

长三角知识合作网络的空间格局及影响因素

——以合著科研论文为例

戴靓¹ 纪宇凡¹ 张维阳^{2, 3} 曹湛⁴ 李洋¹¹

(1. 南京财经大学 公共管理学院, 江苏 南京 210023;

2. 华东师范大学 中国行政区划研究中心, 上海 200241;

3. 华东师范大学 中国现代城市研究中心, 上海 200241;

4. 同济大学 建筑与城市规划学院, 上海 200092)

【摘要】: 随着创新发展战略的提出和知识经济的转型, 知识流成为探讨城际关系和空间重塑的重要视角, 以合著科研论文为媒介的知识合作网络受到关注。基于 2015~2019 年 Web of Science 中的论文合著数据, 利用爬虫技术, 以地级以上城市为节点, 构建长三角城市知识合作网络。通过边联系强度、节点中心性和 QAP 网络回归分析, 研究长三角知识合作网络的空间格局及影响机制。结果显示: (1) 就空间格局而言, 长三角知识流集中于沪宁合杭甬“Z”型发展带上, 呈现出“富人俱乐部”现象。南京在长三角的知识生产力和控制力超越上海, 居于首位。江苏城市的省内外合作量都较高且均衡, 呈现多极发展。安徽城市的省内合作稀疏, 主要靠合肥的对外合作发展。浙江的省内联系呈杭州和宁波双核格局, 联系强度介于江苏和安徽之间。(2) 就影响机制而言, 人口规模、研发投入、高校数量对城际知识合作有促进作用, 其中高校的影响最突出。距离衰减效应仍然存在, 行政边界也有一定程度的阻碍, 但不如距离阻尼大。文化邻近性对长三角知识合作影响不显著, 而行政等级效应较为明显。

【关键词】: 知识网络 合著科研论文 空间格局 QAP 回归

【中图分类号】: F291 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)12-2833-10

城市间的相互关系是城市地理学的传统议题, 被称为是“城市的第二本质”^[1]。随着交通信息技术的进步和经济全球化、区域一体化的发展, “场地空间”日益被“流动空间”取代, 城市不再是系统中的孤岛, 而需通过“借用规模”去争取外部资源的积累与转化^[2]。因此, 城市间或合作或互补的水平联系受到学者们的广泛关注, 城市网络成为解读城市空间组织模式的新范式^[3]。对城市网络最初的焦点在于企业联系(如企业总部分支机构联系)和基础设施联系(如交通流、互联网和通讯流)^[4]。随着知识经济时代的到来和国家创新发展战略的提出, 知识、技术、人才等创新资源作为新一轮城市竞争的核心和重塑区域关系的重要动力,

作者简介: 戴靓(1989~), 女, 副教授, 主要研究方向为城市网络与区域创新。E-mail: 9120181027@nufe.edu.cn; 张维阳 E-mail: wyzhang@re.ecnu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(41901189, 41901186); 江苏省自然科学基金项目(BK20190797); 江苏省研究生科研创新计划项目(KFCX21-1406)

成为城市网络研究的新需求与切入点。

城际创新联系是城市之间基于创新要素的交换、创新活动的协同等而产生的联系,可通过属性数据推演法和网络代理关系法表征^[5]。前者一般是采用引力模型,基于城市创新规模指标和地理距离衰减规律来实现对城市间创新联系及其强度的测算拟合。例如,吕拉昌等^[6]综合考虑表征城市规模、创新规模 and 对外联系的 35 个指标的因子总得分来衡量城市外向创新规模;马双等^[7]通过专利授权数和从事科研活动的人员数来反映城市的创新规模。这类方法是对实际创新流的模拟,缺乏一手数据作精度检验。后者是以创新主体间为生产创新成果而开展的跨城交互关系为“代理”,量化城市间某一方面的创新联系。这种联系可体现为科研论文合作、专利联合申请、项目共同研发等无向合作关系^[8,9,10],以及论文引用、专利引用、专利转移等有向交互关系^[11]。这类方法因数据的可获取性和表达的直观性而受到青睐,尤以合作发表论文的知识和合作申请专利的技术网络为代表^[12]。例如,Matthiessen 等^[13]和 Ma 等^[14]分别基于论文合作数据,分析全球城市间知识创新联系的层级性与区域性和中国城市知识网络的空间格局与拓扑特征。Fischer 等^[8]基于高科技领域的专利合作数据,分析欧盟内城市间知识创新网络的空间特征。胡海鹏等^[15]、徐宜青等^[16]也借助专利合作数据,分别研究了长三角、广东省的创新空间格局。李丹丹等^[12]将知识网络和技术网络进行对比,揭示了两种创新网络结构的异质性。总体而言,由于企业与社会经济发展的关系更为直接,使得技术合作网络在创新联系研究中更受关注,而知识合作网络的研究有待深化。

知识合作是二个或二个以上的科研主体通过分工协作而实现科研产出最大化的活动,这种合作将产生信息、知识、技术的交流,并可伴有物质、资本、人力等要素的流动,有助于城市对创新资源的吸收、转化与扩散,亦是城市发展的内在动力。运用科研主体间的论文合著关系来构建城市间知识合作网络,涉及从社会属性的点对点关系向空间属性的城对城关系的尺度转换,即用个体层面的微观关系反映城市层面的宏观关系^[17]。从本质看,城市网络是城市间各种实体流或虚拟流的空间表现。Castells^[18]认为流动空间由 3 个层次构成:第一层为网络的物质基础(航空和因特网组织的“硬网络”);第二层为构成网络节点的地点(如城市);第三层为以工作等方式在空间上组织起来的全球精英(建立在第一和第二层次基础上的“软网络”)。城市知识合作网络是以合著论文等方式将科研主体在空间上组织起来,本质上是一种软网络,对解释城市功能更有实际意义。从成因看,Bathlet 等^[19]提出了“本地嗡鸣(Local Buzz)—全球管道(Global Pipelines)”模型,认为创新主体在创新过程中不是孤立和封闭的,一方面需通过本地嗡鸣获得知识集聚效应,另一方面需借助全球管道打破知识同质锁定,科研主体间的跨城合作是城市知识异质化创新的重要途经。因此,运用科研主体间合著论文关系来表征城市知识合作网络具有其合理性与可行性。

现有文献关于城市知识合作网络的研究集中于空间结构和拓扑结构的分析方面,对其影响机制也主要是基于结构特征与演化趋势而进行的定性探讨。有部分学者通过引力模型、计量模型,构建影响因子与城际知识合作联系间的函数关系,通过统计验证定量揭示其影响因素。例如,Scherngell 等^[20]通过负二项区域重力模型,解析了地理因素、技术因素、经济因素对中国省际知识合作创新联系的影响。段德忠等^[21]也应用负二项式回归和引力模型,研究了地理距离、经济发展水平相似度、产业结构相似度对中国城际技术合作创新联系的影响。然而,这些量化研究大多忽视了网络中城际联系之间的相互依赖性(即网络数据的因变量并非相互独立),导致容易违背基于 OLS 回归的样本独立假设。

长三角是中国经济高度发达的城市区域之一,据统计公报数据,2019 年长三角城市群总面积为 21.11km²,常住人口 1.56 亿人,地区生产总值为 19.74 万亿元。该区域以全国 2.19%的土地,集中了 11.07%的人口,并创造了 19.92%的 GDP。作为国家级城市群,已有诸多文献研究其交通网络、企业网络、信息网络、游憩网络等^[22,23,24,25],而反映知识流的论文合作网络研究尚不多见^[26]。基于此,本文通过合著科研论文数据,分析长三角城市知识合作网络的空间格局特征,并通过网络回归分析揭示其影响机制,以期丰富城市网络的实证研究,并为长三角城市群协同创新发展提供理论依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究范围与数据来源

研究区域为2016年6月国家发改委印发的《长江三角洲城市群发展规划(2016-2020)》中界定的范围,涉及26个地级及以上城市,具体包含:上海市、江苏省的南京、镇江、常州、苏州、无锡、扬州、南通、泰州、盐城;浙江省的杭州、嘉兴、湖州、绍兴、宁波、舟山、金华、台州;安徽省的合肥、芜湖、滁州、马鞍山、铜陵、池州、安庆、宣城。科研论文数据是通过Python爬虫技术,从Web of Science(WoS)上获取的2015~2019年作者单位在长三角城市的所有(包括合著和独著)论文数据。以五年为时段采集数据,一定程度上可消除论文发表的波动性与滞后性影响。

在构建长三角城市知识合作网络时,需对论文数据进行清洗,将独著和同城学者合著的论文予以剔除。例如,某论文由复旦大学和华东师范大学的学者合著发表,表征上海—上海的联系,则不在研究范围内。本研究考虑的是长三角跨城的论文合作产出,如某论文由南京大学和复旦大学的学者合著发表,包含南京—上海的知识联系一次。具体步骤为:根据清洗后的长三角跨城合著WOS论文数据,配以人工识别,得到每篇论文主体所属科研机构的城市归属信息,构建“城市—论文”的二模网络矩阵 M (图1)。矩阵 M 中的数值 V_{ij} 表示就某篇论文 P_j 而言,合作者所在城市为 C_i 的数量。最后通过矩阵转置自乘法,将二模网络转为“城市—城市”的一模网络,并忽视对角线的数值,即将城市自身的联系视为0^[27],从而构建出中国城市知识合作网络矩阵^[28]。

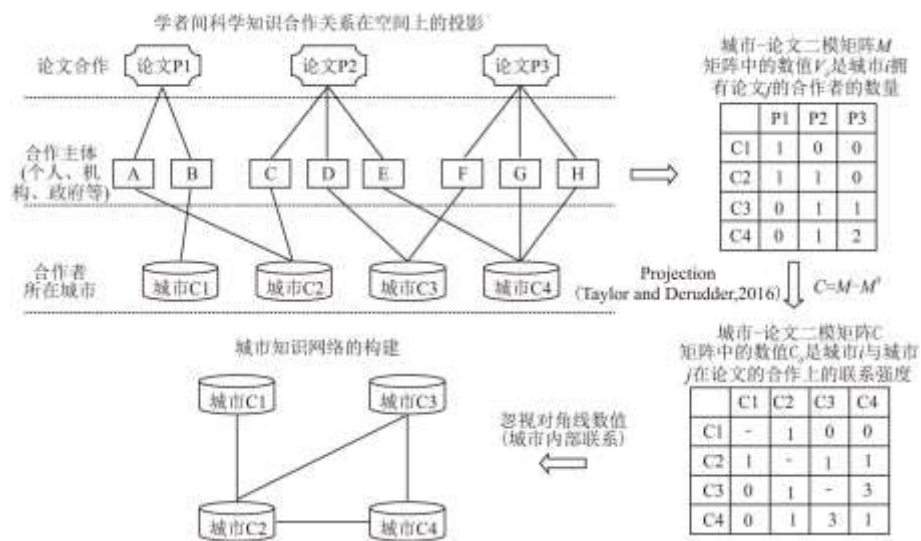


图1 基于合著科研论文的城市知识合作网络构建图

1.2 研究方法

1.2.1 网络中心性分析

城市的重要性或等级性常通过一系列的 centrality 测度表征,如度中心性 (degree centrality)、邻接中心性 (closeness centrality)、中介中心性 (betweenness centrality)^[29]、特征向量中心性 (eigenvector centrality)^[30]、递归中心性 (recursive centrality)^[31]等。本文选用度中心性和中介中心性^[32],从数量和质量两个维度直观地反映城市在知识合作网络中的中心性。

度中心性衡量的是某个城市与其它长三角城市间知识合作联系的总和,可以反映出该城市对知识流的生产能力;中介中心性衡量的是某个城市作为两个没有直接知识合作联系城市的共同合作者的次数,可以反映出该城市对知识流的控制能力。具体计算公式如下:

$$CD_i = \sum_{j=1}^n Citypair_{ij} (i \neq j) \quad (1)$$

$$BD_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{SP_{jk}(i)}{SP_{jk}} (i \neq j, k \neq i, j) \quad (2)$$

式中： CD_i 、 BD_i 分别为城市 i 的度中心性；中介中心性； $Citypair_{ij}$ 是城市 i 与城市 j 的论文合作数量； n 为所研究的长三角城市数量；在知识网络中， SP_{jk} 为城市 j 和城市 k 间存在的最短路径总数； $SP_{jk}(i)$ 为经过城市 i 连接城市 j 和城市 k 的最短路径数量。

1.2.2 QAP 网络回归分析

在城市网络中，城市之间联系数据的观测值往往不相互独立，所以无法用标准的统计程序(如 OLS)进行参数估计与统计检验。为解决该问题，需采用随机化方法来检验，QAP(Quadratic Assignment Procedure, 二次指派程序)就是以重新抽样为基础，衡量两个矩阵的相似性，其通过对矩阵数据的置换而实现对系数的非参数检验。

QAP 网络回归分析可研究因变量矩阵和多个自变量矩阵间的回归关系，并对 R^2 的显著性进行评价^[33]。首先，需对自变量矩阵和因变量矩阵的对应元素进行标准的多元回归分析；其次，对因变量矩阵的各行和各列随机置换并重新计算回归，保存所有的系数值以及判定系数 R^2 值。重复这种步骤若干次，以便估计统计量的标准误。QAP 回归模型的公式如下：

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_k X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

式中： Y_{ij} 为论文合作矩阵； β_0 为常数项系数； X_{ij} 为自变量矩阵； β_k 为自变量系数； ε_{ij} 为误差项。

2 结果分析

2.1 长三角城市知识合作联系的空间分异

长三角知识网络为无向对称网络，26 个城市可形成 $26 \times (26-1)/2=325$ 条知识合作联系，实际联系为 272 条，其网络密度为 0.837, 可见该地区的知识交互较为密集。图 2 可视化出长三角城市知识合作网络的空间格局，表 1 列出了长三角省内省际论文合作数量前十名的城市对。可以发现，该地区城际论文合作数量分布较为不均衡，排名前 10% 的城市合作联系占总合作量的比重超过 80%。就省际合作而言，高论文产出合作主要集中在上海、南京、合肥、杭州之间，呈现“富人俱乐部”现象。就省内合作而言，江苏城市论文合作表现整体较为突出，沿着苏锡常镇宁网络化发展，平均城际论文合作量为 662 篇；浙江的 54 条省内合作围绕杭州和宁波组织，平均城际论文合作量位 253 篇；安徽城市的省内合作联系是 46 条，较为稀疏且集中于与省会的合作，平均城际合作量仅 54 篇。总体而言，知识流密集区位于沪宁合杭甬“Z”型发展带上，构成城际知识资源的主要流通渠道，其余城市较为边缘，这与长三角城市的发展水平和综合实力基本吻合。

表 1 长三角省内省际知识合作联系前十名的城市对

省内合作	论文数	省际合作	论文数
南京-苏州	5144	南京-上海	14612

南京-无锡	3558	杭州-上海	8999
常州-南京	2559	杭州-南京	6470
杭州-宁波	2538	合肥-南京	5401
南京-镇江	2435	合肥-上海	5283
南京-扬州	2054	上海-苏州	4812
南京-南通	1755	合肥-苏州	2344
南京-盐城	1295	宁波-上海	2172
苏州-无锡	885	上海-无锡	1915
杭州-金华	799	杭州-合肥	1796

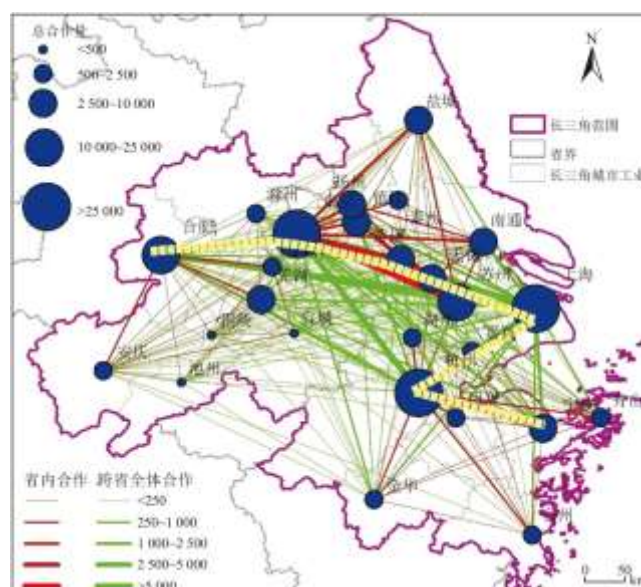


图 2 长三角城市知识合作网络图

2.2 长三角城市的度中心性与中介中心性

在长三角知识合作网络中，26 个城市的度中心性与中介中心性相关性为 0.849，上海、南京、杭州、合肥均出现在两种中心性的前四位，安徽省的安庆、滁州、宣城、铜陵、池州均排在最后(图 3)。值得注意的是，除南京、上海、杭州、合肥外，其余城市的中介中心性均为 0，说明该知识网络中轴辐效应明显，直辖市和省会城市拥有较强的知识流控制力，其余城市的点对点直接合作联系强度低。长三角地区的高能级城市承担着对内知识资源溢出辐射和对外知识资源迁移吸纳的门户作用^[34]，在整个网络中具有不可或缺的地位。此外，这 4 个城市知识生产力(度中心性)也占到区域整体的 64%。在知识合作网络中，上海的知识生产力和控制力在南京之下，这与 Li 等^[26]的发现一致。南京在长三角科学知识合作网络中的主导地位不仅得益于其拥有较多的知名大学和研究机构，还在于其对安徽的辐射与虹吸作用，使得边缘城市主要通过南京参与长三角知识合作。上海的排名次之并非因为其缺乏创新能力和科研资源，而首先是因为其作为直辖市没有省内联系所致，其次是因为上海作为科研创新中心并不局限

于长三角区域，而已延伸至全国乃至全球尺度，北京、广州抑或是纽约、伦敦则是上海主要的连结对象。此外，上海的度中心性高于杭州和合肥，但中介中心性次之，可见中介中心性高的城市通常大概率具备较高的度中心性，因为其容易通过自身的联通优势提高度中心性^[35]。而度中心性高的城市不一定都拥有较高的中介中心性，因为城市知识合作的过程中，不仅要加强对外知识合作的数量，也要注重优化对外知识合作的结构，将强化“本地喻鸣”和拓展“全球管道”相结合，充分发挥知识资源的集聚效应与溢出效应^[19]。

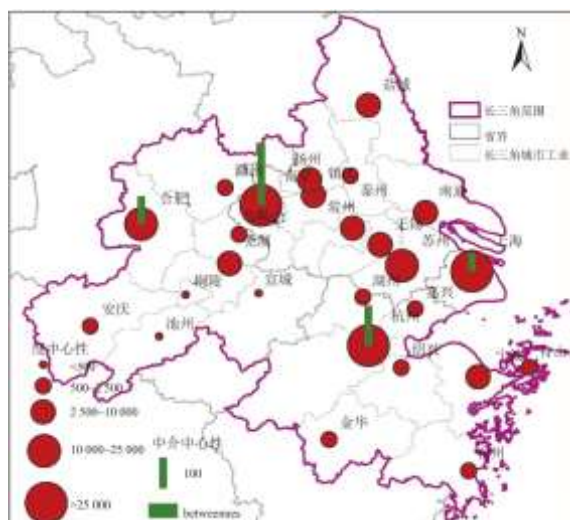


图 3 长三角城市中心性的空间格局

从知识合作生产的构成来看(图 2),江苏城市的省内外合作较为均衡,城市度中心性的基尼系数为 0.528,除南京外苏州、无锡的知识生产能力也较强,为呈现多极发展。9 个城市平均度中心性为 11643,其中 5689 篇论文是来自与省外城市的合作,5954 篇是省内合作。安徽 8 个城市的知识生产量平均为 2999 篇,基尼系数最高,为 0.739,省内合作量占比仅 14.4%,省内省外知识合作都主要靠合肥单中心发展。浙江 8 个城市的平均知识合作量介于江苏和安徽之间,为 5799 篇,基尼系数为 0.582,省内合作占比为 35.0%,由杭州和宁波双核组织。

2.3 长三角城市知识合作网络的影响因素

基于空间格局特征的分析,可以推测城际知识要素流动的影响因素主要有三类:基于城市(知识资源)规模和城际距离的重力型因素、区域本底的空间异质性因素、以及行政级别等特殊因素。首先,依据地理学第一定律,城际联系被认为同城市规模成正比,同城际距离成反比,规模和距离是塑造城际要素流动的主要因素^[36]。根据城际知识合作的特性,研究选取人口、地区生产总值、研发投入、普通高校数量四个维度的指标来表征城市知识合作规模。其次,考虑到历史文化原因,长三角内部文化、经济等空间异质性较为明显,亦可能影响城际要素流动格局^[26]。例如,太湖周边和浙南山区由于文化分割,彼此间心理距离相对较远,一定程度上会弱化知识等要素的密切联系。基于此,研究根据合作城市是否归属于同一方言区来衡量文化邻近性的影响。最后,行政分割和行政等级因素亦塑造了长三角内部流动空间组织模式:一方面,长三角三省一市的行政壁垒被认为是阻碍城际要素自由流动的主要障碍;另一方面,不同行政等级城市的关系组合(比如省会与地级市,地级市与地级市等)也影响了城际相互作用的方向和强度^[37]。

基于以上分析,本研究提出 3 个假设:城市规模、研发投入、高校数量对长三角城市间的论文合著数量有正向显著影响(H1);空间距离和行政边界对长三角城市间的论文合著数量有负向显著影响(H2);文化邻近性和行政等级对长三角城市间的论文合著数量有正向显著影响(H3)。由于 26 个城市两两间的地区生产总值乘积与研发投入乘积自变量矩阵的 QAP 相关性接近 1,故城市规

模仅用常住人口表示，而不考虑地区生产总值变量。在此基础上，根据公式(3)的 QAP 回归模型，具体构建论文合著网络回归模型如公式(4)所示。

$$\begin{aligned} \ln Citypair_{ij} = & \beta_0 + \beta_1 \ln (POP_i POP_j) + \\ & \beta_2 \ln (R\&D_i R\&D_j) + \beta_3 \ln (UNI_i UNI_j) + \\ & \beta_4 \ln DIS_{ij} + \beta_5 \ln BOU_{ij} + \beta_6 \ln CUL_{ij} + \\ & \beta_7 \ln ADM_{ij} + \varepsilon_{ij} \end{aligned} \tag{4}$$

式中：β₁到β₇为自变量系数；POP_i、POP_j、R&D_i、R&D_j、UNI_i、UNI_j分别为城市i与城市j的人口、研发投入和普通高校数量；lnDIS_{ij}为城市i与城市j的距离；lnBOU_{ij}、lnCUL_{ij}、lnADM_{ij}为表征行政边界、文化邻近性、行政等级的虚拟变量0和1。具体而言，lnBOU_{ij}反映城市i与城市j的是否属于同一个省份；lnCUL_{ij}反映城市i与城市j的是否属于同一个方言文化区。根据中国语言地图集^[38]，上海、杭州、苏州、无锡、宁波、常州、嘉兴、湖州、舟山为吴语太湖片；台州为吴语台州片；金华为吴语金衢片；南通、泰州为江淮官话泰如片；安庆为江淮官话黄孝片；南京、合肥、镇江、扬州、芜湖、盐城、马鞍山、滁州、铜陵、池州和宣城为江淮官话洪巢片。lnADM_{ij}反映Citypair_{ij}所涉及城市是否有行政级别较高。上海为直辖市，南京、合肥、杭州为省会城市，宁波为计划单列市，因此涉及这5个城市的论文合作联系的lnADM_{ij}均赋值为1。所涉及26个城市的社会经济指标来源于各市2019年统计公报、部分城市2020年统计年鉴、科技局、统计局网站和政府工作报告。需要说明的是，在自变量和应变量取对数时，为避免0值带来的困扰，对所有原始值作加1处理，且不违背回归模型的稳健性。同时，自变量和因变量均以矩阵形式参与回归模型，以便进行QAP检验。

根据构建的网络回归模型，首先在Ucinet64中对所有自变量矩阵与因变量矩阵进行QAP相关性分析，由表2可知，人口、研发投入、高校数量、行政等级、文化邻近性均与城际论文合著量呈现正相关，而距离和行政边界与城际知识合作为负相关。从显著性水平看，文化邻近性的相关性最弱。根据QAP相关分析结果，将所有自变量矩阵均导入Ucinet64，与因变量矩阵进行QAP回归分析，经过2000次矩阵置换计算后得到表3的结果。

表 2 QAP 相关分析

自变量	POP	R&D	UNI	DIS	BOU	CUL	ADM
QAP 相关性	0.694***	0.806***	0.879***	-0.519***	-0.140**	0.298*	0.662***

注：*p<0.1；**p<0.05；***p<0.01.

表 3 QAP 回归结果

Number of permutations performed: 2000								
MODEL FIT R ² =0.922 Adj. R ² =0.921 Probability=0.000 # of Obs=650								
自变量	POP	R&D	UNI	DIS	BOU	CUL	ADM	Intercept
Beta	0.186	0.531	0.786	-1.335	-0.332	0.090	0.417	-0.013

p 值	0.048	0.000	0.000	0.000	0.014	0.232	0.036	
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--

由回归结果可知, H1 假设成立, 城市人口规模、研发投入、高校数量对城际知识合作有促进作用, 其中人口的影响最小且显著性最低, 而普通高校数量的影响最强且最显著。合作城市的高校数乘积每增加 1%, 则这两个城市的论文合作数量增加 0.786%; 研发投入乘积每增加 1%, 城市间论文合作量增加 0.531%。H2 假设也成立, 距离衰减效应在长三角知识合作网络中仍然存在^[39], 合作城市的空间距离每增加 1%, 其之间的论文合作数量减少 1.335%。由前文可知, 这是非省会城市间的跨省合作较少所致, 长三角城市间的知识合作模式总体表现为高能级城市间的远程跃迁与中小城市的邻近链接相结合。段德忠等^[21]对城市专利技术转移网络的研究, 也发现地理距离对科技知识网络的阻抗作用愈发凸显, 中国城市创新网络有较强的地理邻近性。行政边界也有一定程度的阻碍, 但不如距离阻力大, 跨省的合作会使得城市论文合作量减少 0.332%。总体而言, 行政隶属关系对长三角知识合作联系的负向影响相对弱化, 而距离衰减和路径依赖的特征明显^[40]。H3 假设仅部分成立, 在所研究的自变量中行政等级效应显著, 有行政级别高的城市参与的知识合作, 其论文合作量会增加 0.417%。高行政等级的城市往往集聚了研发实力强大的高校、科研院所、国家级实验室等“锚机构”, 占据着知识创新的高地, 对知识生产力和控制力均较强。区域知识流整体趋向长三角核心区极化(如图 2 的“Z”型发展带), 各省内部知识合作的“核心-边缘”现象亦较为显著。然而, 用方言区表征的文化邻近性对知识合作的影响没有通过显著性检验, 这主要由于当前普通话的普及, 方言使用率较低所致; 同时, 也可能与长三角的研究尺度较小且经济发达, 区域一体化较好, 所有城市基本属于同一个大文化区有关。

3 结论与讨论

本文通过 2015~2019 年 WOS 上合著科研论文数据, 构建长三角 26 个城市间的知识合作网络, 分析城际知识合作联系和城市中心性的空间格局特征, 并通过 QAP 网络回归定量分析其影响因素, 得到以下结论:

(1) 从空间格局看, 长三角城际知识合作联系和城市中心性均存在明显的空间异质性, 知识流密集区位于沪宁合杭甬“Z”型发展带上, 其余城市较为边缘, 排名前 10% 的城市合作联系汇聚了 80% 的知识流。南京、上海、杭州、合肥的度中心性和中介中心性均位列前四, 安徽省的安庆、滁州、宣城、铜陵、池州落在最后。南京的知识生产力和控制力均超过上海, 位列长三角之首。江苏城市的省内外合作量较高且均衡, 除南京外苏州、无锡的知识生产能力也较强, 呈现多极发展。安徽城市的知识生产量较低, 省内合作稀疏, 主要靠合肥单中心发展。浙江城际知识合作密度介于江苏和安徽之间, 且杭州和宁波双核结构明显。

(2) 从影响因素看, 人口规模、研发投入、高校数量对城际知识合作有促进作用, 其中人口的影响最小且显著性最低, 而高校的影响最突出。合作城市的研发投入和高校数量乘积每增加 1%, 城市间论文合作量分别增加 0.531% 和 0.786%。距离衰减效应在长三角知识合作网络中仍然存在, 合作城市的空间距离每增加 1%, 论文合作数量减少 1.335%。行政边界也有一定程度的阻碍, 但不如距离阻力大, 跨省的合作会使得城市论文合作量减少 0.332%。用方言区表征的文化邻近性对知识合作没有显著影响。行政等级效应亦较为明显, 有高行政级别城市参与的知识合作, 其论文合作量会增加 0.417%。

本文从知识流视角解读长三角空间组织结构, 可为交通流、企业流、信息流、游憩流提供有益补充。长三角地区各省市地域相近、文化相通、经济相连, 具有区域协作发展的良好条件。但整个区域的知识流仍呈现一定程度的极化, 需积极培育除省会城市外的新增长极, 加大对边缘地区的研发投入, 促进科教资源的优化配置; 城市需重视通过多种途径和政策大力引进人才, 提高知识合作生产能力; 同时还需优化综合交通和科研环境配套, 努力为科研合作破除空间障碍和行政壁垒。本研究也存在一定不足, 如论文合作数据从 WOS 数据库爬取, 没考虑中文期刊数据库(如知网、万方、维普等), 未来可深入探讨多源数据下结果的稳健性^[14]; 文化邻近性受到量化方式影响而结果不同于前人研究^[25], 本文中采用方言分区得到不显著的结果; 此外, 未考虑科研政策、技术合作、产业邻近^[21]等因素对知识网络的影响, 这些均为未来需深入研究的方向。

参考文献:

-
- [1]TAYLOR P J. World cities network:A global urban analysis[M]. London:Routledge, 2004.
- [2]MEIJERS E, BURGER M. Stretching the concept of ‘borrowed size’ [J]. Urban Studies, 2017, 54(1):269-291.
- [3]CAPELLO R. The city network paradigm:Measuring urban network externalities[J]. Urban Studies, 2000, 37(11):1925-1945.
- [4]戴靓, 曹湛, 张维阳, 等. 多重空间流视角下长三角城市网络特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(6):1280-1289.
- [5]吴康, 方创琳, 赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征[J]. 地理研究, 2015, 34(4):711-728.
- [6]吕拉昌, 梁政骥, 黄茹. 中国主要城市间的创新联系研究[J]. 地理科学, 2015, 35(1):30-37.
- [7]马双, 曾刚. 长江经济带城市间的创新联系及其空间结构分析[J]. 世界地理研究, 2018, 27(4):57-65.
- [8]FISCHER M M, GRIFFITH D. Modeling spatial autocorrelation in spatial interaction data:An application to patent citation data in the European Union[J]. Journal of Regional Science, 2008, 48(5):969-989.
- [9]SCHERNGELL T, BARBER M. Distinct spatial characteristics of industrial and public research collaborations: Evidence from the 5th EU framework program[J]. Annals of Regional Science, 2011, 46(2):247-266.
- [10]MA H, FANG C, PANG B, et al. Structure of Chinese city network as driven by technological knowledge flows[J]. Chinese Geographical Science, 2015, 25(4):498-510.
- [11]刘承良, 管明明. 基于专利转移网络视角的长三角城市群城际技术流动的时空演化[J]. 地理研究, 2018, 37(5):981-994.
- [12]李丹丹, 汪涛, 魏也华, 等. 中国城市尺度科学知识网络与技术知识网络结构的时空复杂性[J]. 地理研究, 2015, 34(3):525-540.
- [13]MATTHIESSEN C W, SCHWARZ A W, FIND S. World cities of scientific knowledge:Systems, networks and potential dynamics. An analysis based on bibliometric indicators[J]. Urban Studies, 2010, 47(9):1879-1897.
- [14]MA H, FANG C, LIN S, et al. Hierarchy, clusters, and spatial differences in Chinese inter-city networks constructed by scientific collaborators[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(12):1793-1809.
- [15]胡海鹏, 吕拉昌, 黄茹, 等. 基于创新流视角的广东省城市创新体系与职能[J]. 城市发展研究, 2015, 22(6):71-76.
- [16]徐宜青, 曾刚, 王秋玉. 长三角城市群协同创新网络格局发展演变及优化策略[J]. 经济地理, 2018, 38(11):133-140.
- [17]马海涛. 知识流动空间的城市关系建构与创新网络模拟[J]. 地理学报, 2020, 75(4):708-721.
- [18]CASTELLS M. The rise of the network society[M]. Oxford:Blackwell, 1996.

-
- [19]BATHELT H,MALMBERG A,MASKELL P.Clusters and knowledge:Local buzz,global pipelines and the process of knowledge creation[J].Progress in Human Geography,2004,28(1):31-56.
- [20]SCHERNGELL T,HU Y.Collaborative knowledge production in China:Regional evidence from a gravity model approach[J].Regional Studies,2011,46(6):755-772.
- [21]段德忠,杜德斌,谌颖,等.中国城市创新网络的时空复杂性及生长机制研究[J].地理科学,2018,38(11):1759-1768.
- [22]孙阳,张落成,姚士谋.长三角城市群“空间流”网络结构特征——基于公路运输、火车客运及百度指数的综合分析[J].长江流域资源与环境.2017,26(9):1304-1310.
- [23]李仙德.基于上市公司网络的长三角城市网络空间结构研究[J].地理科学进展.2014,33(12):1587-1600.
- [24]熊丽芳,甄峰,王波,等.基于百度指数的长三角核心区城市网络特征研究[J].经济地理,2013,33(7):67-73.
- [25]ZHANG W,DERUDDER B,WANG J,et al.An analysis of the determinants of the multiplex urban networks in the Yangtze River Delta[J].Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie,2020,111(2),117-133.
- [26]LI Y,PHELPS N A.Megalopolis unbound:Knowledge collaboration and functional polycentricity within and beyond the Yangtze River Delta Region in China,2014[J].Urban Studies.2018,55(2):443-460.
- [27]TAYLOR P J,DERUDDER B.World city network:A global urban analysis (2nd edition) [M].New York:Routledge,2016.
- [28]戴靓,曹湛,朱青,等.中国城市群知识多中心发展评价[J].资源科学,2021,43(5):886-897.
- [29]FREEMAN L C.Centrality in social networks' conceptual clarification[J].Social Networks,1979,1(3):215-239.
- [30]SMITH D A,TIMBERLAKE M F.World city networks and hierarchies,1977-1997:An empirical analysis of global air travel links[J].American Behavioral Scientist,2001,44(10):1656-1678.
- [31]NEAL Z.Differentiating centrality and power in the world city network[J].Urban Studies,2011,48(13):2733-2748.
- [32]陈硕,张维阳,高建华.铁路交通流视角下中原城市群城市体系演变:基于城市中心性与中介性的分析[J].人文地理,2019,34(6):62-70,90.
- [33]KRACKHARDT D.Predicting with networks:Nonparametric multiple regression analysis of dyadic data[J].Social Networks,1998,(10):359-381.
- [34]庄德林,梁晶,许基兰,等.基于生产性服务业的中国省会城市网络结构研究[J].地理与地理信息科学,2020,36(1):113-120,128.

-
- [35]BURT R S.Structural holes:The social structure of competition[M].Cambridge,MA:Harvard University Press, 1992.
- [36]TOBLER W R.A computer movie simulating urban growth in the Detroit region[J].Economic Geography,1970,46:234-240.
- [37]MA L J.Urban administrative restructuring,changing scale relations and local economic development in China[J].Political Geography,2005,24,477-497.
- [38]中国社会科学院语言研究所,等著.中国语言地图集(第2版)[M].北京:商务印书馆,2012.
- [39]黄鑫楠,孙斌栋,张婷麟.地理距离对互联网社会中网络信息传播的影响[J].地理学报,2020,75(4):722-735.
- [40]王凯,甘畅,杨亚萍,等.长江中游城市群市域旅游经济网络结构演变及其驱动因素[J].地理与地理信息科学,2019,35(5):118-125.