

中国国际科研合作网络的时空演化特征与驱动力

贺灿飞^{1,2}, 李文韬¹

(1. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871;

2. 北京大学林肯研究院城市发展与土地政策研究中心, 北京 100871)

摘要: 分析中国国际科研合作的时空演化特征与机制。研究显示: 科研合作国家分布呈集聚特征, 空间分布为核心边缘结构, 合作国家根据学科结构划分为 5 大组团; 地理距离和制度距离具有阻抗作用, 社会邻近具有积极效应, 认知邻近有利于科研合作, 但存在“认知锁定”现象, 邻近性机制具有学科异质性。

关键词: 国际科研合作; 时空演化; 邻近性; 学科结构; 中国

中图分类号: K902

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2022)07-0070-12

Spatial-temporal Evolution and Driving Forces of China's International Scientific Collaboration Network

HE Canfei^{1,2}, LI Wentao¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Lincoln Institute Center for Urban Development and Land Policy, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: This study analyzes spatial-temporal evolution of China international scientific collaboration network. The results show that the distribution of collaborator countries is high concentrated and the spatial distribution presents a core-periphery structure. Based on the concentration degree of discipline structure, the main cooperative countries can be divided into five groups. Using negative binomial regression model, we further explore the significance of multidimensional proximity in facilitating international scientific collaboration. The results show that geographical distance and institutional distance have impedance effects, while social proximity presents significant positive effects. Cognitive proximity is also beneficial to scientific collaboration, but the phenomenon of “cognitive locking” exists. In addition, the importance of proximity reports significant inter-disciplinary differences.

Key words: international scientific collaboration; spatial-temporal evolution; proximity; discipline structure; China

21 世纪知识在全球频繁流动, 科研全球化不断加深, 国际科研网络迅速扩散^[1]。传统理论认为知识传播具有距离衰减特性, 但有学者发现通过构建本地蜂鸣与全球知识流动的关系, 本地知识可以利用全球通道向外传播^[2-3]。随着交通通讯成本的下降、政府的政策引导、科学家的全球移

民、英语作为全球语言被广泛接纳等, 地理距离和边界的重要性有所减弱, 几乎所有国家和研究领域都可以观察到国际化趋势的增强^[4]。一些前沿领域仅仅依靠单个国家的知识储备远远不够, 需要世界各国联合攻关, 国际科研合作成为主导力量。

收稿日期: 2021-01-14 修回日期: 2021-07-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“全球地方互动与中国区域产业重构”(41731278)。

作者简介: 贺灿飞(1972—), 男, 江西永新人, 博士, 北京大学城市与环境学院教授, 研究方向为经济地理和区域经济。

经济增长的驱动力从资本和劳动力转向知识和技术,科技创新成为国家竞争力的关键。各国实施创新驱动战略,积极参与科研全球化,试图占领全球创新网络的核心地带。然而,知识在全球不均衡流动,世界科研网络呈现核心边缘结构^[5]。西欧、北美以及亚太地区是世界创新的中心区域,而非洲、中亚和拉丁美洲处于外围地带。全球科研合作网络的空间异质性受到邻近性机制的作用,地理距离、认知距离、制度距离和社会距离都深刻影响网络演化。合著论文作为最基本的科研产出衡量国家的知识生产能力,是实现技术创新的前提和基础。通过探究中国国际科研论文合作网络的时空演化特征和多维邻近性机制,剖析科研合作的国家结构、空间结构、学科结构以及影响机制,有助于把握中国在全球科研合作网络中的位置,提升国家科研创新能力。

一、文献综述

研究发现国际论文合作是促进知识溢出最有效的形式之一^[6],国际合著论文的学术价值往往高于平均水平^[7]。由合作关系形成的全球科研网络研究是学者关注的重点^[8],研究尺度覆盖个人、高校、城市乃至国家。个人层次上主要是分析科研人员之间的合作联系^[9-10]以及科研人员个体属性对科研合作的影响^[11-12]。国际论文合作是衡量高校创新能力和国际影响力的重要指标,高校科研网络研究集中在不同层次高校群以及不同类别高校间^[13],研究发现高校的国际合作比重普遍提高^[14]。城市创新网络往往以创新城市为网络中心,通过跨城市的科研合作形成复杂的网络结构,有利于提升整个地区的科研能力^[15]。有研究比较了区域内城市合作网络与跨区域城市合作网络的重要性,发现对城市创新能力都有促进作用^[16]。国家层次方面,全球科研网络的核心边缘结构十分明显,西欧、北美和东亚地区成为科研创新高地^[5,17-18]。有学者发现全球科研论文重心正持续地自西向东和自北向南转移^[19],一些新兴经济体开始崛起^[5]。此外,一些研究聚焦特定学科的国际科研合作,考虑学科的特殊性^[20-21]。不同学科的国际合作活跃度存在显著差异^[14],理学和工学

的占比一般更高,社会科学较低^[22]。

全球知识是国家创新的重要来源,区域间通过全球人才流动建立正式和非正式关系,形成跨边界的国际科研网络^[23]。地方知识具有独特性,通过全球通道扩散到其他地区,实现跨地域的知识共享和互补。网络地位和区域网络能力分别表示地方在全球科研网络中的地位和在全球知识的理解、吸收和转化能力,Liefner等(2011)^[24]在此基础上将全球分为知识转化型、知识生产型、知识忽视型和知识浪费型区域。不同尺度创新网络的知识结构不同,编码知识可以实现符号化表达,在长距离运输中信息损耗较小,是全球科研网络的主要知识流。而缄默知识难以符号化表达,强调面对面的沟通交流,是地方创新系统特殊性的关键^[25]。

Boschma(2005)^[26]将邻近性因素其分为地理邻近、认知邻近、组织邻近、社会邻近和制度邻近5个维度。已有研究普遍发现地理邻近有利于科研合作的开展^[27-28],是其他邻近性因素发挥作用的前提^[29],但随着交通通讯成本的下降,科研合作不显示出绝对的距离衰减规律^[30]。认知邻近指要素间知识结构的相似度,研究证实认知邻近是决定科研合作的关键因素^[31],但认知过度重合会导致“认知锁定”,反而不利于知识溢出^[32]。组织邻近也能促进科研合作的形成,可以降低不确定性和风险^[33-34]。社会邻近认为社会联系能够巩固合作关系,提高双方的信任程度,有利于科研合作的展开^[31,35]。制度邻近指正式制度和非正式规则对要素主体的约束,制度距离阻碍科研合作的实现^[28]。除此之外,研究中还常见经济邻近、文化邻近和语言邻近等^[5,36-37]。

国内外关于全球科研合作网络的研究已取得较大进展,仍存在一些空间有待深入研究。首先,已有研究往往从单一的国家或者学科结构的视角对国际科研合作展开讨论,多维的综合性分析较少,没有深入解剖不同国家间科研合作学科结构的差异性。其次,关于邻近性机制的研究没有考虑到学科的独特性,缺乏对不同学科的异质性分析。在此基础上,本文基于 InCites 数据库的全球

论文数据,分别从国家、学科和空间视角深入分析 21 世纪以来中国^①国际科研合作网络的时空演化特征,探究科研合作的邻近性机制及学科差异,将邻近性分析扩展至时间—国家—学科的三维视角。

二、数据来源与指标构建

InCites 是基于 Web of Science(WoS)核心合集数据汇总形成的论文数据库,也是本文获取全球科研论文的数据来源,覆盖了所有的学科以及 211 个国家和地区。通过检索能够获得每一年各个国家论文发表的数量以及国家间论文合著的数量,通过选择研究方向也能获得特定学科的论文数据。本文选取 2000—2019 年中国发表的论文以及中国和其他国家合作的论文作为数据源,学科分类体系采用 ESI 划分标准。研究数据只限于期刊论文,收集时间为 2020 年 2 月 22 日至 2020 年 2 月 25 日。

传统研究往往用合著论文数量作为衡量国家间论文合作的基本指标,仅强调产量的大小,并没有考虑学术价值。CNCI 表示论文学科规范化的引文影响力,为论文实际被引次数与同出版年、同研究领域且同类型文献平均被引次数的比值,是一个标准化后的变量,解决了年份和学科之间不可比的问题,故本文构建“论文合作影响力”指标衡量国家间合著论文标准化的总学术影响力,综

合了国家间合著论文的数量以及学术价值。此外科研合作数量与国家科研总产出显著正相关,并不能反映国家间合作的倾向性,为此需要剔除量级的影响,故构建“论文合作强度”进行衡量,具体如下所示:

$$\text{论文合作影响力} = \text{论文合作数量} \times \text{论文平均学术价值} = X_{ij} \times CNCI_{ij} \quad (1)$$

$$\text{论文合作强度} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{X_i} \times \sqrt{X_j}} \quad (2)$$

其中, X_i 和 X_j 分别表示国家 i 和 j 的论文合作总量, X_{ij} 表示国家 i 和国家 j 之间合著论文数量, $CNCI_{ij}$ 表示该组论文平均的学科规范化的引文影响力。

三、中国国际科研合作网络的嵌入性与演化

21 世纪以来中国积极参与国际科研合作。从绝对指标来看,科研合作国家数量呈线性增长,论文发表数量与影响力以及合作数量与影响力均呈指数型增长,且影响力指标增长快于数量指标,说明科研产出的学术价值有所提升,如图 1 所示。

从相对意义指标来看,中国合著论文比重先下降后上升,同其他国家相比仍处于较低水平,如图 2 所示。中国各项排名指标攀升,论文发表数量和影响力于 2019 年超越美国升至首位,论文合作数量和影响力目前也仅次于美国。

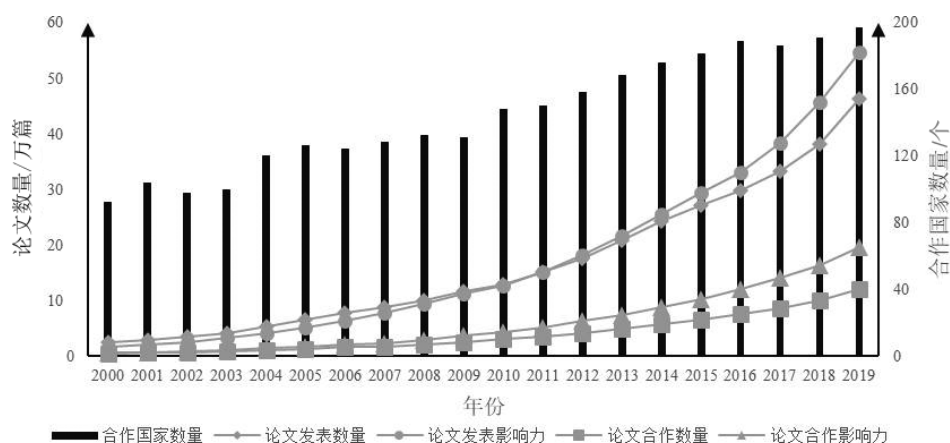


图1 中国国际科研合作基本情况一

① 若无特别说明,本文中的中国是中国内地的简称,不包括中国的香港、澳门以及台湾省。

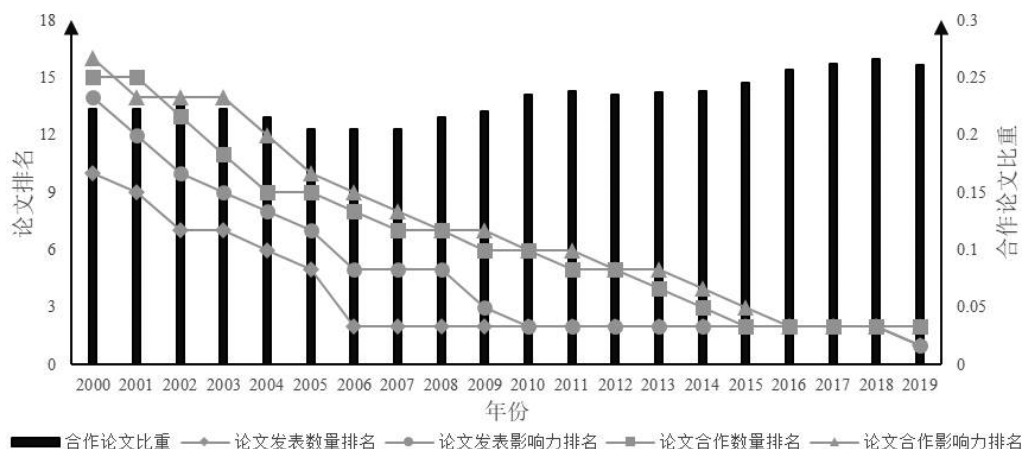


图2 中国国际科研合作基本情况二

（一）中国国际科研合作的国家分布

中国科研合作国家众多,但联系集中在中心地带。采用首位度和基尼系数衡量中国合作国家的分布情况。首位度是首位与第二位合作国家合著论文数量的比值。洛伦兹曲线是合作国家合著论文数量百分比的累积曲线,基于洛伦兹曲线构建基尼系数 G ,本文用集中化指数 I 近似替代,基于凸型洛伦兹曲线计算公式如下:

$$G = I = \frac{A - R}{M - R} \quad (3)$$

其中, A 、 R 和 M 分别是实际分布、均匀分布和集中分布下洛伦兹曲线的累积百分比总和。首位度侧重于衡量前几位合作国家的局部关系,基尼系数则是从整体上刻画科研合作的国家分布状

况。如图3所示,首位度先增大后减小,在2013年前后达到峰值。城镇规模分布一般认为首位度大于2(或3)为首位分布,参考该标准,中国科研合作的国家分布呈首位分布特征。基尼系数为波动型增长,长期高于0.8,表明科研合作在国家间分布极其悬殊,呈集中分布特征。

在此基础上选取各年份合作数量、影响力以及强度分别排在前列的国家分析中国科研合作的变化趋势。图4是中国主要科研伙伴合作数量的时间变化,包括美国、英国、澳大利亚、日本、德国、加拿大、法国、新加坡、韩国等。其中美国“一家独大”,澳大利亚增速最快。早期日本是中国第二大合作伙伴,后期被英国取代。

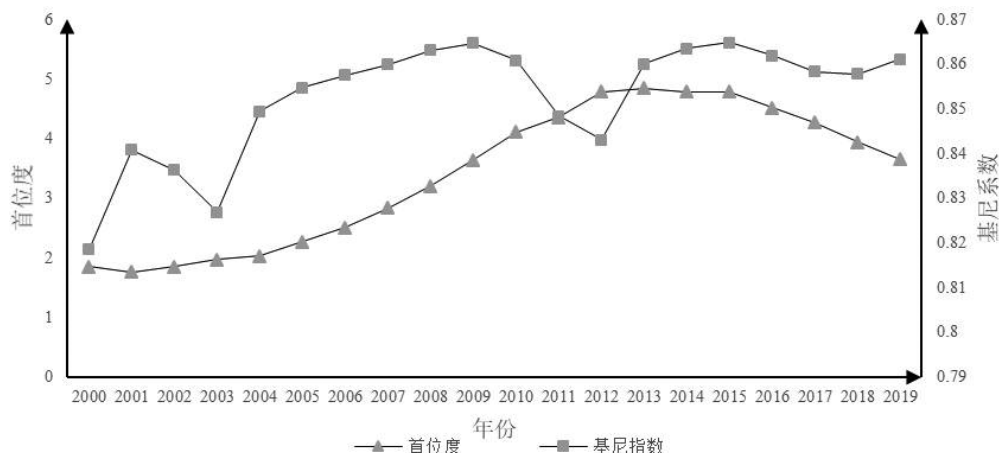


图3 中国国际科研合作国家分布指标变化情况

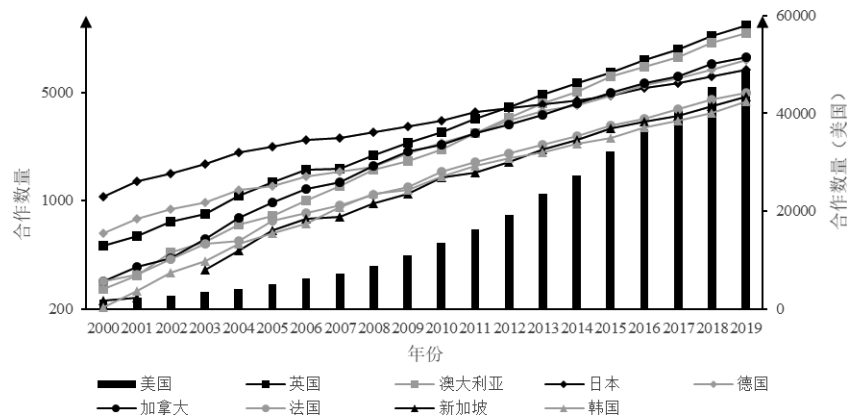


图4 中国主要科研伙伴合作数量变化情况

图5 是中国主要科研伙伴合作影响力的时间变化,美国依旧处于遥遥领先的地位,早期日本仍然仅次于美国,但是中期开始英国便超越日本成为中国第二大科研合作伙伴,直到2019年才被澳大利亚超越。这表明中日科研合作质量相比偏低,中澳不仅合著论文数量的增速快,而且科研产出的学术影响力也很高。

图6 是中国主要科研伙伴合作强度的时间

变化,前5年日本位居首位说明早期中日科研合作联系极其密切,随后出现减弱的趋势。美国于2005年登顶,并迅速拉大了与其他国家的差距。与绝对意义指标不同的是,新加坡、日本等一些亚洲国家的合作强度长期高于英法德等西欧国家,说明地理、社会 and 文化的邻近对中国国际科研合作的意愿与倾向性可能有显著的影响。

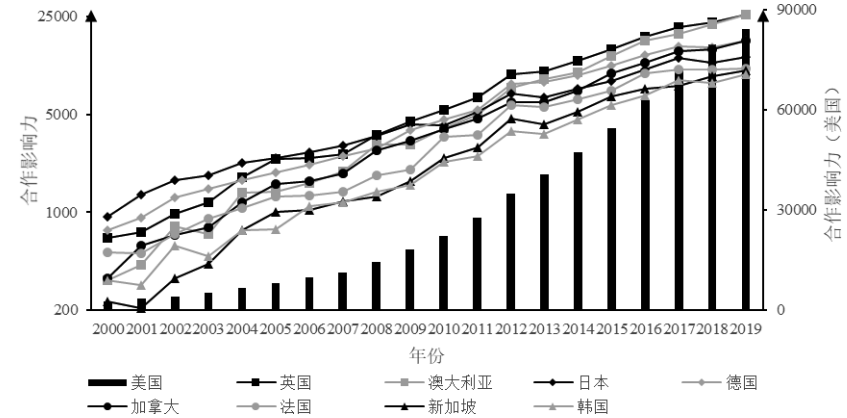


图5 中国主要科研伙伴合作影响力变化情况

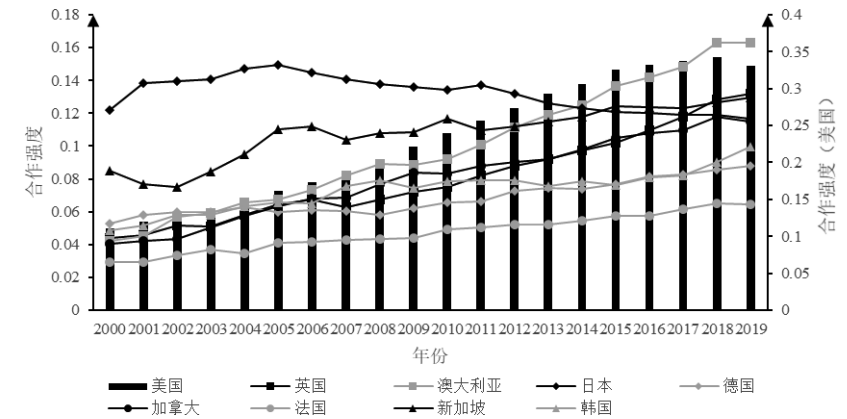


图6 中国主要科研伙伴合作强度变化情况

美国是中国最大的科研合作伙伴,一方面是由于美国科研实力所产生的全球吸引力和辐射力,另一方面是因为中美长期存在密切的学术交流,大量的留学生和科研项目形成纽带效应,推动两国深入开展科研合作。中国国际科研合作空间分布不均衡,西欧、北美和亚太为热点区域,分布着具有全球影响力的创新高地,在全球科研网络中处于核心地带。北美和欧洲既是三次世界科技革命的发源地,也是全球科研网络中知识流的集散器。随着经济的迅速崛起,亚太地区积极扮演着国际科研合作的发起者和参与者。非洲和拉丁美洲的部分区域经济发展落后或深陷政治斗争和军事冲突的泥潭,缺乏自主创新能力,位于科研大国的辐射范围内,在全球科研网络中处于边缘地带。

(二) 中国国际科研合作的学科结构

ESI 学科体系划定 22 个小类学科,根据学科的研究范畴整合为 7 个大类学科,具体如表 1 所示。多学科领域研究很少,并且学科性质不明显,本文不做考虑。

表 1 ESI 科分类标准

大类学科	小类学科
理学	数学、物理学、化学、地球科学、空间科学
工学	计算机科学、工程科学、材料科学
医学	临床医学、免疫学、神经科学与行为、药理学与毒理学、精神病学与心理学
生命科学	生物与生化、环境与生态学、微生物学、分子生物与遗传学
社会科学	一般社会科学、经济与商学
农学	农业科学、植物与动物科学
其他	多学科

20 年来,中国在各研究领域的国际科研合作均有所增加。如图 7 所示,大类学科合著论文数量呈指数型增长,其中工学增速最快,理工类增长趋势和绝对数量均处于领先地位,社会科学和农学领域不但合作数量很小,而且增长缓慢。科研合作前中期集中在理学领域,后期工学占据主导地位。

中国科研合作小类学科结构变化较为复杂。如图 8 所示,首位度先下降后上升,中期接近 1 说明重点研究领域的体量十分接近,首位合作学科竞争激烈甚至存在交替现象。近几年首位度上升明显并超过早期峰值,说明形成较为突出的优势领域。基尼系数同样先下降后上升,波动较小。

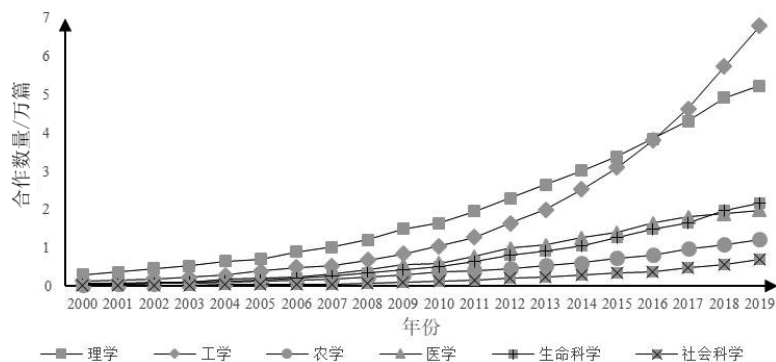


图 7 中国国际科研合作大类学科结构演化情况

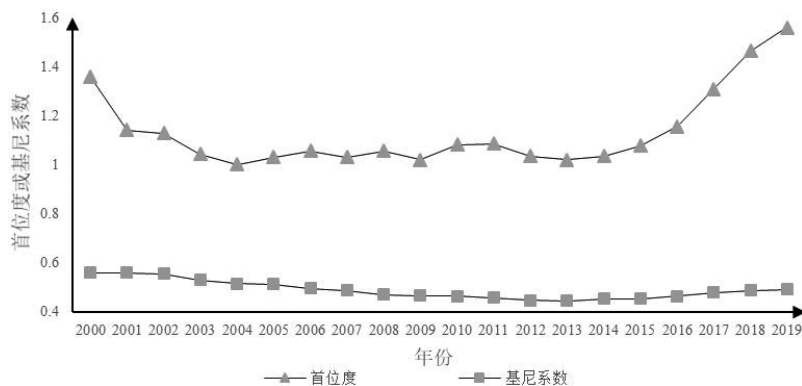


图 8 中国国际科研合作小类学科分布指标变化情况

分别绘制 2000 年、2010 年和 2019 年中国国际科研合作小类学科结构图谱,其中节点大小和线条粗细分别表示合作数量和影响力,具体如图 9 所示。

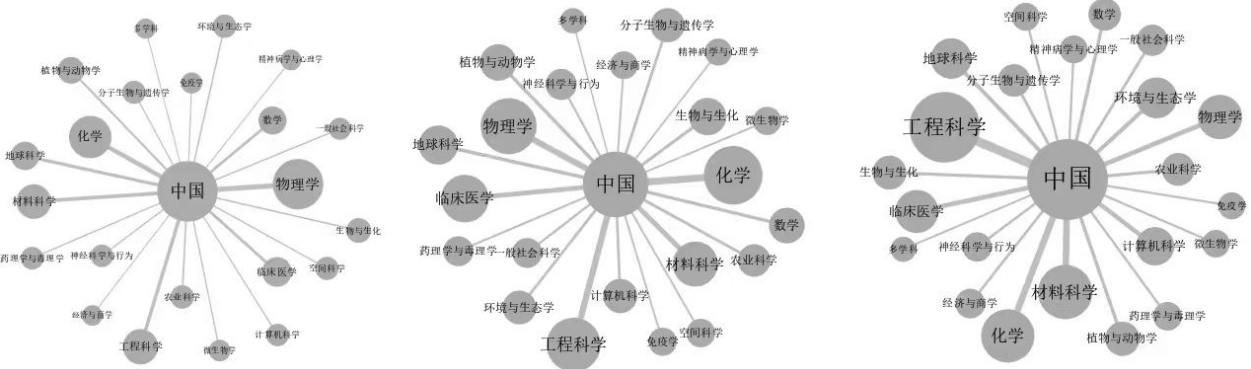


图 9 2000 年、2010 年和 2019 年中国国际科研合作小类学科结构

(三) 中国科研合作国家结构的聚类分析

利用聚类分析探究中国科研合作国家学科结构的差异性,以国家间在某大类学科领域的论文合作数量与国家间论文合作总量的比值作为分类变量对合作国家进行分类(因此一共有 6 个分类变量)。由于中国合作国家众多,全部纳入将会非常复杂,并且很多国家与中国的科研联系很少,对其归类没有太大意义,因此仅考虑 2000—2019 年间论文合作总量超过 1 000 篇的国家。采用系统分类法逐一比较分类结果,当距离和分类方法分别选择欧式距离和最长距离法时效果最好。

具体分类结果如表 2 所示,根据学科结构可将中国主要的科研合作国家分为 5 个组团。总体来说,从组团 1 到 5 学科结构的集中度越来越低,趋于均衡化。组团 1 包括 17 个国家,主要分布在东欧,其中理学领域占比超过 70%,学科分布极其悬殊。阿塞拜疆、白俄罗斯、亚美尼亚和格鲁吉亚最为典型,理学占比超过 90%,其他领域鲜有科研合作。组团 2 包括 24 个国家,集中在西欧、拉丁美洲以及亚洲西南部,理学领域占比超过一半,尽管不如组团 1 极端,但是学科结构依旧很不均衡,以德国、法国和俄罗斯为代表。组团 3 包括 14 个国家,

工程科学和材料科学增速最快,已成为中国最突出的小类学科。物理学和化学领域一直保持着频繁的科研联系,早期处于领先地位,但目前重要性有所下滑。

尽管管理学所占权重依旧位居首位,但是工学同样十分重要,占比在 20% 左右,学科集中度明显降低,以美国、日本和韩国为典型代表。组团 4 共有 5 个经济体,科研合作同样集中在理学和工学,这与组团 3 有些相似,不同之处在于两者占比极为接近,工学甚至略高于理学,以新加坡、英国和澳大利亚最为典型。组团 5 包括 7 个国家,主要分布在东南亚,学科结构最为均衡,以孟加拉国最为典型。

大多数国家科研合作以理学为主,以理学为首要合作学科的国家占比高达 85.7%。理学包含许多前沿领域,需要多个国家联合攻关,因此开展国际合作十分必要^[5]。理学规律性强和适用面广的特性使得研究成果更容易被各国学者吸收,科研合作的摩擦力最小。工学规律性也很强,研究成果可以迅速应用到实践中。并且研究需要先进的仪器设备,通过合作可以分摊风险和降低成本,因此也是国际科研合作的重要领域^[38]。而社会科学往往以本国的社会或经济现象为对象,国情的差异性使得研究难以达成一致。从知识结构角度看,以编码知识为主的理工类更容易实现跨国界交流^[39],而社科类缄默知识比重较大,难以符号化表达,使得跨地域传播很弱^[40]。

表 2 中国主要科研合作国家聚类结果

组团	集中度	数量/个	合作国家
1	高	17	阿塞拜疆、白俄罗斯、保加利亚、厄瓜多尔、哥伦比亚、格鲁吉亚、克罗地亚、立陶宛、罗马尼亚、摩洛哥、塞尔维亚、塞内加尔、斯洛伐克、斯洛文尼亚、乌克兰、匈牙利、亚美尼亚
2	较高	24	阿根廷、爱尔兰、爱沙尼亚、奥地利、巴西、波兰、德国、智利、法国、捷克、马来西亚、墨西哥、南非、葡萄牙、瑞士、俄罗斯、土耳其、西班牙、希腊、伊朗、以色列、意大利、印度、斯里兰卡
3	中等	14	埃及、巴基斯坦、比利时、丹麦、芬兰、韩国、荷兰、卡塔尔、美国、挪威、日本、瑞典、沙特阿拉伯、越南
4	较低	5	阿联酋、澳大利亚、加拿大、新加坡、英国
5	低	7	菲律宾、肯尼亚、孟加拉国、尼日利亚、泰国、新西兰、印度尼西亚

网络边缘地带国家以组团1和组团2为主,科研合作集中在理学。核心地带国家知识密度高,传播能力强,能够将缄默知识部分转化为编码知识,实现知识跨地域全球共享,因此理学和工学占比都比较大,并且社科类绝对产出也不小,分类上以组团3和组团4为主。

(四)中美关系背景下科研合作演化

美国在对中的科研合作中处于领先地位,但是2010年以来呈放缓趋势,增速从2010年的22.56%下降至2019年的8.14%,近几年增速明显落后于其他主要合作国家。2019年合作数量的增速排名垫底,具体如图10所示。

2005年后,中美之间的科研合作强度一直高居第一,但是2010年以来,中美合作强度呈下降趋势,2009年首次出现负增长,增速从2010年的8.59%下降至2019年的-3.42%,英国、加拿大、澳大利亚和法国等西方国家增速也大幅下降,韩

国和新加坡等亚洲国家反而有所上升。具体如图11所示。

学科结构方面,2010年以来中美在理学、工学、医学和生命科学领域科研合作增长率呈下降趋势,近两年所有领域的增速都落后于总体平均水平,理工类和生命科学类的差距尤为显著,说明中美合作增长放缓主要归因于理工类科研交流的阻滞。具体如图12所示。

近几年来,中美关系的持续恶化使科研合作明显受阻,由于文化、观念和制度的差异,中美矛盾冲突在所难免。美国通过保护知识产权、限制人才流动和阻滞科研合作以维护自身在全球创新网络中的领先地位,在理工类领域尤为明显。目前,双方陷入科技冷战的僵局,美国一味强调知识产权保护标准的全球统一,使得创新活动高度集聚在少数国家,导致科研创新的马太效应,很大程度上阻碍了科研全球化的发展^[41]。

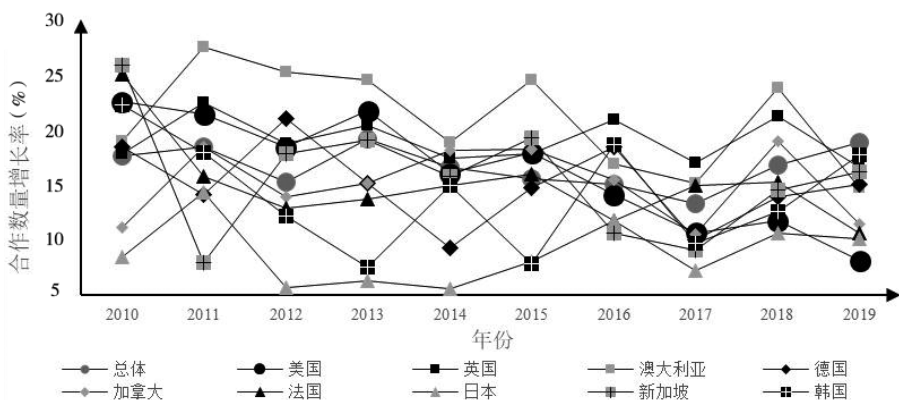


图10 中国主要科研合作国家合作数量增长率变化

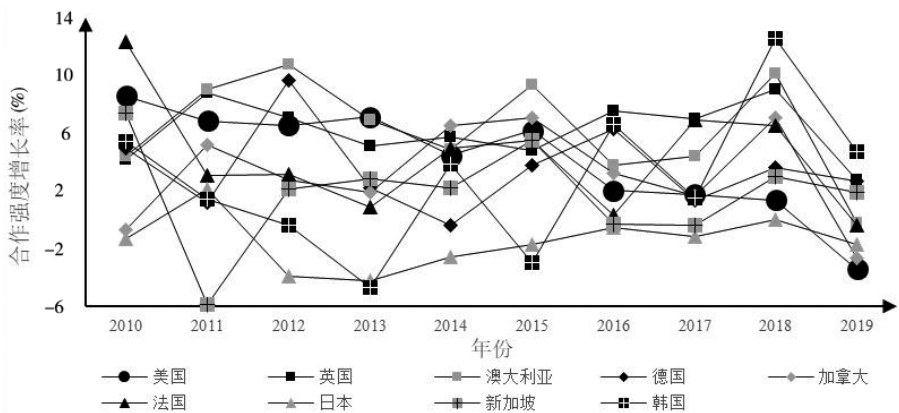


图11 中国主要科研合作国家合作强度增长率变化

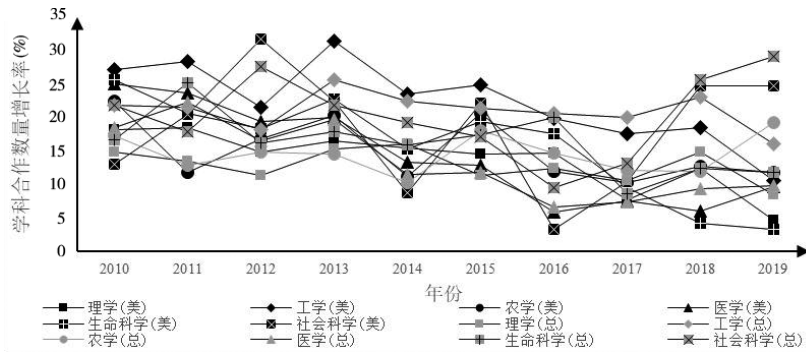


图 12 中美科研合作学科结构增长率变化

四、中国国际科研合作网络的邻近性机制

(一) 模型设定与变量构建

采用重力模型探究中国国际科研合作的邻近性机制,由于因变量为非负整数,且“过度分散”,因此使用负二项回归方法。已有研究忽视了学科性质对科研合作的重要影响,本文扩展至时间—国家—学科的三维尺度,采用 ESI 小类学科划分体系,时间为 2000—2019 年。邻近性之间存在包含和重叠关系,引入过多指标会导致多重共线性。有研究认为文化邻近、制度邻近和社会邻近是组织邻近的组成部分^[26],并且汉语在全球的使用范围十分有限,因此语言文化距离不是主要因素。综合考虑本文引入地理邻近、认知邻近、社会邻近和制度邻近性,构建模型如下:

$$\begin{aligned} Cooper_{mijk} = & a + \theta_1 Cooper_{mik} + \theta_2 Cooper_{mjk} + \\ & \beta_1 Geoproximity_{ij} + \beta_2 Conproximity_{mij} + \\ & \beta_3 Sqconproximity_{mij} + \beta_4 Socproximity_{mijk} + \\ & \beta_5 Insproximity_{mij} + \beta_5 Insquality_{mij} + \mu_{mijk} \end{aligned} \quad (4)$$

在式(4)中, $Cooper_{mijk}$ 表示年份 m 国家 i 和国家 j 之间于学科 k 的论文合作数量, $Cooper_{mik}$ 和 $Cooper_{mjk}$ 分别表示年份 m 国家 i 和国家 j 于学科 k 的论文合作总量, μ_{mijk} 为随机误差项。

$Geoproximity_{ij}$ 表示地理邻近性,通过国家间的地球球面距离衡量,数据来源于 CEPII - GeoDist 数据库。

$Conproximity_{mij}$ 表示认知邻近性,借鉴联合国工业发展组织提出的相似系数法构建:

$$Conproximity_{mij} = \frac{\sum_{k=1}^n y_{mik} y_{mjk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n y_{mik}^2 \sum_{k=1}^n y_{mjk}^2}} \quad (5)$$

其中, y_{mik} 和 y_{mjk} 分别表示年份 m 国家 i 和国家 j 所发表的学科 k 的论文数量占年份 m 国家 i 和国家 j 各自发表论文总数的比重,引入 $Conproximity_{mij}$ 的平方项,记为 $Sqconproximity_{mij}$ 。

$Socproximity_{mijk}$ 表示社会邻近性,用于衡量国家间在某学科领域科研关系的紧密程度,借鉴杰卡德指数构建:

$$Socproximity_{mijk} = \frac{x_{mijk}}{x_{mik} + x_{mjk} - x_{mijk}} \quad (6)$$

其中, x_{mik} 和 x_{mjk} 分别表示年份 m 国家 i 和国家 j 各自在研究领域 k 合作论文的总量, x_{mijk} 表示年份 m 国家 i 和国家 j 之间在学科 k 上的合作论文数量。

$Insproximity_{mij}$ 表示制度邻近性,全球治理指数 (WGI) 涵盖民主权利、政治稳定、政府效能、监管质量、法律治理和腐败治理 6 个纬度,用以衡量国家间的制度差异,本文在 Kogut 等 (1988)^[42] 的基础上计算制度距离。为了控制制度环境对国家科研合作产出的影响,构建指标制度质量 $Insquality_{mij}$ 以衡量国家制度环境的包容性:

$$Insproximity_{mij} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{(C_{mik} - C_{mjk})^2}{V_{mk}}} \quad (7)$$

$$Insquality_{mij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_{mjk} \quad (8)$$

其中, C_{mik} 和 C_{mjk} 表示年份 m 国家 i 和国家 j 指标 k 的得分, V_{mk} 为年份 m 指标 k 的方差。2001 年数据缺失,用 2000 年和 2002 年的均值替代;2019 年数据暂未公布,以 2018 年为参照。

(二) 模型回归结果与解释

对主要解释变量的相关性和共线性进行检

验,结果显示所有变量显著不相关,方差膨胀因子均小于2。依次选取解释变量加入模型进行回归,所有模型都拒绝了 $\text{Alpha} = 0$ 的假设,说明负二项回归较为合理。

从表3来看,地理邻近性显著为负表明地理距离是阻碍科研合作的重要因素,科研本质是知识的创造性重组,而知识传播具有地理衰减规律。面对面交流更容易实现知识溢出,促进隐形知识传播。认知邻近性显著为正,能够有效提高对知识的理解和吸收能力,有助于双方的交流互动。二次项系数显著为负表明过度的认知邻近带来知识结构的趋同性,容易形成“认知锁定”,不利于知识溢出。社会邻近性具有显著的正向作用,已建立的大量科研合作项目会显著增强双方的了解和信任,减少非必要的合作流程,提高科研合作的效率。制度邻近性显著为负说明制度距离对科研合作有明显的阻碍作用。中国作为社会主义国家,其观念、行为准则等不同于西方资本主义世界,国家间的制度差异是阻碍双方深入开展科研合作的一大障碍。

表3 全样本中国科研合作邻近性机制回归结果

变量	基础回归			
	模型1	模型2	模型3	模型4
Cooper_1	0.000156 *** -3.79E-06	0.000149 *** -3.77E-06	0.000184 *** -2.49E-06	0.000194 *** -2.56E-06
Cooper_2	0.00160 *** -2.99E-05	0.00147 *** -2.83E-05	0.000519 *** -1.68E-05	0.000459 *** -1.60E-05
Geoproximity	-8.45e-05 *** -2.36E-06	-6.80e-05 *** -2.51E-06	-1.57e-05 *** -1.63E-06	-7.91e-06 *** -1.65E-06
Cogproximity		9.344 *** -0.309	6.598 *** -0.215	4.050 *** -0.208
Sqcgproximity		-5.587 *** -0.232	-3.679 *** -0.156	-1.771 *** -0.152
Socproximity			55.68 *** -0.77	53.59 *** -0.746
Insproximity				-0.0471 *** -0.01
Insquality				0.0460 *** -0.00178
Constant	2.244 *** -0.0239	-1.539 *** -0.0992	-1.593 *** -0.0705	-0.873 *** -0.07
Observations	26813	26813	26813	26813
Alpha	1.222745	1.14808	0.683699	0.6472576
Wald chi2	7103.77	13524.82	26776.34	33211.71
Prob > chi2	0	0	0	0
log likelihood	-101045.31	-100049.7	-92684.01	-91971.541

注:***表示 $p < 0.01$, **表示 $p < 0.05$, *表示 $p < 0.1$ 。下同。

从时间变化来看,地理邻近的影响有略微的增强,说明交通通讯技术的迅速发展没有减弱地理距离对科研合作的阻碍作用。认知邻近的正向

作用变得更加显著,“认知锁定”的阈值更加难以达到。社会邻近对科研合作的促进作用在科研全球化背景下越来越明显,大批中国学生和科研人员出国留学交换,在海外建立复杂的社会网络。回国后这种联系并没有消失,而是通过科研合作项目继续维持巩固^[43]。制度距离的影响发生了巨大的变化,前期对中国科研合作反而有促进作用,但是近几年随着中美关系持续恶化,制度的巨大差异成为阻碍双方科研合作的重要因素。具体如表4所示。

表4 分样本中国科研合作邻近性机制回归结果

变量	分时间回归		分学科回归	
	2000—2009	2010—2019	理工类	社科类
Cooper_1	0.000532 *** (1.04e-05)	0.000162 *** (2.62e-06)	0.000154 *** (2.93e-06)	0.000538 *** (2.22e-05)
Cooper_2	0.000646 *** (2.61e-05)	0.000328 *** (1.78e-05)	0.000362 *** (1.88e-05)	0.000691 *** (6.58e-05)
Geoproximity	-5.28e-06 ** (2.39e-06)	-1.19e-05 *** (2.03e-06)	-2.56e-06 (2.98e-06)	-1.52e-05 *** (4.66e-06)
Cogproximity	4.528 *** (0.283)	4.839 *** (0.280)	6.297 *** (0.485)	3.420 *** (0.591)
Sqcgproximity	-3.076 *** (0.215)	-2.117 *** (0.202)	-3.101 *** (0.335)	-1.606 *** (0.448)
Socproximity	50.97 *** (0.892)	55.21 *** (1.036)	53.55 *** (0.957)	50.66 *** (2.021)
Insproximity	0.0862 *** (0.0191)	-0.0538 *** (0.0111)	-0.0926 *** (0.0175)	0.0643 * (0.0359)
Insquality	0.0162 *** (0.00358)	0.0527 *** (0.00192)	0.0581 *** (0.00308)	0.0272 *** (0.00635)
Constant	-1.271 *** (0.0972)	-1.006 *** (0.0950)	-1.528 *** (0.172)	-1.243 *** (0.197)
Observations	9,009	17,804	10,602	2,003
Alpha	0.3644762	0.6888223	0.7698339	0.3615587
Wald chi2	14747.74	27010.06	11865.01	3972.28
Prob > chi2	0	0	0	0
log likelihood	-25500.6	-64855.507	-41713.327	-5482.9578

学科属性特征会影响邻近性的作用机制,以理工类和社科类样本展开分析。结果显示地理邻近对社科类科研合作影响十分显著,而理工类能部分克服地理距离的阻碍作用,科研合作根据学科类别呈集聚和分散的双重特性。编码知识是理工类研究的语言载体,更容易在全球科研网络中传播流动,具有全球扩散性^[40];而社会科学包含较多缄默知识,具有地方依耐性^[41]。认知邻近十分重要,但是社科类认知邻近作用发生改变的阈值略高,更强调不同知识源的碰撞和交流。制度距离对于理工类的阻碍作用远大于社科类,理工类重要科研成果能够转化为知识产权,为维护核心技术的领先地位,近几年以美国为首的西方国家加强对知识产权的垄断和保护,以阻滞中国科技

创新的长期发展^[44]。

五、结论与讨论

本文基于 WoS 科研论文数据,分别从国家、空间和学科视角探究中国国际科研合作的时空演化特征。国家分布呈首位和集中特征,为“一超多强”分布格局;空间分布为核心边缘结构,西欧、北美和亚太地区是核心地带,非洲和拉丁美洲则处于边缘地带;学科分布集中在理工类,社科类包含较多缄默知识,难以实现符号化表达,具有地方依耐性。根据学科结构的集中度,中国主要的科研合作国家可以分为 5 大组团。利用负二项回归方法探究邻近性作用机制,其中地理距离和制度距离具有明显的阻抗作用,社会邻近和适度的认知邻近都能显著提高科研合作产出,但是过度的认知重合会导致“认知锁定”。从时间变化来看,地理距离和制度距离的阻碍作用显著增强,社会邻近的正向效应在科研全球化的背景下越来越明显,“认知锁定”的阈值更加难以达到。从学科结构来看,地理邻近对社科类影响显著,理工类能够部分克服地理距离的阻碍作用,并且认知邻近对其的正向效应更加明显,制度距离对于理工类的阻抗作用远大于社科类。

由于文化、观念和制度的差异中美关系会持续紧张,美国可能会进一步封锁核心技术和限制人才流动。疫情在全球范围迅速蔓延,短时间内很难彻底消除,国际人才流动明显受阻。在严峻的国际形势下,中国应当鼓励国内企业和研究机构进行自主研发创新,打造以知识和技术为重要载体的国家创新链条,早日摆脱重要科研成果和关键核心技术的外部依赖性,打破以美国为首的西方国家对我国知识产权的垄断封锁。此外,中国应当加强与其他国家的科研合作联系,减小制度文化冲突带来的摩擦和阻力,在吸收全球知识的同时积极将本地知识向外传播,推动科技全球化的发展,实现各国创新发展的互利共赢。

本文深入探究中国国际科研合作的时空演化特征和邻近性机制,为中国继续开展合作和提升科研创新能力提供一定的政策建议,然而仍然值得深入挖掘。首先全球科研合作是一个复合网络,除合著论文外,专利联合申请也很常见。其次合作双方的贡献是有差异的,未来研究可以进行

加权优化处理。最后本文仅仅考虑邻近性单独的影响,而多维邻近性机制是互动的过程,未来研究应该将邻近性的交互作用作为重点探究方向。

参考文献:

- [1] ADAMS J. Collaborations: the fourth age of research[J]. *Nature*, 2013, 497(7451): 557-560.
- [2] BATHELT H, MALMBERG A, MASKELL P. Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation[J]. *Progress in human geography*, 2002, 28(1): 31-56.
- [3] HERSTAD S J, ASLESEN H W, EBERSBERGER B. On industrial knowledge bases, commercial opportunities and global innovation network linkages[J]. *Research policy*, 2014, 43(3): 495-504.
- [4] WAGNER C S, WHETSELL T A, LEYDESDORFF L. Growth of international collaboration in science: revisiting six specialties[J]. *Scientometrics*, 2017, 110(3): 1633-1652.
- [5] 刘承良, 桂钦昌, 段德忠, 等. 全球科研论文合作网络的结构异质性及其邻近性机理[J]. *地理学报*, 2017, 72(4): 737-752.
- [6] CHO C, HU M, LIU M. Improvements in productivity based on co-authorship: a case study of published articles in China[J]. *Scientometrics*, 2010, 85(2): 463-470.
- [7] SCHMOCH U, SCHUBERT T. Are international co-publications an indicator for quality of scientific research? [J]. *Scientometrics*, 2008, 74(3): 361-377.
- [8] NEWMAN M E J. The structure of scientific collaboration networks[J]. *Proceedings of the national academy of sciences-PNAS*, 2001, 98(2): 404-409.
- [9] 董凌轩, 刘友华, 朱庆华. 基于 SNA 的 iConference 论文作者合作情况研究[J]. *情报杂志*, 2013, 32(10): 82-88.
- [10] 刘云, 白旭, 杨芳娟, 等. 高被引科学家论文合作关系研究[J]. *科研管理*, 2016, 37(S1): 328-336.
- [11] JONKERS K, TIJSSEN R. Chinese researchers returning home: Impacts of international mobility on research collaboration and scientific productivity[J]. *Scientometrics*, 2008, 77(2): 309-333.
- [12] 张雪, 张志强, 陈秀娟. 基于期刊论文的作者合作特征及其对科研产出的影响——以国际医学信息学领域高产作者为例[J]. *情报学报*, 2019, 38(1): 29-37.
- [13] 樊霞, 陈丽明, 杨小婉. 985 高校 SCIE 论文中的校企合著现象——规模、强度与国际影响力变迁[J]. *高等工程教育研究*, 2015(6): 67-71.
- [14] 余新丽, 赵文华, 杨颖. 我国研究型大学国际合作论文的现状与趋势分析——以上海交通大学为例[J]. *中国*

高教研究, 2012 (8): 30-34, 39.

[15] 许佳琪, 梁滨, 刘承良, 等. 中美城际科技创新合作网络的空间演化[J]. 世界地理研究, 2019, 28(4): 12-23.

[16] 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(6): 1-17.

[17] GAZNI A, SUGIMOTO C R, DIDEGAH F. Mapping world scientific collaboration: authors, institutions, and countries[J]. Journal of the American society for information science and technology, 2012, 63(2): 323-335.

[18] 曾婧婧, 张阿城. 中国参与国际科技合作 30 年 (1987—2016): 论文合著与项目合作分析视角[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(11): 1-9.

[19] 杜红亮, 胡蓓钰. 全球科学论文产出和国际科学合作的时空演变格局分析[J]. 中国软科学, 2015 (2): 35-43.

[20] 李燕, 张淑谦, 韩伯棠. 从 ISI 中的论文合作看我国科研及学科发展[J]. 情报杂志, 2010, 29(10): 9-13.

[21] 邱均平, 党永杰. 我国图书情报领域机构合作网络分析——以“图书情报与数字图书馆”论文为例[J]. 情报科学, 2013, 31(1): 56-60.

[22] 涂静, 李永周, 张文萍. 国际合作网络结构与高被引论文产出的关系研究[J]. 图书馆杂志, 2019, 38(7): 69-75.

[23] ERNST D. Global production networks and the changing geography of innovation systems: implications for developing countries[J]. Economics of innovation and new technology, 2002, 11(6): 497-523.

[24] LIEFNER I, HENNEMANN S. Structural holes and new dimensions of distance: the spatial configuration of the scientific knowledge network of China's optical technology sector[J]. Environment and planning A, 2011, 43(4): 810-829.

[25] GERTLER M S. Tacit knowledge and the economic geography of context, or the undefinable tacitness of being (there)[J]. Journal of economic geography, 2003, 3(1): 75-99.

[26] BOSCHMA R. Proximity and innovation: a critical assessment[J]. Regional studies, 2005, 39(1): 61-74.

[27] HOEKMAN J, FRENKEN K, TIJSSEN R J W. Research collaboration at a distance: changing spatial patterns of scientific collaboration within Europe [J]. Research policy, 2010, 39(5): 662-673.

[28] PLOTNIKOVA T, RAKE B. Collaboration in pharmaceutical research: exploration of country-level determinants [J]. Scientometrics, 2014, 98(2): 1173-1202.

[29] BALLAND P A, BOSCHMA R, FRENKEN K. Proximity and innovation: from statics to dynamics [J]. Regional studies, 2015, 49(6): 907-920.

[30] 曹兴, 宋长江. 认知邻近性、地理邻近性对二元创新影响的实证研究[J]. 中国软科学, 2017(4): 120-131.

[31] BOSCHMA R, MARTIN R. The handbook of evolutionary economic geography[M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2010: 120-135.

[32] ROMERO C C. Personal and business networks within Chilean biotech[J]. Industry and innovation, 2018, 25(3): 1-33.

[33] MIORNER J, ZUKAUSKAITE E, TRIPPL M, et al. Creating institutional preconditions for knowledge flows in cross-border regions[J]. Environment and planning C politics and space, 2017, 36(2): 201-218.

[34] 李琳, 杨田. 地理邻近和组织邻近对产业集群创新影响效应——基于对我国汽车产业集群的实证研究[J]. 中国软科学, 2011(9): 133-143.

[35] 吕国庆, 曾刚, 顾娜娜. 基于地理邻近与社会邻近的创新网络动态演化分析——以我国装备制造业为例[J]. 中国软科学, 2014(5): 97-106.

[36] PETRUZZELLI A M. The impact of technological relatedness, prior ties, and geographical distance on university-industry collaborations: a joint-patent analysis [J]. Technovation, 2011, 31(7): 309-319.

[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.

[38] LEE S, BOZEMAN B. The impact of research collaboration on scientific productivity[J]. Social studies of science, 2005, 35(5): 673-702.

[39] MARTIN R, SUNLEY P. Deconstructing clusters: chaotic concept or policy panacea? [J]. Journal of economic geography, 2003, 3(1): 5-35.

[40] 曹贤忠, 曾刚, 司月芳. 网络资本、知识流动与区域经济增长: 一个文献述评[J]. 经济问题探索, 2016(6): 175-184.

[41] 文皓, 池康伟. 国际视野下的创新政策过程研究[J]. 科学学研究, 2020, 38(1): 34-44, 192.

[42] KOGUT B, SINGH H. The effect of national culture on the choice of entry mode [J]. Journal of international business studies, 1988, 19(3): 411-432.

[43] PINCOCK S. China's diaspora brings it home [J]. Nature, 2015, 527(7577): 68-71.

[44] 何华. 中美知识产权认知差异研究[J]. 科研管理, 2019, 40(3): 163-170.

(本文责编: 王延芳)