***	0.206***	-0.083	-0.039	0.359***	0.245***	0.651***	0.592***	1.000			
Capital	0.297	0.098	0.503***	0.405***	0.733***	-0.379***	-0.000	-0.000	0.609***	0.272***	0.425***	0.083	1.000		
Membership	0.489	0.390	0.596***	0.522***	0.384***	-0.252***	0.147***	0.212**	0.349***	0.676***	0.616***	0.553***	0.305***	1.000	
P	51.852	31.800	0.702***	0.577***	0.716***	-0.429***	0.061	0.170***	0.581***	0.529***	0.592***	0.409***	0.719***	0.548***	1.000

注: * 表示在 0.1 水平(双侧)上显著, ** 表示在 0.05 水平(双侧)上显著, *** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著,下同。

表 3 模型回归分析结果
Table 3 Regression analysis results of the models

变量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7
常数项	-0.292***	-0.279***	-0.278***	-0.187***	-0.114***	-0.071*	-0.068*
控制变量							
Teacher	-0.002	-0.007	-0.003	-0.011	-0.017	-0.017	-0.019
GDP	0.134**	0.116*	0.111*	0.090	0.108	0.093	0.102
R&D	-0.107*	-0.126**	-0.106*	-0.162***	-0.151***	-0.166***	-0.158***
MKT	0.258***	0.226***	0.234***	0.251***	0.242***	0.258***	0.260***
Capital	2.297***	2.164***	2.211***				
Membership	0.174**	0.175**	0.159*	0.082	0.119	0.123	0.115
自变量与调节变量							
KD		0.116**		0.213***		0.083	
KO			0.090*		0.128**		0.101*
C _{AB}				-0.079	-0.007		
Hole						-0.131***	-0.072**
乘积项							
KD* C _{AB}				0.244***			
KO * C _{AB}					0.135***		
KD * Hole						-0.109***	
KO * Hole							-0.098***
R ²	0.669	0.685	0.678	0.666	0.536	0.747	0.732

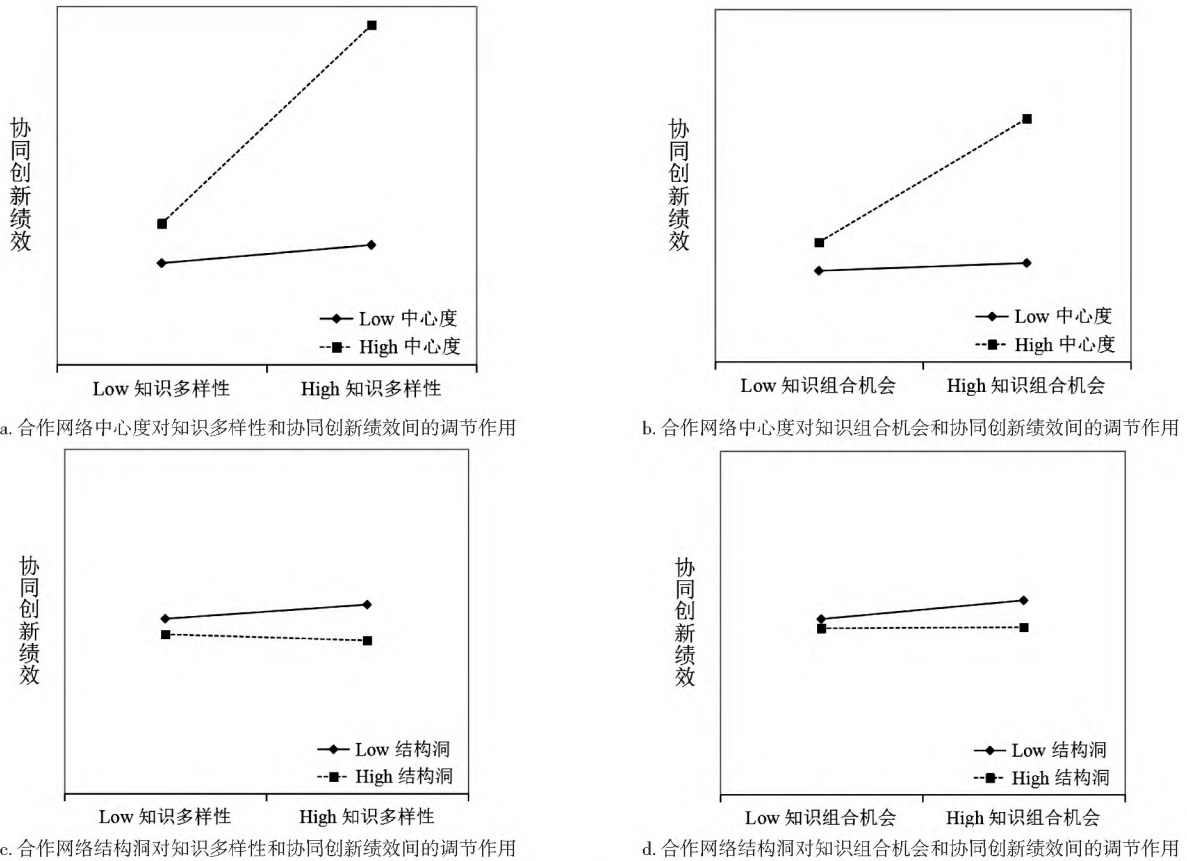


图 5 调节效应图

Figure 5 Schematic diagram of the moderating effect

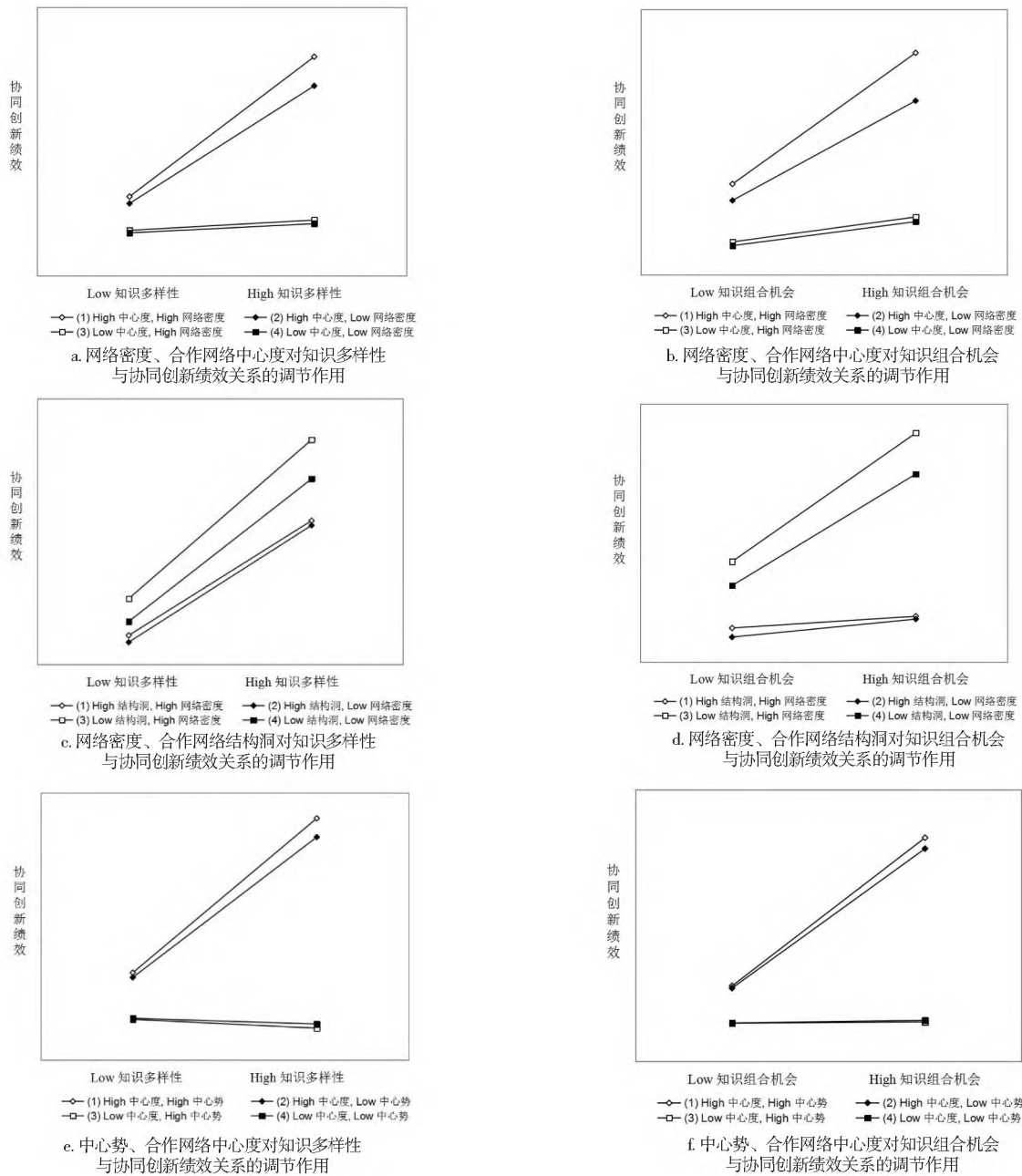


图 6 三阶调节效应图

Figure 6 Schematic diagram of the three-stage moderating effect

表 4 三阶调节效应检验结果

Table 4 Test results of the three-stage moderating effect

变量	模型 8	模型 9	模型 10	模型 11	模型 12	模型 13	模型 14	模型 15
常数项	-0.103 ***	-0.091 ***	-0.055 **	-0.074 ***	-0.146 ***	-0.090 **	-0.244 ***	-0.254 ***
控制变量								
Teacher	0.004	-0.005	0.014	-0.000	-0.014	-0.019	-0.004	-0.004
GDP	0.033	0.018	-0.011	-0.026	0.015	0.031	0.046	0.062
R&D	-0.145 ***	-0.174 ***	-0.191 ***	-0.224 ***	-0.095	-0.075	-0.089 **	-0.061
MKT	-0.131 **	-0.119 **	-0.074	-0.068	0.295 ***	0.274 ***	0.239 ***	0.238 ***

续表 4

变量	模型 8	模型 9	模型 10	模型 11	模型 12	模型 13	模型 14	模型 15
Capital	-0.103						1.672***	1.843***
Membership	0.062	0.148***	0.061	0.104*	0.027	0.064	0.132	0.118
自变量及调节变量								
KD	0.087**		0.059		0.167***		0.107**	
KO		0.052		0.049		0.114**		0.116**
C _{AB}	-0.013	0.027			-0.059	-0.002		
Hole			0.008	-0.023			-0.198***	-0.116***
Density	0.130***	0.185***	0.238***	0.238***				
CP					0.017	0.027	0.045**	0.040*
乘积项								
KD * C _{AB}	0.082**				0.208***			
KO * C _{AB}		0.014				0.126***		
KD * Hole			0.003				-0.153***	
KO * Hole				-0.036				-0.131***
KD * Density	0.164***		0.090***					
KO * Density		0.106***		0.093***				
KD * CP					0.063**		0.021	
KO * CP						0.065***		0.046**
C _{AB} * Density	-0.078***	0.056***						
Hole * Density			-0.151***	-0.126***				
C _{AB} * CP					-0.049	-0.018		
Hole * CP							-0.073***	-0.063***
KD * C _{AB} * Density	0.183***							
KO * C _{AB} * Density		0.129***						
KD * Hole * Density			-0.100***					
KO * Hole * Density				-0.118***				
KD * C _{AB} * CP					0.069**			
KO * C _{AB} * CP						0.059***		
KD * Hole * CP							-0.037	
KO * Hole * CP								-0.042
R ²	0.678	0.649	0.619	0.601	0.288	0.284	0.273	0.282

3 主要研究结论及启示

3.1 主要研究结论

本文以 2009—2018 年长三角城市群联合申请专利为研究数据,建立城市群协同创新依存型多层网络来探究城市群协同创新绩效的影响因素,得到研究结论如下:

(1) 知识网络中多样性和高组合机会的知识资源显著促进了城市群协同创新绩效。主要表现在,一方面,拥有多样性知识资源的城市跨越不同知识领域,有利于城市获取、整合和吸收新知识进行协同创新;另一方面,高组合机会的知识元素具备控制知识资源流动的能力,因此拥有这类知识元素的城市能够获得更多与不同领域知识元素建立新联结的机会,有助于降低协同创新的成本,提高创新效率和创新产出。

(2) 合作网络位置调节了知识网络属性对城市群协同创新绩效的影响。网络中心城市能够通过大量直接联结接触广泛的创新资源,有效识别多样性和高组合机会知识资源的分布^[15],从而以较低的成本吸收新知识、重组已有知识,提高协同创新产出。同时,占据结构洞位置的城市虽然控制了知识的流动,但提高了其获取非冗余性知识的直接成本,阻碍城市对多样性知识资源的吸收和利用,降低知识元素重组的可能性,从而不利于协同创新成果的产出。

(3) 合作网络位置的调节作用受到合作网络结构的强化。合作网络结构特征为城市间展开创新活动提供了外部环境,首先,高密度合作网络中的城市之间存在大量的直接联结。对于网络中心地位的城市来说,广泛的合作关系有效地提高了知识转移效率以及流动速度^[29],降低

了创新成本;而对于结构洞位置的城市来说,过高的连通性会加剧创新路径依赖的风险,不利于创新关系拓展,增强了知识转移的阻力。其次,高中心势网络中的连通性依赖于某几个核心城市^[22]。对于网络中心地位的城市来说,网络内部强联系有利于形成良性合作规范,广泛的联系有利于知识流动和资源聚集;而对于结构洞位置的城市来说,资源的聚集会导致两端资源的不平衡、加剧创新成本提高和信任风险等问题。因此合作网络结构强化了合作网络位置在知识网络属性与协同创新绩效间的调节作用。

3.2 实践启示与展望

首先,政府应该打破合作壁垒,整合创新资源。通过人才引进、项目联合等方式推动知识、技术和信息等创新资源的流动,实现多元化创新知识的高效利用和重组。其次,政府应该优化网络布局,建立长效合作机制。通过打造城市群中的龙头城市和核心城市,发挥其带动辐射作用,从而形成稳定高效的合作关系,建立良性发展的合作秩序,推动城市群高质量一体化发展。最后,政府应该提高城市群连通性,建设优势产业。通过完善基础设施以及打造跨城市、跨省域合作工程鼓励各城市之间建立协同创新合作关系,并通过打造各城市优势产业提高自身创新优势和合作吸引力,为城市群内部知识交流和创新发展提供条件。

本文也存在研究不足。后续研究将研究样本扩展至城市群内全体创新主体,而不是仅限于产学研主体,进一步验证本研究结论。

参考文献:

- [1] 陈劲,阳银娟. 协同创新的理论基础与内涵[J]. 科学学研究, 2012, 30(2): 161-164.
CHEN Jin, YANG Yinjuan. Theoretical basis and content for collaborative innovation [J]. Studies in Science of Science, 2012, 30(2): 161-164.
- [2] 陈关聚,张慧. 创新网络交互度对区域创新的影响及地区差异研究[J]. 工业技术经济, 2018, 37(12): 52-60.
CHEN Guanju, ZHANG Hui. Impact of innovation network degree on the performance of regional innovation [J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2018, 37(12): 52-60.
- [3] 解学梅. 协同创新效应运行机理研究: 一个都市圈视角[J]. 科学学研究, 2013, 31(12): 1907-1920.
XIE Xuemei. Operation mechanism of synergic innovative effect: A perspective from metropolitan region [J]. Studies in Science of Science, 2013, 31(12): 1907-1920.
- [4] DEMATTEIS G. Globalization and regional integration: The case of the Italian urban system [J]. Geo Journal, 1997, 43(4): 331-338.
- [5] BETTENCOURT L M A, LOBO J, HELBING D. Growth, innovation, scaling, and the space of life in cities [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(17): 201-306.
- [6] DOLOREUX D. Regional networks of small and medium sized enterprises: Evidence from the metropolitan area of Ottawa in Canada [J]. European Planning Studies, 2004, 12(2): 173-189.
- [7] COWAN R, JONARD N. Bilateral collaboration and the emergence of innovation network [J]. Management Science, 2007, 53(7): 1051-1067.
- [8] 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]. 经济与管理研究, 2019(33): 01-08.
CUI Zhixin, CHEN Yao. Research on the influence factors of regional technological innovation collaboration: An empirical analysis based on panel data of Beijing-Tianjin-Hebei Region and Yangtze River Delta Region [J]. Research on Economics and Management, 2019(33): 01-08.
- [9] GUAN J, ZHANG J, YAN Y. The impact of multilevel networks on innovation [J]. Research Policy, 2015, 44(3): 545-559.
- [10] 夏丽娟,谢富纪,付丙海. 邻近性视角下的跨区域产学研协同创新网络及影响因素分析[J]. 管理学报, 2017, 14(12): 1795-1803.
XIA Lijuan, XIE Fuji, FU Binghai. The network evolution of China cross region industry-university collaborative innovation and the analysis of influencing factors: Based on the perspective of proximity [J]. Chinese Journal of Management, 2017, 14(12): 1795-1803.
- [11] 曾德明,周涛. 企业知识基础结构与技术创新绩效关系研究: 知识元素间关系维度新视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2015, 36(10): 80-88.
ZENG Deming, ZHOU Tao. The relationship between knowledge base and innovative performance: A new relational perspective of knowledge elements [J]. Science of Science and Management of S. & T., 2015, 36(10): 80-88.
- [12] HUALLACHAIN B Ó, LEE D S. Urban centers and networks of coinvention in American biotechnology [J]. The Annals of Regional Science, 2014, 52(3): 799-823.
- [13] GUAN J, YAN Y, ZHANG J. How do collaborative features affect scientific output? Evidences from wind power field [J]. Scientometrics, 2015, 102(1): 333-355.
- [14] 俞兆渊,鞠晓伟,余海晴. 企业社会网络影响创新绩效的内在机理研究: 打开知识管理能力的黑箱[J]. 科研管理, 2020, 41(12): 149-159.
YU Zhaoyuan, JU Xiaowei, YU Haiqing. A study of the internal influence mechanism of enterprise social network on innovation performance: By opening the black box of knowledge management capacity [J]. Science Research Management, 2020, 41(12): 149-159.
- [15] WANG C, RODAN S, FRUIN M. Knowledge networks, collaboration networks, and exploratory innovation [J]. Academy

- of Manage Journal ,2014 ,57: 484 – 514.
- [16] YAYAVARAM S ,CHEN W. Changes in firm knowledge couplings and firm innovation performance: The moderating role of technological complexity [J]. Strategic Management Journal ,2015 ,36(3) : 377 – 396.
- [17] MELERO E ,PALOMERAS N. The renaissance man is not dead! The role of generalists in teams of inventors [J]. Research Policy ,2015 ,44: 154 – 167.
- [18] GRUBER M ,HARHOFF D ,KARIN H. Knowledge recombination across technological boundaries: Scientists vs. engineers [J]. Management Science ,2013 ,59(4) : 837 – 851.
- [19] BRENECKE J ,RANK O. The firm's knowledge network and the transfer of advice among corporate inventors: A multilevel network study [J]. Research Policy ,2017 ,46(4) : 768 – 783.
- [20] YAYAVARAM S ,AHUJA G. Decomposability in knowledge structures and its impact on the usefulness of inventions and knowledge – base malleability [J]. Administrative Science Quarterly ,2008 ,53(2) : 333 – 362.
- [21] 马汀 ,禹献云 ,张雅蕊. 网络地位、结构洞与探索式创新: 来自九大低碳产业研发网络的经验证据 [J]. 科技管理研究 ,2018 ,38(21) : 18 – 28.
- MA Ding , YU Xianyun , ZHANG Yarui. Network prominence , structural holes and explorative innovation based on empirical: Evidence from nine low – carbon energy R&D networks [J]. Science and Technology Management Research , 2018 ,38(21) : 18 – 28.
- [22] 刘军. 整体网分析 [M]. 上海: 格致出版社 ,2014.
- LIU Jun. Overall network analysis [M]. Shanghai: Truth & Wisdom Press ,2014.
- [23] AHUJA G. Collaboration networks , structural holes , and innovation: A longitudinal study [J]. Administrative Science Quarterly ,2000 ,45(3) : 425 – 455.
- [24] 钱锡红 ,杨永福 ,徐万里. 企业网络位置 吸收能力与创新绩效: 一个交互效应模型 [J]. 管理世界 ,2010(5) : 118 – 129.
- QIAN Xihong , YANG Yongfu , XU Wanli. Network location , absorptive capacity and innovation performance of enterprises: An interactive effect model [J]. Journal of Management World , 2010(5) : 118 – 129.
- [25] 谢其军 ,冯楚建 ,宋伟. 合作网络、知识产权能力与区域自主创新程度: 一个有调节的中介模型 [J]. 科研管理 , 2019 ,40(11) : 85 – 94.
- XIE Qijun , FENG Chujian , SONG Wei. Collaboration network , intellectual property ability and degree of regional independent innovation: A moderated mediator model [J]. Science Research Management ,2019 ,40(11) : 85 – 94.
- [26] BURT R S. Structural holes and good ideas [J]. American Journal of Sociology ,2004 ,110(2) : 349 – 399.
- [27] 应洪斌. 结构洞对产品创新绩效的作用机理研究: 基于知识搜索与转移的视角 [J]. 科研管理 ,2016 ,37(4) : 09 – 15.
- YING Hongbin. A study of the influence of structural holes on product innovation performance: The perspective of knowledge search and transfer [J]. Science Research Management , 2016 ,37(4) : 09 – 15.
- [28] GILSING V ,NOOTEBOOM B ,VANHAVERBEKE W. Network embeddedness and the exploration of novel technologies: Technological distance , betweenness centrality and density [J]. Research Policy ,2008 ,37: 1711 – 1731.
- [29] 曾德明 ,王金艳. 协作研发网络中心度、知识距离对企业二元式创新的影响 [J]. 管理学报 ,2015 ,12(10) : 1479 – 1486.
- ZENG Deming , WEN Jinyan. The influences of R&D collaboration network centrality , knowledge distance to firm's dual – innovation [J]. Chinese Journal of Management , 2015 , 12 (10) : 1479 – 1486.
- [30] SCHILLING M A , PHELPS C C. Interfirm collaboration networks: The impact of large – scale network structure on firm innovation [J]. Management Science ,2007 ,53(7) : 1113 – 1126.
- [31] BURT R S. The network structure of social capital [J]. Research in Organizational Behavior ,2000 ,22: 345 – 423.
- [32] 袁康 ,汤超颖 ,李美智 等. 导师合著网络对博士生科研产出的影响 [J]. 管理评论 ,2016 ,28(9) : 228 – 237.
- YUAN Kang , TANG Chaoying , LI Meizhi , et al. The influence of supervisors' co – authorship network on doctoral research output [J]. Management Review ,2016 ,28(9) : 228 – 237.
- [33] 杜丹丽 ,康敏 ,曾小春 等. 网络结构视角的科技型中小企业协同创新联盟稳定性研究: 以黑龙江省为例 [J]. 科技管理研究 ,2017 ,37(18) : 134 – 142.
- DU Danli , KANG Min , ZENG Xiaochun , et al. The study of stability of the high – tech SME collaborative innovation alliance from the perspective of social network: Taking Heilongjiang province as an example [J]. Science and Technology Management Research ,2017 ,37(18) : 134 – 142.
- [34] CANER T ,SUN J ,PRESCOTT J E. When a firm's centrality in R&D alliance network is (not) the answer for invention: The interaction of centrality , inward and outward knowledge transfer [J]. Journal of Engineering and Technology Management ,2014 ,33: 193 – 209.
- [35] 李燕. 粤港澳大湾区城市群 R&D 知识溢出与区域创新能力: 基于多维邻近性的实证研究 [J]. 软科学 ,2019 ,33(11) : 138 – 144.
- LI Yan. R&D knowledge spillover and regional innovation ability of Guangdong – Hong Kong – Macao Greater Bay area: An empirical study based on multidimensional neighbourliness [J]. Soft Science ,2019 ,33(11) : 138 – 144.
- [36] 邵汉华 ,周磊 ,刘耀彬. 中国创新发展的空间关联网络结构及驱动因素 [J]. 科学学研究 ,2018 ,36(11) : 2055 – 2069.
- SHAO Hanhua , ZHOU Lei , LIU Yaobin. Study on the spatial network structure and driving factors of regional innovation development in China [J]. Studies in Science of Science ,2015 , 36(11) : 2055 – 2069.

- [37] 许培源, 吴贵华. 粤港澳大湾区知识创新网络的空间演化: 兼论深圳科技创新中心地位[J]. 中国软科学, 2019(5): 68-79.
XU Peiyuan, WU Guihua. Spatial evolution of the knowledge innovation network in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay area: The role of Shenzhen technological innovation hub[J]. China Soft Science, 2019(5): 68-79.
- [38] 王小鲁, 樊纲, 胡李鹏. 中国分省份市场化指数报告(2018)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
WANG Xiaolu, FAN Gang, HU Lipeng. Report on marketization index of Chinese provinces (2018) [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2019.
- [39] HAYES A F. Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach[J]. Journal of Educational Measurement, 2013, 51(3): 335-337.
- [40] 罗胜强, 姜嫄. 管理学问卷调查研究方法[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2014.
LUO Shengqiang, JIANG Yan. Research methods of management science questionnaire[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2014.
- [41] GRANT R M. Prospering in dynamically-competitive environments: Organizational capability as knowledge integration[J]. Organization Science, 1996, 7(4): 375-387.

Research on the influence of collaborative innovation network on collaborative innovation performance in the Yangtze River Delta urban agglomeration

Wang Haihua¹, Sun Qin², Du Mei³, Zhou Jie¹

(1. School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

2. School of Management, Shandong University, Jinan 250100, Shandong, China;

3. Shanghai International College of Intellectual Property, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: With the implementation of "innovation-driven development strategy", innovative elements such as talents, capital and information have flowed freely and efficiently among cities. The spatial structure of China's economic development is undergoing profound changes, and central cities and urban agglomerations are becoming the main spatial forms of the development elements. Collaborative innovation in urban agglomerations is a process of knowledge creation through constant combination of internal knowledge elements, with cities as carriers, industries, universities and research institutes as innovation subjects. Therefore, it is very important to clarify the advantages of innovation subjects and the influence mechanism of urban agglomeration network, so as to rationally optimize the innovation layout of urban agglomeration and improve the overall innovation ability of regions and countries.

According to the social network theory, there is knowledge search and cooperation behaviors across city boundaries in the process of collaborative innovation, and the knowledge flow in the network realizes continuous innovation. Innovation subject is essentially a collection of knowledge elements, and the process of collaborative innovation by innovation subject is also a process of reorganizing knowledge elements and forming a knowledge network to create new knowledge. Therefore, there exists a knowledge network composed of knowledge elements belonging to cities and their combination relations, and a cooperation network composed of cities and their cooperation relationships in the process of collaborative innovation of urban agglomeration. Both of them present a multi-layer network structure of dependency, which together affect the performance of collaborative innovation.

We put industries, universities and research institutes and knowledge elements in different cities into the same framework for research based on the perspective of dependency multi-layer network. And the research of this topic not only enriches the theoretical research of urban agglomeration and multi-layer social network, but also provides valuable management enlightenment for collaborative innovation of urban agglomeration.

In this paper, a multi-layer network of collaborative innovation in Yangtze River Delta urban agglomeration is constructed by using the patent application of industries, universities and research institutes in 2009-2018. Among them, the cooperation network is constructed by 41 cities in the Yangtze River Delta urban agglomeration as nodes, and the cooperation relationship between cities as a link. Knowledge network is constructed by cities and knowledge elements (the first 4 digits of IPC classification number of joint patent application) as nodes, and the combination relationship between knowledge elements as a connection. Furthermore, the dependent variable of this paper is the collaborative innovation performance of each city. Because innovation is an uncertain process, we use a three-year time window to obtain an average innovation output index. The independent variable

is the diversity and combination opportunity of knowledge. The regulating variables are centrality, structural hole, central potential and network density of cooperative network. Meanwhile, GDP, R&D, teacher, MKT, capital, membership are the control variables. Based on the above analysis, we select a negative binomial regression model.

The empirical analysis results show that the collaborative innovation network of urban agglomeration plays an important role in collaborative innovation performance, which verifies the proposed hypothesis. First of all, the high-quality knowledge resources in the knowledge network affect the collaborative innovation performance, and have a significant positive impact on it. When a city has diversified knowledge resources with high combination opportunities, it provides a chance for the city to establish a new connection of knowledge elements, which is beneficial for the city to acquire, integrate and absorb new knowledge for collaborative innovation.

Secondly, the characteristics of knowledge network and the location of cooperation network jointly affect the collaborative innovation performance of urban agglomeration. Specifically, the centrality of cooperative network positively regulates the impact of knowledge diversity and knowledge combination opportunities on innovation performance, while the structural hole of cooperative network negatively regulates the impact of knowledge diversity and knowledge combination opportunities on innovation performance. On the one hand, the central city can contact a wide range of innovative resources through a large number of direct connections. And it has an advantage in identifying the distribution of innovative knowledge, thus absorbing new knowledge and reorganizing existing knowledge at a lower cost. On the other hand, cities occupying structural holes bring direct costs for them to acquire non-redundant knowledge, which hinders the absorption and utilization of diverse knowledge by cities, and thus is not conducive to collaborative innovation.

Finally, the joint influence of cooperative network location and knowledge network characteristics on collaborative innovation performance of urban agglomeration is also influenced by cooperative network characteristics. Cooperative network density positively readjusts the moderating effect of cooperative network centrality on knowledge network characteristics and collaborative innovation performance, while negatively readjusts the moderating effect of cooperative network structural hole on knowledge network characteristics and collaborative innovation performance. The positive trend of cooperative network centrality readjusts the moderating effect of cooperative network centrality on knowledge network characteristics and collaborative innovation performance. On the one hand, there are a lot of connections between cities in high-density network, which improves the efficiency and flow speed of knowledge transfer and reduces the innovation cost, thus strengthening the positive adjustment of centrality and weakening the negative adjustment of structural holes. On the other hand, the connectivity in the high central potential network depends on some cities, which is conducive to the formation of a sound standard of cooperation and the promotion of knowledge flow. Therefore, it can strengthen the positive adjustment of centrality and weaken the negative adjustment of structural hole.

Based on the above research conclusions, we put forward some suggestions for collaborative innovation of urban agglomeration. Firstly, the government should break down cooperation barriers and integrate innovative resources. Talent introduction and project combination can be used to realize efficient utilization and reorganization of diversified innovative knowledge. Secondly, the government should optimize the network layout and establish a long-term cooperation mechanism. The construction of leading cities and core cities in urban agglomerations can play their leading and radiating role, and then establish a benign development cooperation order. Finally, the government should improve the connectivity of urban agglomerations and build advantageous industries. Measures such as improving infrastructure and creating cross-city and inter-provincial cooperation projects can encourage the establishment of collaborative innovation cooperation between cities.

Keywords: collaborative innovation of urban agglomeration; dependent multi-layer network; knowledge network; cooperation network