

战略竞争背景下中美自然科学领域科研合作分析

翟丽华, 潘云涛

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘 要: 将中美科研合作作为研究对象, 基于 SCI 论文数据探讨了战略竞争背景下中美合作的特征, 重点分析 2016—2021 年中美自然科学领域科研合作的变化趋势、学科分布与变化特点, 以及国际合作的影响作用; 同时也从跨国研究人员的数量及研究领域角度对相关影响因素进行了分析。研究表明, 在 2020 年之前, 中美一度保持合作增强的趋势, 并且在各自的国际合作网络中均占据首要位置, 中美合作对于中国的影响作用较大。随着中美在科技领域的竞争态势日益激烈, 中美科研关联性出现下降的趋势, 科研合作对于中美两国的重要性也在逐渐减弱, 但在个别领域, 如临床医学、地学领域的科研合作保持小幅增长。而中美两国跨国科研人员数量的大幅下降成为中美合作关联性降低的重要影响因素。最后, 基于以上结果, 从模式机制创新与交流方式的多样化等方面对中美科技合作的未来提出一些建议。

关键词: 中美合作; 国际合作; 战略竞争; 跨国科研人员; 科学计量

中图分类号: G322.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2023.03.009

当今世界正处于百年未有之大变局, 中美关系在这一变局中正经历深刻变化。战略竞争已成为中美关系的突出特征, 并且出现由贸易领域转向科技创新领域的新趋势^[1]。近年来, 美国出台一系列政策, 试图阻断中国的高科技跨国企业与美国之间的市场交易联系, 如针对中兴、华为等行业头部企业的制裁行为。2022 年 8 月, 《2022 年芯片和科学法案》由美国总统拜登签署生效, 该法案从设计到制造都限制了半导体行业先进工艺流向中国^[2]。同时, 美国针对中美在科技创新前沿领域的学术交流实施了最为严格的限制性措施。

科技对于一个国家的经济、社会及安全的作用日益重要, 各国政府逐渐将科技创新作为国家战略的核心要素。随着时代的不断进步, 学科之间不断融合, 科学研究问题也越来越复杂化, 知识的进步往往需要多国的参与, 科学研究模式随之趋向协同与合作。Guile 等^[3]认为, 随着研究的广度与深度不断提升, 全球学术研究网络呈现高度

交融的态势, 各国科学家和工程师形成了深度融合的网络, 并不断通过合作实时共享成果。科研合作是科学发展的重要动力之一, 也逐渐成为科研人员学术交流的重要方式, 近年来, 国际科技合作呈现逐渐增强的趋势, 面向科研合作的相关研究也越来越多^[4-5]。科研合作最直接的表现形式是论文合著^[6], 基于论文的国际科研合作研究一直是国内外学者的关注焦点^[7-9]。

科学引文索引 (Science Citation Index Expanded, SCI) 数据库收录了自然学科领域中最具权威和影响力的 9 000 余种学术期刊, 涉及自然科学的 100 余个学科, 因此, SCI 论文可以代表自然科学领域的研究成果。本研究基于 2016—2021 年中美自然科学领域合作 (以下简称“中美合作”) 论文数据, 从自然科学角度探讨了战略竞争背景下中美合作的特征, 重点分析中美合作的变化趋势、学科分布与变化特点, 以及对于国际合作的影响作用; 并通过对中美合作论文中作者的归属国家

第一作者简介: 翟丽华 (1977—), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为科学计量学理论与应用研究、科技管理与评价。

收稿日期: 2022-11-29

进行分类,重点对跨国研究人员数量及研究领域变化情况进行分析,探讨相关的影响因素,从而可为新形势下中美科技合作发展的政策制定提供量化支撑。

1 中美自然科学领域科研合作研究

1.1 中国自然科学领域国际合作概况

2016—2021年中国自然科学领域的国际合作论文数量及占比年度变化如图1所示。可以看出,论文数量呈现逐年上升趋势,2016年中国的国际合作论文数量为8万余篇,到2021年上升为将近16万篇,增加了近一倍。国际合作论文占中国自然科学领域论文总量的比例则呈现先升后降的趋势,2016年国际合作论文占比为26%,之后逐渐上升,2018年达到27%,之后开始有所下降,尤

其是2020—2021年,下降幅度加大,国际合作论文的占比降为24%。

2016—2021年中国自然科学领域国际合作论文数量排名前5位的国家及其占比如图2所示,这5个国家分别是美国、英国、澳大利亚、加拿大和德国。其中,与美国的合作论文占比最高,达到42%,与英国的合作论文占比为12%,与澳大利亚的合作论文占比为10%,与加拿大以及德国的合作论文占比均在7%左右。

自然科学领域国际合作论文数量可以反映国家之间科技合作及相互关联的情况,由图2可知,在自然科学领域中国与美国的合作论文数量最多,两国的科技关联性最强,并且中美之间的合作紧密度远高于中国与其他国家的合作紧密度,说明了美国在中国的合作网络中占据较为突出的位置。

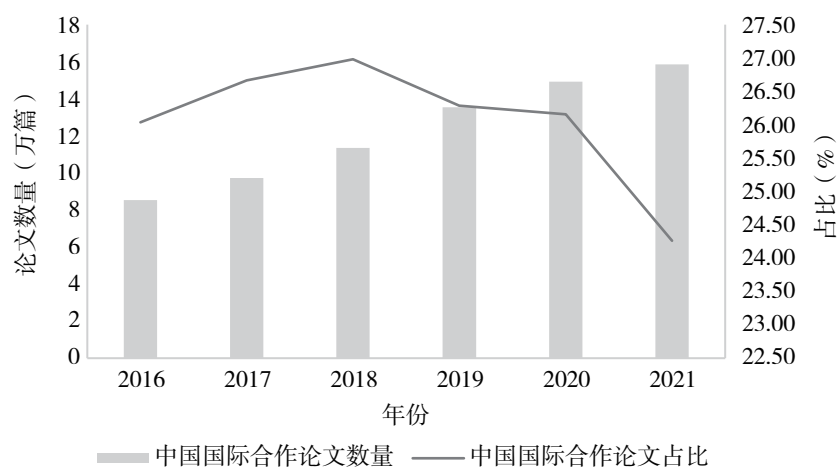


图1 2016—2021年中国自然科学领域国际合作论文数量及占比年度变化

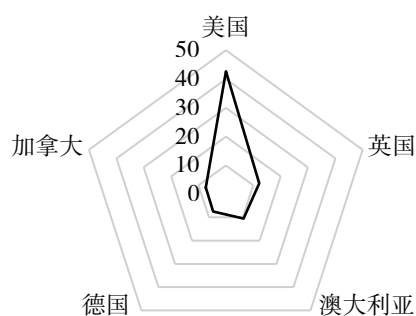


图2 2016—2021年中国自然科学领域国际合作论文数量排名前5位的国家及其占比(单位: %)

1.2 美国自然科学领域国际合作概况

2016—2021年美国自然科学领域国际合作论

文数量及占比年度变化如图3所示。可以看出,论文数量呈现逐年上升趋势,2016年美国的国际合作论文数将近20万篇,到2021年上升为24万余篇。国际合作论文占美国自然科学领域论文总量的比例也呈现出逐年上升的趋势。2016年国际合作论文占比为36%,之后逐年上升,2021年则已超过40%。

2016—2021年美国自然科学领域国际合作论文数量排名前5位国家及其占比如图4所示,这5个国家分别是中国、英国、德国、加拿大和法国。其中,与中国的合作论文占比最高,为24%,与英国的合作论文占比为15%,与德国以及加拿大的合作论文占比均为12%,美国和合作论文占比为8%。由图4可知,在自然科学领域美国与中国

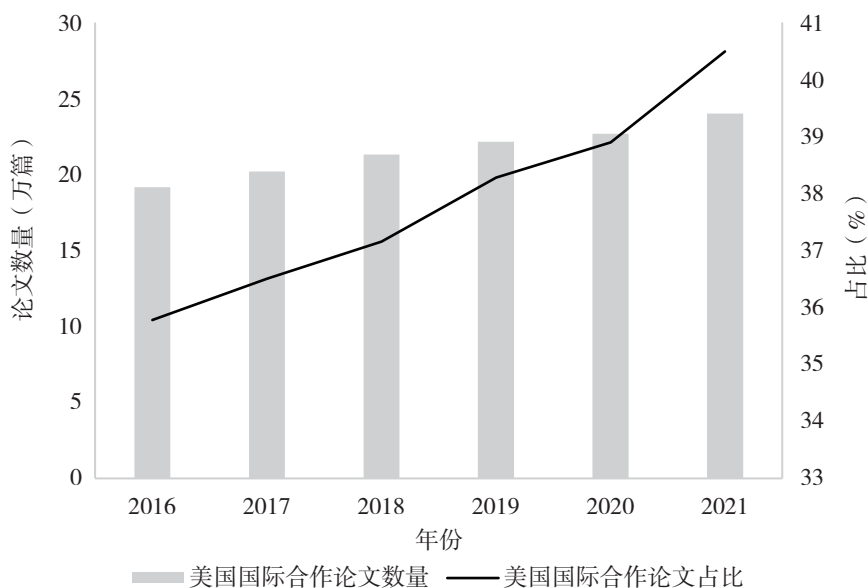


图3 2016—2021年美国自然科学领域国际合作论文数量及占比年度变化

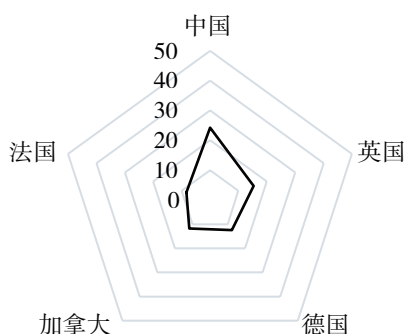


图4 2016—2021年美国自然科学领域国际合作论文数量排名前5位国家及其占比 (单位: %)

的合作论文数量最多,说明中美两国科技关联性最强。但与其他国家相比,中美合作的优势并不显著,中美合作论文在美国国际合作论文总量中占比不足25%。中国和美国虽然互为最大的国际合作伙伴,但合作对于两国国际合作整体的影响作用具有一定的差异性,中美合作论文占中国国际合作论文总量的42%,占美国国际合作论文总量的24%,因此中美合作对中国的影响作用较大。

1.3 中美合作论文数量分析

根据中国科学技术信息研究所的统计^[10],中国和美国在自然科学领域的论文产出数量巨大,美国长期以来一直处于世界首位,从2009年起,中国的论文产出数量开始排在第二位。中美两国作为自然科学领域的两个论文产出大国,其合作研究也日益增多。

2016—2019年中美合作论文数量呈现快速增长趋势,从4.18万篇增至5.78万篇,年均增加5000余篇,但之后增速开始减缓,2021年中美合作论文数量首次出现下降,比2020年下降了近400篇。2016—2021年中美合作论文数量及占本国国际合作论文比例年度变化,如图5所示,可以看出,中美合作论文占中国国际合作论文的比例近年来出现持续下降趋势,而占美国国际合作论文的比例在2016—2019年一直呈上升趋势,从21%增至26%,2020年为25.6%,有微小幅度下降,2021年持续下降为24%,下降幅度加大。

结果表明,中美自然科学领域的科研关联度较高,特别是在2016—2019年,合作论文数量呈现快速增长的趋势,说明两国的科研关联度在持续增强。然而,随着中美科技竞争的日益激烈,两国的科研关联度开始下降,2020年中美合作论文数量增幅不大,在2021年首次出现了下降。近年来,美国对中国发动贸易战和科技战,中美两国在科技创新领域的合作也受到一定影响。

如前所述,中美合作论文占本国国际合作论文比例年度变化反映了合作国相对于本国的地位和重要性。整体而言,中美合作对中国的影响作用更强,但这个影响作用随时间呈现出减弱的变化趋势。由图5可知,中美合作论文占中国国际合作论文的比例近年来持续下降,表明中美合作在中国国

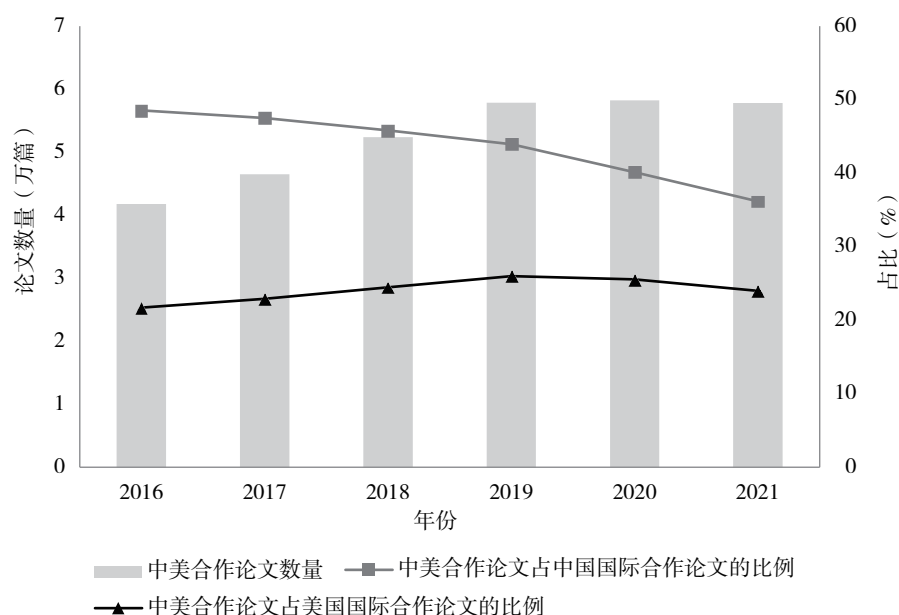


图5 2016—2021 中美合作论文数量及占本国国际合作论文比例年度变化

际合作中比重越来越低，对于中国的国际合作网络的重要性也在逐渐降低。而中美合作论文占美国国际合作论文的比例则呈现出先升后降的变化趋势，在2019年之前，中美合作相对于美国的整体国际合作而言，其地位重要性是逐渐增强的，之后受美国政策导向的影响，2020年开始出现下降趋势，中美合作研究对于美国的国际合作的重要性则呈现减弱趋势。

1.4 中美合作论文学科分析

2016—2021 年中美合作论文数量排名前10位的

学科如图6所示。可以看出，中美合作最多的学科是生物，其次为临床医学，这两个学科的合作论文总量均超过4万篇，化学、物理两个学科的合作论文数量均超过2万篇，基础医学、地学、材料科学、电子通信及自动控制、计算机技术和环境科学6个学科的合作论文数量则处于1万~2万篇。生物、临床医学以及基础医学均为生命科学领域相关学科，化学、物理和地学则属于基础研究领域学科，其余4个学科属于工程研究领域学科。

中美合作论文数量排名前10位的学科论文数

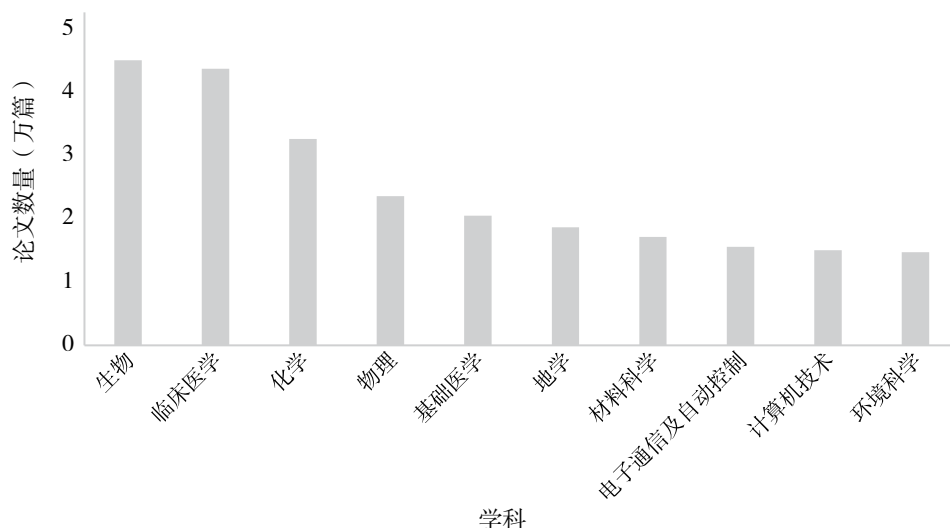


图6 2016—2021 年中美合作论文数量排名前10位学科

量随时间的变化趋势如图 7 和图 8 所示, 其中, 图 7 为 2016—2021 年中美合作论文数量随时间变化呈现上升趋势的 2 个学科, 图 8 则是 2016—2021 年中美合作论文数量随时间变化呈现下降趋势的 8 个学科。

由图 7 可知, 2016—2021 年中美合作论文中, 临床医学和地学 2 个学科的合作论文数量呈现逐年上升的趋势。2016 年, 中美临床医学合作论文的数量为 5 500 余篇, 到 2021 年数量将近 8 000 篇, 增长了 45%。中美地学合作论文数量从 2016 年的 2 100 余篇上升为 2021 年的将近 3 500 篇, 增长率

为 67%。2021 年, 在中美合作论文总量下降的情况下, 这两个学科的合作论文数量仍有小幅上升, 保持了整体增长的趋势。

由图 8 可知, 2016—2021 年中美合作的论文中, 物理和化学 2 个基础学科的合作论文数量从 2019 年开始出现下降, 2021 年这两个学科的合作论文数量已基本回落到 2016 年的水平。其余 6 个学科, 包括生物、基础医学、材料科学和电子通信及自动控制的下降趋势出现在 2020 年, 计算机技术和环境科学, 下降趋势均出现在 2021 年。

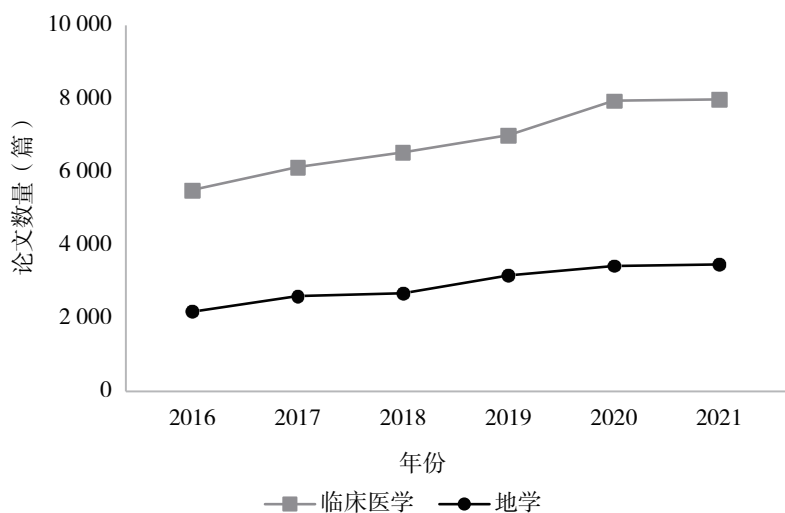


图 7 2016—2021 年中美合作论文数量随时间变化呈现上升趋势的 2 个学科

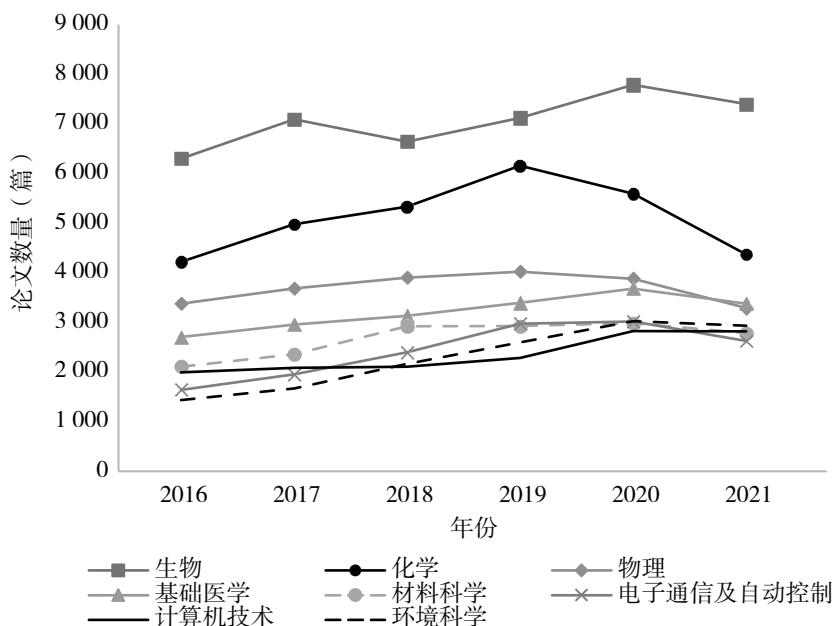


图 8 2016—2021 年中美合作论文数量随时间变化呈现下降趋势的 8 个学科

2 中美自然科学领域跨国科研人员变化趋势分析

不同国家之间科研人员的学术交流是产生国际合作成果的主要途径，从国际合作中科研人员的归属来看，主要有两种，一种是合作研究的参与者包含合作国家的相关科研人员，这些科研人员的来源国家只有一个，这样的合作研究成果是

基于不同的科研人员产生的；另一种合作研究是基于同一名科研人员产生的，该科研人员同时归属于不同国家的研究机构，即跨国科研人员。基于以上中美合作论文数量随着时间变化的趋势，本文主要对 2019—2021 年中美两国跨国科研人员数量及相关论文数量变化趋势进行了分析（见图 9），探讨两国科研关联度降低的原因。

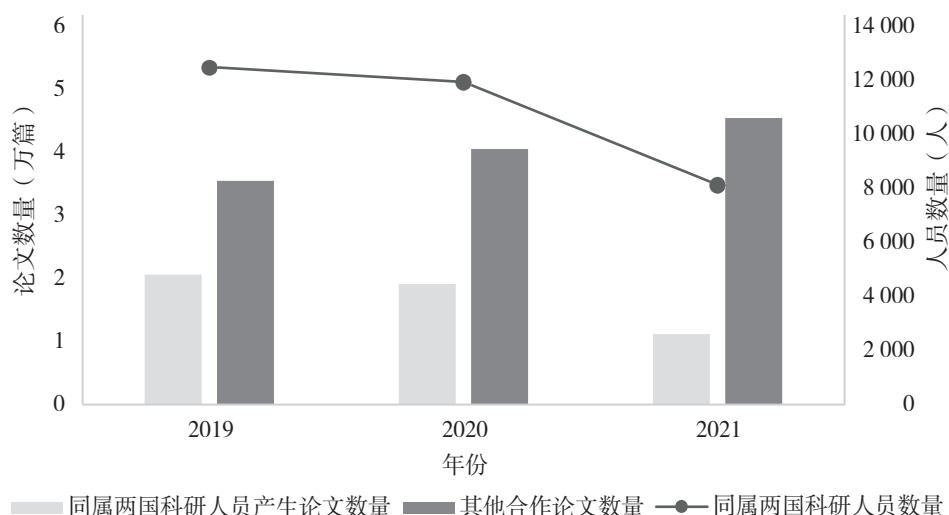


图 9 2019—2021 年中美自然科学领域跨国科研人员数量及相关论文数量变化趋势

2.1 中美自然科学领域跨国科研人员年度变化

基于 SCI 论文数据对中美合作论文中同时署名中国和美国学术机构的论文作者数量及相关论文进行了统计，如图 9 所示。2019—2021 年中美自然科学领域跨国科研人员数量持续下降，从 12 992 人下降到 8 000 余人，特别是 2021 年下降幅度较大，较 2020 年下降超过 30%。同时，中美自然科学领域跨国科研人员合作论文数量从 2 万余篇下降为 1 万余篇，下降了 50% 左右。图 9 中的其他合作论文是指：由分别属于中美两国研究机构的不同研究人员合作产生的合作论文。可以看出，同一时期，此类论文数量呈现上升趋势，从 3.4 万篇增加到 4.4 万余篇，增长了 1 万余篇。而在此期间，中美合作论文总量则出现了下降，因此，中美自然科学领域跨国科研人员数量的大幅下降，导致了中美合作论文总量的下降。

在美国研究机构工作和学习中国学者和科研人员是中美两国合作研究中科研人员的主体，这类科研人员属于跨国科研人员，对于合作研究具有

重要影响作用。但是，自 2018 年 11 月以来，美国司法部启动“中国行动计划”，该计划对中美合作中的科研人员，特别是跨国科研人员具有较大影响。2022 年 5 月，《自然》杂志发表的一项研究指出，与中美两国的研究机构都有从属关系的作者数量在 2018 年之前，处在一个高速增长的阶段，2019 年达到了最高点，自 2020 年起，这类作者数量急剧减少；同时在该研究中一些受访学者也指出，越来越政治化的中美科学界可能已经成为阻碍两国合作的最主要因素^[11]。2022 年 2 月，虽然美国司法部宣布暂停“中国行动计划”，但其已对中美之间的合作造成了一定的影响。随着中美竞争关系日益激烈，越来越多的在美国华裔科学家开始放弃其美国学术从属关系，根据普林斯顿大学、哈佛大学和麻省理工学院研究人员最新收集的数据，仅 2021 年就有超过 1 400 名具有美国顶尖终身职位的华人科学家回到中国，人数同比增长了 22%^[12]。

2.2 中美跨国科研人员研究领域变化

2019—2021 年，中美自然科学领域跨国科研人

员产出论文排名前10位学科的论文数量变化如图10所示。与图6对比可以看出,在跨国科研人员产出论文数量排名前10位学科中,有9个学科与中美合作论文数量较多的学科保持一致,而在能源科学技术领域,跨国科研人员论文产出较多,中美合作则在计算机技术领域论文产出较多。由图10可知,2019—2020年中美自然科学领域跨国科研人员论文产出排名前10位的学科论文数量减少情况整体并不明显。2021年,这10个学科的论文数量均出现明显下降,其中,化学学科和物理学科论文数量下降幅度最大,化学学科论文数量从2020年的2093篇减少为971篇,下降了54%,物理学科论文数量则从1569篇减少为812篇,下降了48%。

2019—2021年中美自然科学领域跨国科研人员论文产出排名前10位的学科论文数量下降幅度采用论文下降率来表示,如图11所示。论文下降率是指2021年学科领域论文数量比2019年的减少数量与2019年论文数量的比值。由图11可知,有4个学科的论文下降率都超过了50%,分别是化学、物理、能源科学技术和材料科学,其中,化学学科

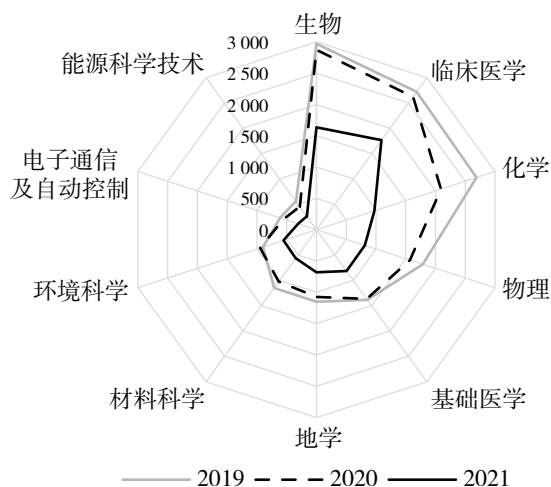


图10 2019—2021年跨国科研人员论文产出排名前10位的学科论文数量变化情况

的论文下降率最大,达到64%,其次为物理学科,论文下降率为55%。论文下降率在40%~50%的学科有电子通信及自动控制、生物、地学和基础医学4个学科,环境科学和临床医学两个学科的论文下降率较小,分别为38%和35%。

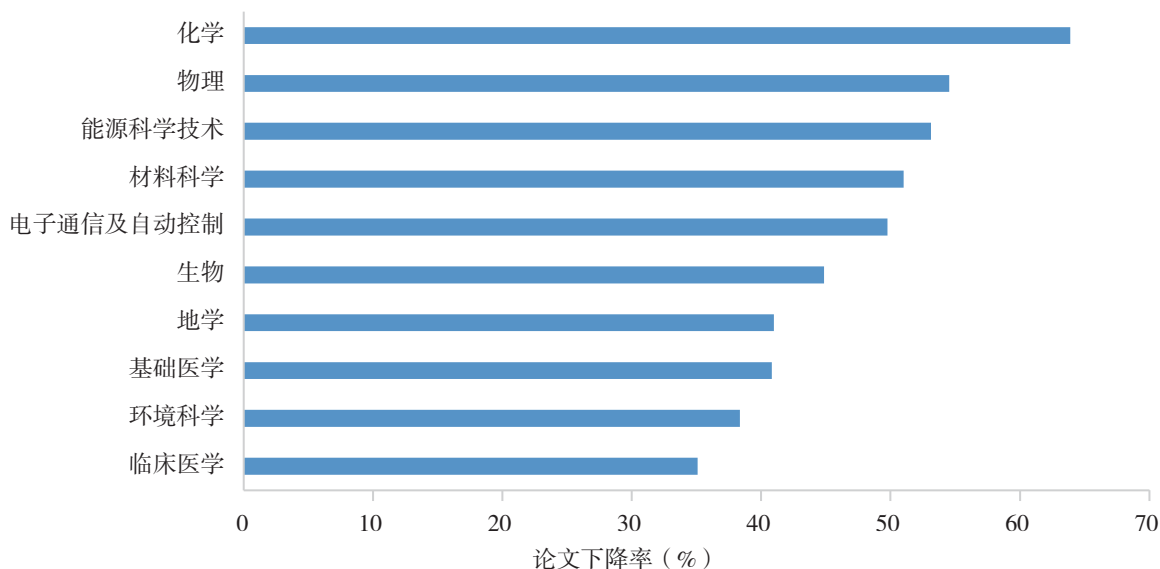


图11 2019—2021年中美自然科学领域跨国科研人员论文产出排名前10位学科论文下降率对比

3 结论与建议

中国和美国作为全球论文产出量最大的两个国家,科研合作较为紧密。2016—2020年中美合作论文数量持续增长,科研关联度一度保持持续增强的变化趋势,在生命科学、基础研究和工程研究

等一些重要学科的合作论文数量也呈现上升趋势;同时,中美合作在各自国际合作网络中均具有重要作用,中美合作论文在本国国际合作论文中的占比均高于其他国家。但是这对于两国的重要性有所差异,中美合作对于中国的影响要大于对美国的影响。

但 2016—2021 年中美合作论文占中国国际合作论文比例的年度变化对比分析结果表明,中美合作对于中国的重要性正在逐步减弱,而对于美国的重要性则呈先增强后减弱趋势。

在战略竞争背景下,中美在自然科学领域的科研合作受到一定影响。2021 年,中美在自然科学领域的合作论文数量首次出现下降,表明中国和美国的科研关联度开始下降,并且对于美国的影响作用也出现降低,即中美合作论文占美国国际合作论文的比例开始下降。自 2020 年起,中美在一些优势自然学科领域的合作论文数量也呈现下降趋势,其中,物理和化学两个基础学科的合作论文数量下降幅度较大。而临床医学和地学两个学科在 2021 年的合作论文数量仍保持了一定的增长。中美合作关联度的下降以及影响作用的减弱与新冠疫情有一定关系,但更主要的原因是中美两国在科技领域日益激烈的竞争态势,由于政策导向等原因,中美自然学科领域跨国科研人员数量出现大幅下降,通过对 2019—2021 年中美自然学科领域国际合作论文中跨国科研人员数量进行分析,可以得出其数量呈现下降趋势,并且 2021 年的下降幅度超过 30%,同时,这类跨国科研人员在化学和物理两个基础学科的论文数量下降幅度最大,化学学科论文下降率达到 64%,物理学科为 55%,因此,中美自然科学领域跨国科研人员数量的大幅减少导致了中美合作论文总量的下降。

长期来看,国际科技领域中竞争与合作是共存的。美国相关专家提出,与中国的国际合作极大地推动了美国科技的发展^[13]。同样地,加强科技开放合作也是中国在新的历史阶段的重要发展理念^[14]。把中美科技交流合作放在全球科技合作的大视野中长远看待,努力寻找中美科技关系的共同点,积极推进双方的交流合作应对全球性挑战。结合本文的研究结果,对中美两国在科研领域的合作提出以下 3 点建议。

首先,要进行合作交流模式的创新。应充分发挥机制创新的特点,在现有的政府间科技双边合作机制基础上,构建以中短期、灵活的交流方式为主、长期计划为辅的交流合作模式,从而实现长短结合、相互补充、灵活高效的合作效果。当前,关于加强中美国际科技合作的需求一直存在,对于与中国的

合作,美国的许多企业和科研机构也一直保持审慎的积极态度。因此,通过交流合作模式的创新,可以拓展合作的方式,将双方的合作范围尽可能扩大,以提高各方面合作的可能性。

其次,还可以通过重点领域寻求合作交流的突破点。根据分析结果,虽然中美合作论文总量和一些重点学科领域的合作论文数量在 2021 年均出现不同程度下降,但临床医学和地学两个学科的合作论文数量仍有所上升,并且,在跨国科研人员的论文中,环境科学和临床医学两个学科的下跌幅度较小。临床医学、地学、环境科学和临床医学 4 个学科的研究热点大多围绕全球疫情治理、环境污染防治和气候变化展开,这表明两国在这些领域的合作存在一定的潜力。例如,在气候变化领域,中国气候变化事务特使解振华指出,在中美关系复杂敏感的形势下,中美双方谈判团队仍保持了沟通,两国地方、企业、智库的对话合作持续推进^[15]。此外,中国在可持续发展、生物多样性等领域,仍然与美国保持了持续稳定合作。

最后,国际合作还应突破空间和技术局限,为科研人员创造更多的合作平台。新冠疫情使得国际合作面临新的问题,研究人员可能无法面对面进行交流,但在此情况下,来自中美两国的不同科研人员的合作仍呈现上升的趋势,也从一个侧面反映出中美两国的合作潜力。因此,在新一代信息技术的发展背景下,可充分拓展交流合作的形式,使得更多的国际科技人才可以远程参与中国以及全球的科技合作。■

参考文献:

- [1] 张杰. 中美战略竞争的新趋势、新格局与新型“竞合”关系[J]. 世界经济与政治论坛, 2020(2): 1-20.
- [2] The White House. Executive order on the implementation of the CHIPS Act of 2022[EB/OL]. (2022-08-25)[2022-09-28]. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-ctions/2022/08/25/executive-order-on-the-implementation-of-the-chips-act-of-2022/>.
- [3] GUILLE B, WAGNER C. A new S&T policy for a new global reality[EB/OL]. (2021-07-01)[2022-01-20]. <https://issues.org/global-science-technology-policy-guile-wagner>.
- [4] 陈秀娟, 张志强. 国际科研合作对科研绩效的影响研究

- 综述[J]. 图书情报工作, 2019, 63(15): 127-139.
- [5] 任孝平, 杨云, 迟婧茹, 等. 国际科技创新合作研究现状及研究方法综述[J]. 全球科技经济瞭望, 2019, 34(8): 66-76.
- [6] 胡泽文, 崔静静, 任萍. 国内科研合作研究进展综述[J]. 现代情报, 2022, 42(6): 148-159.
- [7] 程如烟, 邢小宇. 从国际合著论文看中美科技合作的发展趋势[J]. 中国科技人才, 2021(5): 76-80.
- [8] 王文平, 刘云, 何颖, 等. 国际科技合作对跨学科研究影响的评价研究: 基于文献计量学分析的视角[J]. 科研管理, 2015, 36(3): 127-137.
- [9] 周小林, 任孝平, 张志辉, 等. 中国国际科研合作现状分析与启示: 基于文献计量分析的视角[J]. 情报工程, 2019, 5(3): 86-98.
- [10] 中国科学技术信息研究所. 2020 年度中国科技论文统计与分析(年度研究报告)[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2022: 11.
- [11] RICHARD V N. The number of researchers with dual US-China affiliations is falling[EB/OL]. (2022-05-30)[2022-07-10]. <https://www.nature.com/articles/d41586-022-01492-7>.
- [12] The Wall Street Journal. U.S.-China tensions fuel outflow of Chinese scientists from U.S. universities[EB/OL]. (2022-09-25)[2022-11-28]. <https://www.wsj.com/articles>.
- [13] American Academy of Arts and Sciences. Challenges for international scientific partnerships[EB/OL]. (2020-12-01)[2022-08-20]. <https://www.amacad.org/project/CISP>.
- [14] 范英杰, 樊春良. 寻求共同基础推进交流合作: 对美国智库和科学界主要科技政策报告的解读与启示建议[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(2): 197-205.
- [15] 解振华. 应对气候变化这十年中国积极建设性参与和引领全球气候治理并取得重要成果[EB/OL]. (2022-09-22)[2022-11-28]. http://www.ncsc.org.cn/xwdt/gnxw/202210/t20221010_995813.shtml.

Analysis of China-U.S. Scientific Research Cooperation in the Field of Natural Science Under the Background of Strategic Competition

ZHAI Lihua, PAN Yuntao

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: This study takes China-U.S. scientific research cooperation as the research object, and based on Science Citation Index Expanded database, discusses the characteristics of China-U.S. scientific research cooperation in the context of strategic competition, focusing on the analysis of the changing trend, discipline distribution and changing characteristics of China-U.S. cooperation in 2016–2021, as well as the impact of the cooperation on their respective countries' international cooperation. At the same time, the relevant influencing factors are also analyzed from the perspective of the number of transnational researchers and changes in research fields. The results show that before 2020, China and the United States once maintained close cooperation and the enhanced trend and occupied the first place in their respective international cooperation networks. China-U.S. cooperation has a greater impact on China. With the increasingly fierce competition between China and the U.S. in the field of science and technology, the number of cooperation papers has declined. At the same time, the importance of China-U.S. cooperation is also weakening. However, the number of cooperation papers in certain areas, such as clinical medicine and geosciences, has increased slightly. The sharp decline in the number of transnational scientific researchers in China and the United States has become an important factor in the reduction of the relevance of China-U.S. cooperation. Finally, some suggestions are put forward for the future of China-U.S. scientific and technological cooperation from the aspects of mechanism innovation and diversification of communication methods.

Keywords: China-U.S. cooperation; international cooperation; strategic competition; transnational researchers; scientometrics