

高校与生物医药企业创新结网的影响机制

——以长三角为例

万媛媛^{1, 2} 王秋玉^{1, 3} 曾刚^{1, 2} 曹贤忠¹ 郭艺^{1, 21}

(1. 华东师范大学 中国现代城市研究中心, 中国 上海 200062;

2. 华东师范大学 城市与区域科学学院, 中国 上海 200241;

3. 上海社会科学院 经济研究所, 中国 上海 200020)

【摘要】: 高校与企业创新结网是经济地理学研究的重要议题, 作为创新网络中的“创新源”和“桥接者”, 高校如何作用于创新结网尚待深入研究。文章以生物医药产业作为研究对象, 借助 2000—2018 年合作专利数据, 运用社会网络分析、负二项回归分析方法, 探索高校在生物医药创新网络中的地位及作用机制。研究表明, 长三角内部合作以省会(直辖市)等发达城市为中心形成等级扩散, 而外部与北京、深圳等城市形成重点合作; “双一流”建设高校占据创新网络中心地位, 高校等级是与生物技术企业合作的关键, 学科优势、地理邻近性则利于高校与制药企业结网; 高校基于不同知识基础与产业内各行业企业合作是创新的关键。

【关键词】: 创新结网 高校创新 影响机制 生物医药产业 长三角 科技创新共同体 创新网络

【中图分类号】: F129.9 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2022) 07-0146-13

战略性新兴产业代表着未来科技和产业发展新方向, 发展战略性新兴产业是推动经济新一轮发展、抢占未来全球竞争制高点的重要战略^[1, 2]。2020 年发布的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》指出需重点加快壮大以生物技术、新一代信息技术、新能源等为核心的战略性新兴产业。生物医药产业作为我国战略性新兴产业的典型代表, 近年来受到国家高度重视, 2018 年国家级高新区生物医药产值较上年增长 19.74%, 占国家级高新区总产值的 23.58%, 总体发展势头迅猛。2019 年, 生物医药产业已明确成为长三角区域一体化及高质量发展的十大聚焦产业之一, 其创新发展是助力长三角打造全国先进制造业集聚区的重要动力。然而, 2022 年《美国竞争法案》的通过加剧了中美两国之间的竞争和对立, 阻碍了生物医药产业借助跨国公司从国外引进新兴技术这一重要发展模式, 因此, 在亟需畅通国内大循环、国内国际双循环的大背景下, 高校作为我国创新人才的集聚地、基础研究和高技术等基础性创新的主要源泉, 重视与高校的深度合作对以生物医药为代表的高技术产业发展具有重要作用^[3]。

作者简介: 万媛媛 (1997—), 女, 湖北武汉人, 博士研究生, 研究方向为创新网络与区域产业发展。E-mail: wyyuan9710@163.com; 曾刚 (1961—), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 研究方向为生态文明与区域发展方式、创新网络与产业集群。E-mail: gzeng@re.ecnu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (42130510); 国家自然科学基金青年项目 (41901158); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目 (17JJD790006)

近年来,区域创新系统研究受到经济地理学者的重视。区域创新系统是基于企业、高校、科研机构、政府等创新主体,借助创新要素流动带动主体间交互作用而形成的区域性组织系统,其形成对促进企业创新发展、推动地区经济增长具有重要意义^[4,5,6]。三螺旋模型也肯定了高校、企业和政府三者互动对创新与增长的积极作用^[7,8],其中高校的重要功能在于知识生产、人才输出和创新创业^[9,10]。然而,目前以高校为主体的创新网络研究较为匮乏。多数创新网络研究强调了企业在创新网络中的主体地位,并从工业企业、高新技术企业、创新型企业、上市公司等视角出发探讨创新网络形成的影响因素、影响机制及外部性等^[11,12,13,14],而高校作为高新技术产业“创新源”在创新网络形成与发展过程中的作用有待挖掘。也有学者基于传统的产学研理论从高校的基本功能出发强调了其在区域创新系统中的重要地位,然而,随着技术发展以及迂回生产程度的提高导致生产过程被划分为一系列有关联的生产环节,分工与交易的复杂化使得不同类型高校与产业内不同行业企业达成合作的机制仍是一个“黑箱”^[15],现有理论研究中关于高校如何成功参与产业分工及企业创新过程仍有待进一步明确。最后,生物医药是推动长三角区域一体化的重要产业,目前经济地理学者主要围绕战略性新兴产业创新网络的空间结构展开研究^[16,17],而对创新结网机制探讨不足,因此,本文以高校为主体开展长三角生物医药企业创新网络研究有助于深入理解创新网络形成过程,丰富产学研理论,完善创新网络研究。

综上所述,选取生物医药产业作为典型案例开展高校与企业创新结网影响机制研究具有重要意义。长三角地区是国内生物医药产业核心区,生物医药发展处于国内领先地位,但目前仍存在产业布局分散,创新合作积极性不强,高校作用未得以充分发挥等问题,产业创新动能亟需挖掘。基于此,本文选取长三角生物医药产业为例,探析“高校”在企业创新网络演化中的定位及作用体现,并形成高校与生物医药企业创新结网的影响机制。希望通过本研究,揭示高校作为我国战略性新兴产业创新网络“创新源”和“桥接者”的作用,进一步为产业创新发展提供参考,丰富当前创新网络相关理论。

1 理论假设

高校、研究机构、生物技术和制药企业所组成的创新网络是生物医药产业创新实现的关键^[18]。产业内相关企业如何选择、组织、管理外部知识来源并积累网络资本将影响技术成果的研发与转化,对产业发展具有重要作用^[19,20]。然而,近年来高校异质性开始受到关注,相关学者从区域发展差异^[21],多维邻近性^[22,23]及高校相关属性^[24]等多方面对高校参与创新合作的对象选取、影响因素展开具体研究。其中,机构声誉、地理邻近性、基金研究及合作经验是已有研究中的重点问题^[25,26,27,28],目前,学者多围绕其中某一项特征进行着重探讨,而上述特征孰轻孰重、产业分工下是否存在异质性影响等问题尚无定论,基于此,本文将上述高校特征纳入同一理论框架,从四方面探究高校与生物医药企业创新结网的影响因素,以期更为客观地从高校视角解析生物医药产业网络形成的影响机制。

首先,由于高校有效转移知识的能力往往存在较大差异,机构声誉会影响高校外部结网能力^[25,29]。企业与高校结网的先决条件是承认其总体实力和专业水准,因此声誉高的高校更有可能吸引企业达成合作^[30,31]。国内对高校等级的衡量经历了从 985、211 至“双一流”建设高校的转变,在“双一流”建设下,学科质量不再受到高校身份影响。故本文以“双一流”建设高校表征高校地位,将高校总体水平与学科建设质量进行综合考虑以期更为全面理解高校在产业中的定位。尽管“双一流”建设高校名单正式公布于 2017 年,但其表征的高校实力需要经过长期的积累方可达成,充分反映了社会对高校科研实力的认可。另一方面,高校医学院由于具有人才输出、创新研究等功能,是生物医药产业重要的“创新源”,有助于增强生物医药产业的区域发展优势^[32]。以生物技术为核心的基础研究是生物医药产业的开端,总体水平高、医学专业实力强的高校有助于为企业合作研发提供先进的设备、人才等创新资源,带动生物医药产业的健康发展。

HH1a:“双一流”身份能更为有效地促进高校与生物医药企业创新结网

HH1b:“高校设置医学院”能更为有效地促进高校与生物医药企业创新结网

其次,合作关系的建立会受到地理距离的影响。一方面,生物技术产业作为典型的解析型产业,受距离衰减影响较小、可远

距离传播的编码知识在产业知识中占据主导地位^[33]，生物技术企业更倾向于通过社会、认知邻近性与外部创新主体联系，即实现跨界、跨文化背景的合作，使得一流研究机构、大学或咨询公司的知识可以跨区域为企业所用^[32, 34]。另一方面，出于商业化成本及与高校长期稳定的合作考虑，重点实现研究成果产品化的制药企业倾向于分布在高校周边以获取本地知识溢出^[35]，地理邻近性对高校与制药企业结网具有促进作用。

HH2：地理邻近性对高校与制药企业创新结网具有促进作用，而对高校与生物技术企业创新结网不具有影响

第三，基金项目研究是高校学科优势和研发实力的有力表征，而高校优势学科和研发资助强度差异对高校外部结网能力存在影响。一方面，高新技术产业的重大科研成果往往是多学科交叉融合的结果^[36]。在生物医药领域，Powell 指出生物技术的知识基础是免疫学和分子生物学，而制药阶段的知识基础则为有机化学，由于产业内不同阶段的知识基础不同^[37]，相应基金项目的产业支撑作用也不同；另一方面，高校是开展科研活动的重要基地，在高校引入竞争性资助机制有助于提升研究生产力^[38]，而且科研经费投入是开展科学研究资金保障，已有研究表明，拥有相关基金资助的学者往往会实现更高的研究绩效和成果转化，并带动学术界与产业界的合作^[39]，因此，生物医药产业中校企创新结网会受到高校基金项目研究资助强度影响。国家自然科学基金作为支持高校基础研究的主渠道之一，面向全国范围，重点资助具有良好研究条件、研究实力的高等院校和科研机构中的研究人员，其中，面上项目是自然科学基金资助体系的主要部分，有助于实现高校从以往专注教学、培养人才到承担基础科研重任的转变，对产业发展具有重要作用。

HH3a：不同学部基金项目对生物医药产业下高校与不同类型企业创新结网影响存在差异

HH3b：项目资助强度对生物医药产业高校企业创新结网具有促进作用

最后，合作经验作为高校质量的表征，主要通过促进与企业间的知识交流帮助高校建立社会资本，开拓创业机会并培养学者执行复杂和风险任务（如新产品和流程开发创新）的能力^[40, 41]。已有研究中，Bellini 等以意大利坎帕尼亚地区 ICT 产业中小企业为例，指出高校与企业的合作经验对企业从合作中获益具有积极影响^[18]。Johnston 等以英国农村的知识密集型产业为例，发现高校企业创新结网的形成不仅是空间因素的结果，同时也有赖于过往的合作经验^[26]。上述研究均指出，对于知识密集型产业而言，合作经验对高校企业达成合作具有重要作用。

HH4：合作经验对高校与生物医药企业创新结网具有促进作用

2 研究设计

2.1 研究方法

本文基于专利合作数据建立 2000—2018 年长三角地区生物医药产业合作创新网络，借助 Ucinet 软件，通过社会网络分析（SNA）方法分析网络结构特征。中介中心度反映了主体在网络结构中的联结能力，是衡量网络地位的重要标准^[27]。行动者 i 的中介中心度定义如式（1）。其中， g_{jk} 指行动者 j 到行动者 k 的最短路径， $g_{jk}(i)$ 是从行动者 j 到行动者 k 且经过行动者 i 的最短路径。其值位于 $[0, (g-1)(g-2)/2]$ 区间内。

$$C_B(i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (1)$$

此外，本文采用回归分析方法检验高校与生物医药相关企业创新结网的影响因素。其中，因变量以 2000—2018 年高校中介

中心度表征, 自变量包括高校属性、地理距离、基金研究、合作经验四方面。高校属性与假设 H1 相关, 包括“是否为‘双一流’建设高校”(假设 H1a)、“是否设置医学院”(假设 H1b); 地理距离与假设 H2 相关, 以 2000—2018 年生物医药产业合作网络中高校与企业间的距离表征; 基金研究与假设 H3 相关, 包括 2000—2018 年生物医药产业合作网络中高校主体的基金项目数量(假设 H3a)及项目资助强度(假设 H3b); 合作经验与假设 H4 相关, 以 2000—2018 年生物医药产业合作网络中高校与同类型企业合作联系数量表征。由于因变量为整数且方差大于均值, 故选用负二项回归模型进行高校与生物医药企业创新结网影响因素分析。回归模型设定及变量引入如下:

$$BC_i = \beta_0 + \beta_1 \ln First_class_i + \beta_2 \ln Medical_i + \beta_3 \ln Distance_i + \beta_4 \ln Fund_i + \beta_5 \ln Grant_i + \beta_6 \ln Colla_exp_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中: i 为 2000—2018 年与生物科技企业、制药企业创新结网的高校主体; 因变量 BC_i 为 i 高校在生物技术、制药校企合作网络中的中介中心度; $First_class_i$ 为 i 高校等级的虚拟变量, 是“双一流”建设高校计为 1、否计为 0; $Medical_i$ 为 i 高校设置医学院情况的虚拟变量, 拥有医学院计为 1、否计为 0; $Distance_i$ 为 i 高校与企业合作主体间的平均距离; $Fund_i$ 为 i 高校生物医药相关学科基金项目数量, 以化学科学部、生命科学部、医学科学部国家自然科学基金面上项目数量表征; $Grant_i$ 为 i 高校项目资助强度, 以高校生物医药相关学科国家自然科学基金面上项目的平均资助金额表征; $Colla_exp_i$ 为 i 高校与同类型企业专利合作联系数量。

2.2 数据来源

上海市知识产权信息公共服务平台囊括 70 多个国家、地区及国际组织的专利数据, 应用于众多创新网络相关研究中^[42, 43], 且上海市知识产权服务中心于 2005 年正式成立《长三角地区知识产权服务、专利交易合作办公室》以重点服务于长三角知识产权合作及往来, 因此本文基于此平台获取长三角三省一市生物医药专利数据, 数据采集于 2020 年 12 月 11 日, 考虑到专利申请至审批过程的滞后性, 将时间限定为 2000—2018 年, 获取生物医药合作发明专利数据 7521 条, 其中, 合作发明专利仅占发明专利的 10% 左右^[44, 45], 高校、企业等机构主体间合作创新的积极性有待提高。由于本文重点关注生物科技企业、制药企业与高校间的合作, 故整理长三角三省一市生物医药产业高校、企业合作信息 1816 条。通过企查查网站确认企业在生物医药产业链中的定位, 经营范围中包含基因工程、基因治疗、蛋白抗体、酶等技术的确定为生物科技企业, 包含药物制造、疫苗制剂等技术的确定为制药企业, 最终保留高校与生物科技企业、制药企业的合作联系。

高校属性数据主要包括“双一流”建设高校名单、医学院设置情况以及基金研究数据。其中, 医学院设置情况收集自高校官方网站信息; 基金研究数据收集自国家自然科学基金委员会发布的 2000—2018 年度国家自然科学基金资助项目统计, 共包括化学科学部、生命科学部、医学科学部 3 个学部的面上项目数量及资助金额, 缺失数据通过 LetPub 网站数据库 (<https://www.letpub.com.cn>) 进行补充。

2.3 研究概况

生物医药产业作为典型的知识密集型产业, 具有高技术、高投入、高风险、高收益、长周期等高新技术产业共性特征, 也具有产业链细分程度高、研发依赖创新合作等特殊特性(图 1)。产业上游基础研究环节是新药开发的基础, 主要利用基因工程、蛋白质工程等生物技术进行药物设计(建立生物学模型)、先导化合物的筛选, 最终确定并优化候选药物; 中游应用研究环节主导上游研发成果产品化的实现, 产品类别包括疫苗、抗体、血制品、重组蛋白等; 下游环节主要是市场检验阶段, 包括对成品药的规模化生产、销售、流通并最终流入各类公共卫生机构、药店以开展医疗服务。生物医药研发生产的全过程通常需要借助生物学、化学等多学科知识实现, 制药企业和生物科技企业共同参与基础研究和应用研究是制药产业在新药开发中克服技术和资金

挑战的重要手段^[46]。而高校作为“创新源”，正通过向生物技术企业、制药企业提供人才、知识、设备等创新资源积极融入生物医药产业的上、中游分工。由此，本文着重选取高校参与程度更高的基础研究和应用研究阶段，突出刻画高校与生物技术企业、制药企业的合作网络格局，定位“高校”在生物医药企业创新网络中的作用体现，并整理高校企业创新结网的影响机制。

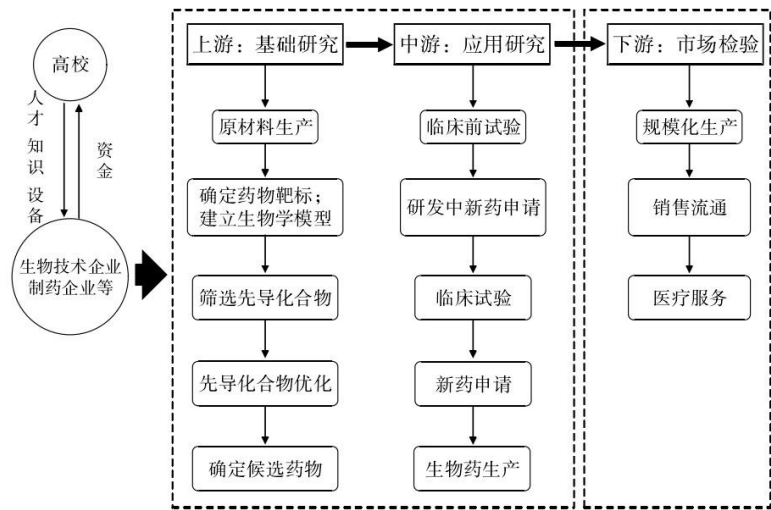


图 1 生物医药产业链分工示意图

长三角作为国内生物医药产业核心区，医药企业集聚程度、企业创收及创新水平均处于领先地位。中国高技术统计年鉴显示，截至 2018 年，长三角地区共集聚了 1758 家医药制造企业，约占全国总量的 23.68%，且年医药制造业营业收入达 6559 亿元，约占全国总量的 27.72%；而就生物医药产业创新而言，上海市知识产权信息公共服务平台生物医药专利数据库显示，截至 2018 年，中国生物医药产业发明专利申请 49.68 万件，其中，长三角地区发明专利申请达到 10.68 万件，约占全国总量的 21.50%，创新水平突出。由此，以长三角生物医药产业为例探析高校企业创新结网影响机制具备充分的研究价值，且可为后续将研究推广至其他地区提供参考。

3 结果分析

3.1 长三角生物医药产业创新合作空间演化

2000—2018 年长三角生物医药产业合作发明专利演化情况如图 2 所示，根据演化趋势可将样本数据划分为 2000—2004、2005—2009、2010—2014、2015—2018 年 4 个阶段，分别表征在 2005、2010、2015 年实现专利数量的关键转折。

长三角生物医药产业创新合作以本地合作为主，城市间合作规模较小（图 3）。2000—2018 年，长三角地区生物医药创新网络规模不断扩大，其中 2005—2009 年达到 1055，较上一区间实现了 278.14% 的增长，至 2015—2018 年，长三角地区合作规模已达到 1639。其中，长三角地区合作以本地合作为主，占总合作的 49.83%，约为城市间合作的 2 倍，上海、南京、杭州、无锡等经济发达城市是长三角地区生物医药合作发生的中心地区，由于创新资源集聚，上述中心城市展现出高水平的要素资源辐射能力^[47, 48]，合作联系由中心城市向地理邻近的周边城市发散，呈现等级扩散模式。本地合作有助于从区域内部获取、分享和重构创新资源，提升城市地位及影响力，然而，过多依赖本地合作则容易陷入技术锁定，相比之下，城市间合作基于技术邻近性吸收外部创新资源、获取市场机会的优势，可与本地合作形成互补，共同促进生物医药产业创新发展^[49]。

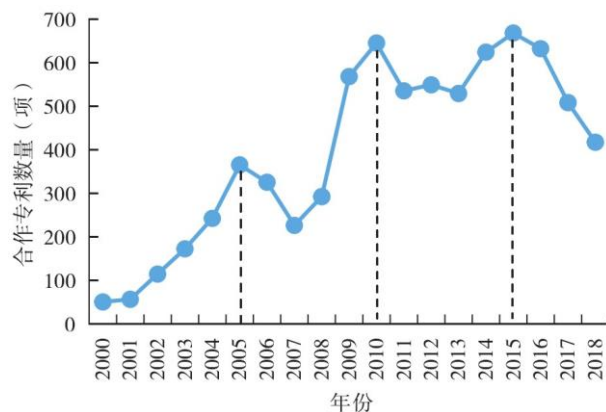


图2 2000—2018年长三角生物医药产业合作发明专利演化情况

上海、南京、杭州、无锡等经济发达城市是长三角内部生物医药合作发生的中心地区，整体网络由单中心向多中心演化，合作联系由中心城市发散形成“中心—腹地”格局（图3）。2000—2018年，上海作为长三角龙头城市，本地合作规模一直居于首位，最高于2010—2014年达到619。上海的本地合作主要以本地高校作为“创新源”与企业、科研机构结网，如复旦大学与上海复康医药科技发展有限公司（2000—2004年，合作6次）、复旦大学与中国科学院上海药物研究所（2005—2009年，合作20次；2010—2014年，合作13次）；2004年后，南京、杭州、无锡与上海本地合作规模的差距逐渐缩小，整体网络由单中心向多中心演化。长三角城市间合作以中心城市为源地向周边城市扩散，上海、南京、杭州等中心城市间交互频繁，江苏省作为重要的化学药品制剂制造中心，与上海、南京等科教发达城市达成合作，如上海与苏州、杭州、连云港、泰州等，南京与苏州、泰州、盐城、无锡等。杭州则倾向与地理邻近的城市合作，如绍兴、台州、宁波等。

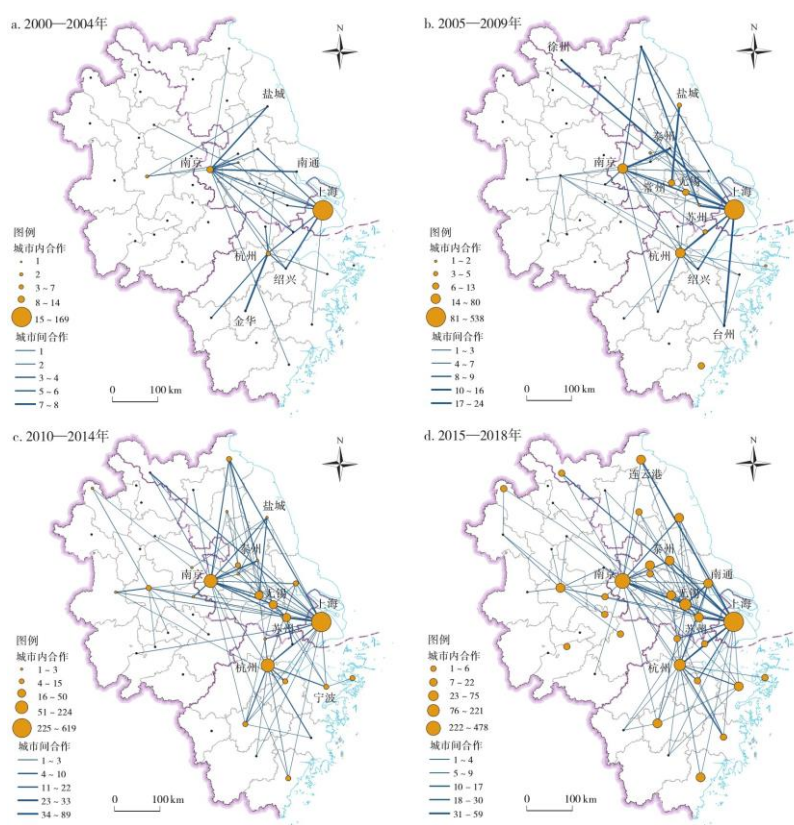


图 3 2000—2018 年长三角地区内各地级市生物医药产业创新合作空间演化

长三角城市与中国其他省份的生物医药合作呈辐射状散开，在强化南北合作主干的同时向中西部城市拓展。北京作为重要的科教中心及创新企业部门扩散和汇聚中心，与包括上海、南京、杭州、苏州在内的众多长三角城市形成广泛联系；而以海口、深圳为代表的具有优势企业的新兴城市对创新企业资源同样具有很强的控制和输出能力^[12]，进而与杭州、上海、南京等城市展开优势合作（图 4）。2000—2004 年，生物医药城市网络结构稀疏，但上海—北京、杭州—海口、上海—深圳等合作的出现锁定了长三角—全国生物医药专利合作的南北主干，2010 年后，南京、杭州、苏州通过与北京的合作强化了“北向”联系，而三亚依托优势企业与上海、苏州形成互动深化了“南向”合作主干，如中国干细胞集团上海生物科技有限公司与三亚市干细胞技术有限公司（2010—2014 年，合作 10 次；2015—2018 年，合作 5 次）、苏州市干细胞技术有限公司与三亚市干细胞技术有限公司（2010—2014 年，合作 5 次；2015—2018 年，合作 10 次）等。另一方面，长三角与中西部城市的生物医药合作逐步拓展，2000—2004 年，以南京农业大学与成都瑞盛高科技有限公司、中牧实业股份有限公司成都药械厂为首的合作推动了长三角—中国生物医药合作向西部探索，后期，上海—昆明（2005—2009 年）、上海—重庆（2010—2014 年）、上海—西安（2010—2014 年）进一步拓展了长三角—中西部城市的生物医药合作，但依旧弱于南北向合作规模。

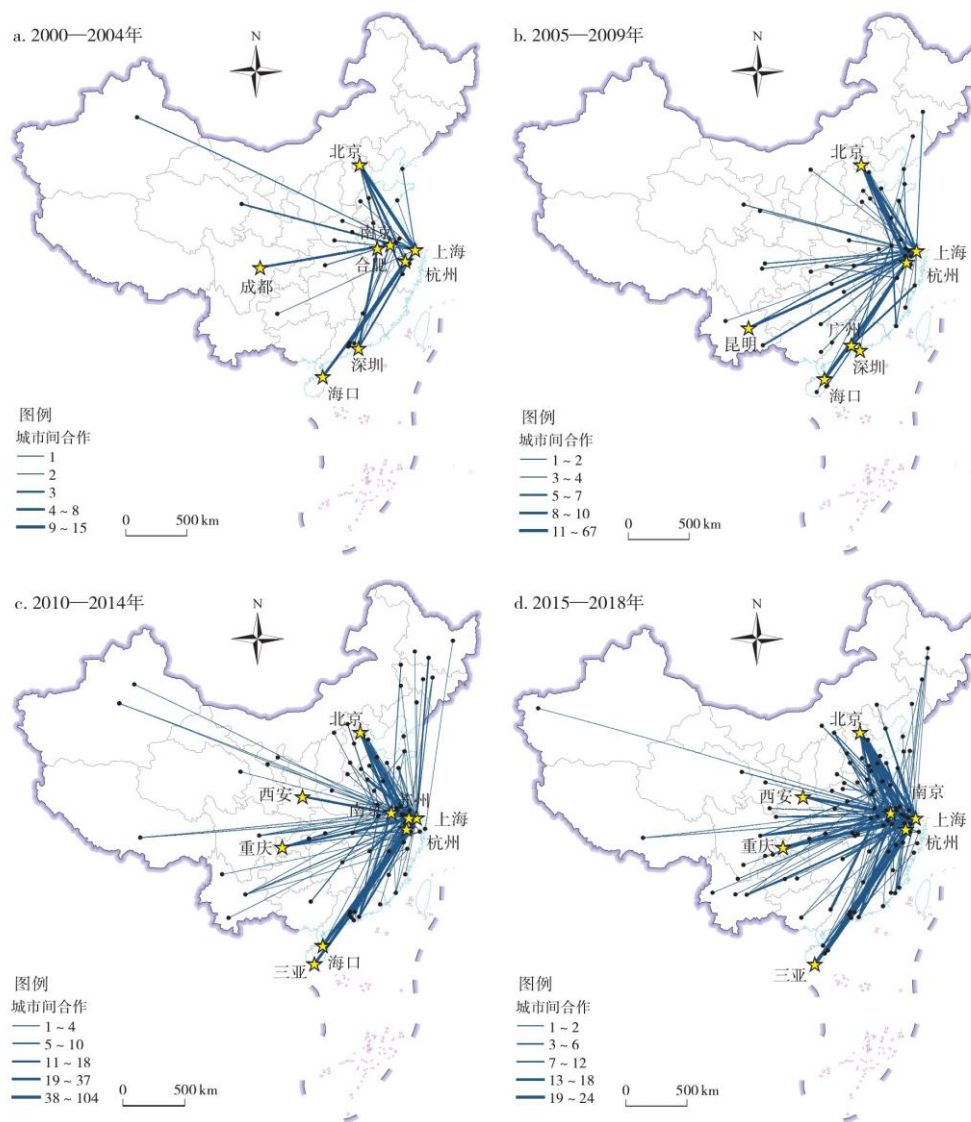


图 4 2000—2018 年长三角—全国生物医药产业创新合作空间演化

注：基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2020)4619 号的标准地图制作，底图无修改。

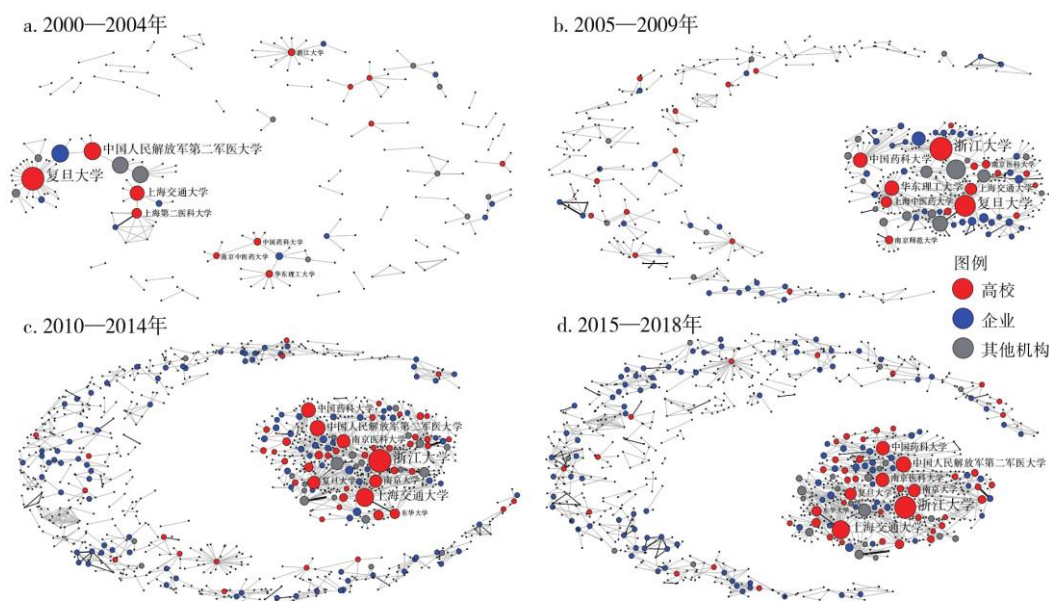


图 5 2000—2018 年长三角生物医药合作专利网络演化

3.2 长三角生物医药产业创新合作网络演化

高校作为“桥接者”始终位于长三角生物医药产业创新网络的中心位置，主导网络向“核心—边缘”格局发展。2000—2018 年长三角生物医药产业合作专利网络拓扑图显示，网络规模从第一阶段的 213 个增加到第四阶段的 915 个，网络活跃度不断增强；整体聚类系数从 1.722 上升至 1.969，网络集聚程度提高，整体朝向以高校为中心的“核心—边缘”网络结构发展（图 5）。2000—2018 年中介中心度排名前 50 位的主体中，高校占比高达 64.00%且“双一流”建设高校在生物医药创新网络演化中始终占据中心地位，如复旦大学、浙江大学、上海交通大学、中国人民解放军第二军医大学等，这些高校均来自于华东地区且代表着相关学科研究的领先水平，在长三角生物医药创新网络中承担了较高比例的知识生产，提高了创新网络主体间的知识溢出效率。

参考生物医药产业特性，高校与产业内不同行业企业结网的影响因素具有异质性。从整体网络中拆分出高校—生物技术企业和高校—制药企业合作子网络如图 6 所示，不同类型企业合作网络中占据中心地位的高校存在差异。经统计，共 69 所高校参与了长三角生物医药产业校企合作网络，其中，与生物技术企业结网的高校有 50 所，与制药企业结网的高校有 44 所。生物技术企业合作网络中（图 6a），中介中心度较高的高校分别为复旦大学（1203）、中国人民解放军第二军医大学（1163）、江南大学（891）、华东理工大学（674）、苏州大学（389）等，以综合类和医学类高校为主，尽管与生物技术企业结网的高校众多，但高校中介中心度极差较小，高校影响力平均，合作网络格局较为分散；对制药企业合作网络而言（图 6b），中国药科大学（6476）、浙江大学（6413）、上海交通大学（3410）、复旦大学（3004）、南京中医药大学（1847）等综合类和理工类高校在网络上中具有较高影响力，合作网络呈现集中格局。

总体来说，在 2000—2018 年生物医药合作创新网络中，高校所占据的中心地位毋庸置疑，且“双一流”建设高校的中介中心度往往更高，这一观点与前人研究类似^[27,50]。细分生物技术企业和制药企业的合作阶段，可见产业内不同类型企业的校企合作网络空间格局和作为“网络中心者”的高校主体及其影响力存在较大差异，说明产业内不同类型企业与高校的合作目的及合作程度不同，探究高校企业创新结网有助于深入剖析产业网络内部结构。

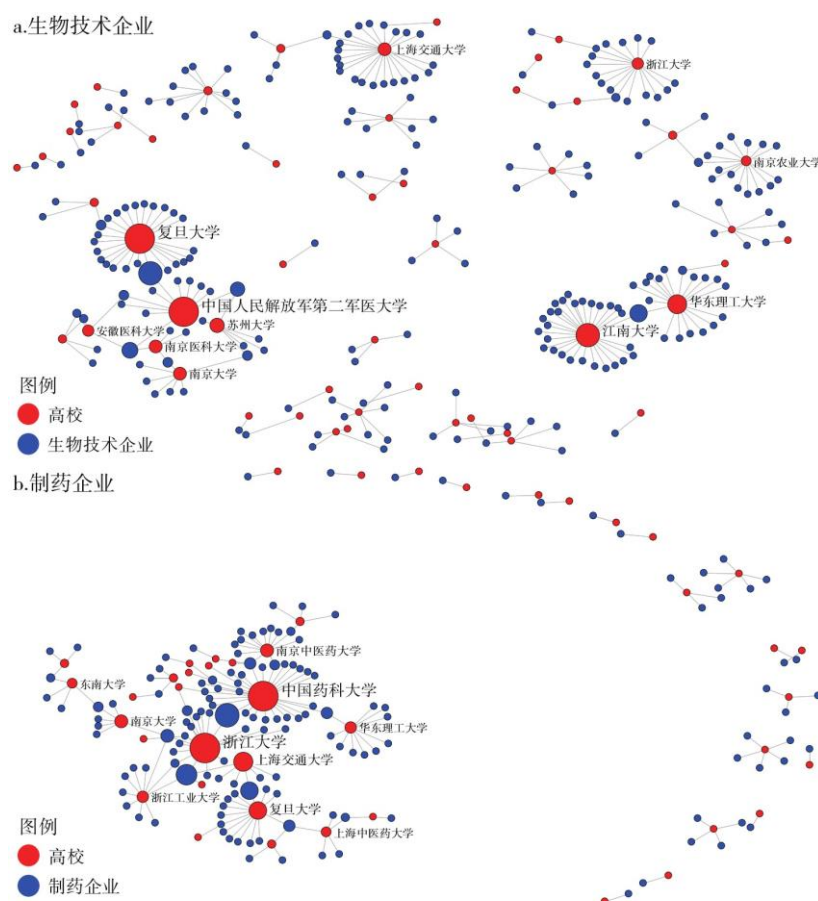


图 6 2000—2018 年长三角高校与生物技术企业、制药企业合作网络

3.3 高校与生物医药企业创新结网影响机制

模型 1、模型 2 均表明“双一流”高校在生物技术企业的校企合作网络中具有更高的中介中心度，表明生物技术校企合作创新网络联系的形成与高校等级、专业实力相关^[46]，假设 H1a 成立。2000—2018 年长三角地区与生物技术企业合作最多的高校是江南大学，专利合作达 103 次，是以温州医科大学为首的非“双一流”高校的 5 倍以上，可见一流高校基于其良好的学科基础和充足的人才资源，可在控制成本的基础上为生物技术企业的研发合作提供高质量的科研支持。而高校医学院设置情况在引入其他变量后，不再对高校中介中心度具有显著影响，说明当前国内高校医学院为企业及相关机构培育、输送科研人才的能力仍有限，假设 H1b 未成立。回归结果中，地理距离对高校中介中心度不存在影响，证实在生物技术企业重点参与的药物设计环节中编码知识占据主导地位，高校与生物技术企业结网受地理距离的影响较小，假设 H2 成立。合作经验被证实对高校中介中心度具有显著正向影响（ $\beta = 1.810, p < 0.001$ ），即丰富的合作经验有助于高校与众多生物技术企业形成网络联系，且多次参与合作的高校也会被企业视为有能力和值得信赖的合作伙伴，高校等级的显著度在控制合作经验时下降（ $\beta = 1.613, p < 0.01$ ），说明合作经验是高校与生物技术企业创新结网的首要条件，假设 H4 成立。将所有自变量纳入考虑后，医学科学部项目资助强度不再对高校中介中心度具有显著影响，高校承接资助较高，规模较大的医学科学部面上项目在一定程度上有助于与生物技术企业达成合作，但并非生物技术企业结网的必要条件，假设 H3b 未成立。模型 5 显示，医学科学部项目数量对中介中心度具有显著正向影响（ $\beta = 0.677, p < 0.01$ ），而化学科学部项目数量与中介中心度呈负相关（ $\beta = -0.760, p < 0.05$ ），结果证实了生物医药研发环节的知识基础主要与医学学科相关，支持 Powell 的观点^[37]，假设 H3a 成立。由于基础研究具有研发周期长、累积性强、不确定性高、衍生性强等特征且往往催生出重大科学发现和技术创新^[51]，为营造良好创新环境，合作经验广泛、具有医学学科优势的“双一流”建设高校更容易吸引生物技术企业形成合作。

模型 5 显示在引入其他变量后，高校等级、医学院设置不再对中介中心度产生显著影响，假设 H1a、H1b 未成立，如位居首位的中国药科大学（112）与浙江工业大学（73）专利合作差距不大，且均未设置医学院，说明高校等级及高校医学院设置与否并非与制药企业合作的关键因素。地理距离对高校与制药企业创新结网具有负向影响，即高校更倾向于与地理邻近的制药企业发生合作，验证假设 H2。高校与制药企业合作对学科优势的重视程度更高，与生物科技企业校企合作相比，面上项目数量对高校中介中心度的影响总体上更为显著。其中化学科学部、医学科学部面上项目数量对高校中介中心度总体呈现正向影响，而生命科学部则呈现显著负向影响，值得注意的是，随着其他自变量的引入，化学科学部面上项目数量的显著度始终较高，表明化学基础是影响高校与制药企业创新结网的重要条件，假设 H3a 成立。合作经验同样对高校与制药企业结网存在显著影响（ $\beta=2.271, p<0.001$ ），高校与同类企业的前期合作经验同样有助于降低药物开发风险并保证研发产品化的高效推进，假设 H4 成立。具备创新能力但研发水平有限、资金薄弱的小微药企是长三角生物医药产业的中坚力量之一，本研究中共 46.20% 的小微药企与高校形成结网，根据模型 5 的回归结果，化学科学部面上项目资助强度对高校中介中心度呈负向影响（ $\beta=-1.262, p<0.05$ ），表明资助强度较低的中小型化学科学部项目对高校与制药企业合作，以及药物制造具有重要促进作用，强调了中小型科研项目的实用性，假设 H3b 成立。为保证药物开发及产品化达成，具有化学学科优势，合作经验广泛且地理邻近的高校更能吸引制药企业达成合作，且学科优势是吸引制药企业发起合作的重要条件。

总体来说，生物医药产业内，高校与生物科技企业、制药企业达成合作的关键因素存在差异，就生物科技企业而言，“双一流”建设高校是总体水平和创新实力的有力表征，为保障前期基础研究推进、降低研发风险，高校等级是生物科技企业选择合作伙伴的关键因素；对于制药企业而言，生物药生产对有机化学的知识需求强烈，高校特定的学科优势和地理邻近性有助于维持高校企业间长效稳定的合作关系。合作经验对高校与生物科技企业、制药企业结网均具有显著促进作用，生物医药产业作为解析型产业，其发展是一个高度积累和路径依赖的过程，通过与同类型企业的广泛合作有助于高校在某种程度上形成声誉，以吸引更多同类型企业发起合作^[22,51]。长三角高校与生物医药企业创新结网影响机制如图 7 所示。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文通过 2000—2018 年生物医药产业合作专利数据，运用社会网络分析方法及回归分析方法，选取长三角作为典型案例，从高校异质性出发探究高校在企业创新网络中的作用体现并形成高校与生物医药企业创新结网的影响机制，得出以下结论：

①依托上海、南京、杭州、无锡等经济发达城市，长三角内部生物医药合作呈现等级扩散模式，不同于“长三角—中国”视角下与北京、深圳等城市基于技术邻近性开展合作，长三角内部合作主要基于地理邻近性展开。然而，生物医药产业作为高技术、高风险的战略性新兴产业，基于技术邻近的城市间合作将有利于产业长期稳定的创新发展，因此，进一步深化实施长三角区域一体化发展战略，鼓励长三角各城市积极参与产业分工、形成技术合作是长三角生物医药产业新一轮发展的重要目标。

②“双一流”建设高校始终占据长三角生物医药创新网络演化的中心位置，以高校带动生物医药产业发展的格局已基本形成。一方面，“双一流”高校依托高水平的知识创造能力成为长三角生物医药创新网络的“创新源”，带动产业创新发展；另一方面，长三角生物医药创新网络演化为以高校为中心的“核心—边缘”网络结构，“双一流”高校作为重要“桥接者”，维系众多网络主体，促进主体间的知识溢出。

③由于不同细分行业的校企合作目的不同，高校与生物科技企业、制药企业创新结网的影响因素存在差异，研究发现，为降低研发风险，生物科技企业注重高校等级；由于主要实现生物技术研发成果的产品化，制药企业注重高校学科优势及地理邻近性，以维持长期稳定的合作。合作经验对高校与生物医药产业内各类型企业结网均具有促进作用，丰富的合作经验有助于高校声誉的形成，合作经验充足的高校更可能为生物医药企业降低研发风险、提高研发效率、控制研发成本，是吸引生物科技企业、制药企业发起合作的重要条件。

④生物医药产业技术种类多且复杂度高,单一机构难以全面掌握,组织间基于不同知识基础达成合作是产业发展的关键。早期研发中,基于生物体的原材料生产、靶标确定及生物学模型建立等过程主要以医学生物技术为核心,医学学科强的高校拥有充足的医学知识储备、先进的硬件资源(设备、实验器材等),更有利于与生物技术企业达成外部合作;而在研发中后期,先导化合物的筛选优化及生物药生产主要依托有机化学知识展开,具有化学学科优势的高校更有利于与制药企业结网。

图 7 长三角高校与生物医药企业创新结网影响机制

本研究创新性在于,聚焦国内生物医药产业核心区—长三角三省一市地区,选取自新世纪以来的较长时间序列开展研究,同时基于当前国内外众多创新网络研究,选取生物医药产业,探究产业内合作中高校定位的异质性,明晰高校与企业创新结网的具体影响机制。据此,本文认为未来还可以从以下两个方面展开深入研究:①探究生物医药全产业链分工视角下高校创新结网的作用机制,将高校、企业与其他机构主体,如科研机构、政府相关单位等的合作联系纳入考虑,就全产业链开展相关研究。②对研究区域进行拓展,如不同城市群之间的比较,并逐步扩展至全国研究,丰富研究空间尺度。

- [1]李晓华, 刘峰. 产业生态系统与战略性新兴产业发展[J]. 中国工业经济, 2013(3):20-32.
- [2]李宝庆, 陈琳. 战略性新兴产业空间演化及区域经济耦合发展研究——以长三角区域为例[J]. 人文地理, 2014, 29(1):94-98.
- [3]刘志高, 张薇. 中国大都市区高新技术产业分叉过程及动力机制——以武汉生物产业为例[J]. 地理研究, 2018, 37(7):1349-1363.
- [4]Cooke P. Regional innovation systems:Competitive regulation in the new Europe[J]. Geoforum, 1992, 23(3):365-382.

-
- [5]吕拉昌,孙飞翔,黄茹.基于创新的城市化——中国 270 个地级及以上城市数据的实证分析[J].地理学报,2018,73(10):1910-1922.
- [6]Asheim B T,Boschma R,Cooke P.Constructing regional advantage:Platform policies based on related variety and differentiated knowledge bases[J].Regional Studies,2011,45(7):893-904.
- [7]Etzkowitz H,Leydesdorff L.The dynamics of innovation:from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-government relations[J].Research Policy,2000,29(2):109-123.
- [8]Etzkowitz H.The Triple Helix:University-Industry-Government Innovation in Action[M].London:Routledge,2008.
- [9]Johnston A,Wells P,Woodhouse D.Examining the roles of universities in place-based industrial strategy: Which characteristics drive knowledge creation in priority technologies?[J].Regional Studies,DOI:10.1080/00343404.2021.1956683.
- [10]侯纯光,杜德斌,史文天,等.世界一流大学空间集聚对研发密集型企业空间布局的影响——以美国为例[J].地理研究,2019,38(7):1720-1732.
- [11]曹贤忠,曾刚,朱贻文.上海高新技术企业创新结网影响因子实证分析[J].地理科学,2018,38(8):1301-1309.
- [12]黄晓东,马海涛,苗长虹.基于创新企业的中国城市网络联系特征[J].地理学报,2021,76(4):835-852.
- [13]Santoro M D,Chakrabarti A K.Firm size and technology centrality in industry-university interactions[J].Research Policy,2002,31(7):1163-1180.
- [14]盛科荣,张杰,张红霞.上市公司 500 强企业网络嵌入对中国城市经济增长的影响[J].地理学报,2021,76(4):818-834.
- [15]吴金明,邵昶.产业链形成机制研究——“4+4+4”模型[J].中国工业经济,2006(4):36-43.
- [16]张凯煌,千庆兰.中国新能源汽车产业创新网络特征及其多维邻近性成因[J].地理研究,2021,40(8):2170-2187.
- [17]朱艳硕,王铮,程文露.中国装备制造业的空间枢纽—网络结构[J].地理学报,2019,74(8):1525-1533.
- [18]Bellini E,Piroli G,Pennacchio L.Collaborative know-how and trust in university-industry collaborations: Empirical evidence from ICT firms[J].The Journal of Technology Transfer,2019,44(6):1939-1963.
- [19]Chesbrough H,Vanhaverbeke W,West J.New Frontiers in Open Innovation[M].Oxford:Oxford University Press,2014.
- [20]Huggins R.Forms of network resource:Knowledge access and the role of inter-firm networks[J].International Journal of Management Reviews,2010,12(3):335-352.
- [21]Pugh R.Universities and economic development in lagging regions: ‘triple helix’ policy in Wales[J].

Regional Studies, 2017, 51(7):982-993.

[22] 胡杨, 李郇. 多维邻近性对产学研合作创新的影响——广州市高新技术企业的案例分析[J]. 地理研究, 2017, 36(4):695-706.

[23] Tijssen R, Klippe W, Yegros A. Localization, regionalization and globalization of university-business research co-operation in the United Kingdom[J]. Papers in Regional Science, 2020, 99(5):1215-1236.

[24] 王雯岚, 许荣. 高校校友联结促进公司创新的效应研究[J]. 中国工业经济, 2020, (8):156-174.

[25] Shane S, Cable D. Network ties, reputation, and the financing of new ventures[J]. Management Science, 2002, 48(3):364-381.

[26] Johnston A, Huggins R. Drivers of university-industry links: The case of knowledge-intensive business service firms in rural locations[J]. Regional Studies, 2016, 50(8):1330-1345.

[27] Huggins R, Prokop D, Thompson P. Universities and open innovation: The determinants of network centrality[J]. The Journal of Technology Transfer, 2020, 45(3):718-757.

[28] Drejer I, Østergaard C R. Exploring determinants of firms' collaboration with specific universities: Employee-driven relations and geographical proximity[J]. Regional Studies, 2017, 51(8):1192-1205.

[29] Huggins R, Kitagawa F. Regional policy and university knowledge transfer: perspectives from devolved regions in the UK[J]. Regional Studies, 2012, 46(6):817-832.

[30] Scharfetter D, Rammer C, Fischer M M, et al. Knowledge interactions between universities and industry in Austria: Sectoral patterns and determinants[J]. Research Policy, 2002, 31(3):303-328.

[31] Mansfield E, Lee J Y. The modern university: contributor to industrial innovation and recipient of industrial R&D support[J]. Research Policy, 1996, 25(7):1047-1058.

[32] Cooke P. Global bioregional networks: A new economic geography of bioscientific knowledge[J]. European Planning Studies, 2006, 14(9):1265-1285.

[33] Asheim B, Coenen L, Vang J. Face-to-face, buzz, and knowledge bases: Sociospatial implications for learning, innovation, and innovation policy[J]. Environment and Planning C: Government and Policy, 2007, 25(5):655-670.

[34] Fitjar R D, Rodríguez-Pose A. Firm collaboration and modes of innovation in Norway[J]. Research Policy, 2013, 42(1):128-138.

[35] Abramovsky L, Simpson H. Geographic proximity and firm-university innovation linkages: Evidence from Great Britain[J]. Journal of Economic Geography, 2011, 11(6):949-977.

-
- [36]王缉慈,王敬甯,姜冀轩.深圳数字电视产业的地理集聚——研究高新技术创新集群的一个尝试[J].地理科学进展,2009,28(5):673-682.
- [37]Powell W W,Koput K W,Smith-Doerr L. Interorganizational collaboration and the locus of innovation:Networks of learning in biotechnology[J].Administrative Science Quarterly,1996,41(1):116-145.
- [38]Cattaneo M,Meoli M,Signori A. Performance-based funding and university research productivity:The moderating effect of university legitimacy[J].Journal of Technology Transfer,2016,41(1):85-104.
- [39]Gulbrandsen M,Smeby J C. Industry funding and university professors' research performance[J].Research Policy,2005,34(6):932-950.
- [40]Steinmo M,Rasmussen E. The interplay of cognitive and relational social capital dimensions in university-industry collaboration:Overcoming the experience barrier[J].Research Policy,2018,47(10):1964-1974.
- [41]Chapman G, Lucena A, Afcha S. R&D subsidies&external collaborative breadth:Differential gains and the role of collaboration experience[J].Research Policy,2018,47(3):623-636.
- [42]宓泽锋,曾刚.本地知识基础对新兴产业知识流动的影响——以中国燃料电池产业为例[J].地理学报,2021,76(4):1006-1018.
- [43]王承云,孙飞翔.长三角城市创新空间的集聚与溢出效应[J].地理研究,2017,36(6):1042-1052.
- [44]张凯煌,千庆兰,陈清怡.多尺度视角下中国新能源汽车产业创新空间格局及网络特征[J].地理科学进展,2021,40(11):1824-1838.
- [45]周灿,曹贤忠,曾刚.中国电子信息产业创新的集群网络模式与演化路径[J].地理研究,2019,38(9):2212-2225.
- [46]Banerjee T,Siebert R. Dynamic impact of uncertainty on R&D cooperation formation and research performance:evidence from the bio-pharmaceutical industry[J].Research Policy,2017,46(7):1255-1271.
- [47]袁鹏,唐欣,彭文武,等.潜在创新要素协同的空间关联以及与长三角高新技术产业升级关系研究[J/OL].经济地理:1-14[2022-03-24].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1126.K.20200616.1623.002.html>.
- [48]庄德林,杨羊,晋盛武,等.基于战略性新兴产业的长江三角洲城市网络结构演变研究[J].地理科学,2017,37(4):546-553.
- [49]Cao Z,Derudder B,Dai L,et al. 'Buzz-and-pipeline' dynamics in Chinese science:the impact of interurban collaboration linkages on cities' innovation capacity[J].Regional Studies,2021,56(2):290-306.
- [50]李颖,马双,富宁宁,等.中国沿海地区海洋产业合作创新网络特征及其邻近性[J].经济地理,2021,41(2):129-138.
- [51]叶琴,曾刚.不同知识基础产业创新网络与创新绩效比较——以中国生物医药产业与节能环保产业为例[J].地理科学,

2020, 40 (8) : 1235-1244.