

崛起的中国科学:1980—2018 ——基于WoS论文的统计分析

翟琰琦¹, 刘小慧^{1,2}, 岳婷^{1,2}, 廖宇^{1,2}, 丁洁兰^{1,2}, 杨立英^{1*}

1. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190

2. 中国科学院大学图书情报与档案管理系, 北京 100190

摘要 以WoS(Web of Science)数据库为统计源,利用文献计量学的统计指标,从科研产出规模、学术影响力、重要成果、学科结构和国际合作5个视角,分析了1980年以来中国科学研究的整体表现。研究发现,中国论文产出呈现爆发式增长,稳居世界第二,实现了科研大国的崛起;论文影响力和重要成果产出效率超过世界平均水平,但与科技强国仍存在显著差距;各学科呈现非均衡的发展态势;国际合作也有待加强。

关键词 中国科学;学术影响力;学科结构;文献计量

基础研究是科技创新的源泉,是科学技术发展的基石,关乎中国国际科技竞争力的提升,决定着中国世界科技强国的建设进程^[1]。近年来,中国政府不断加大基础研究的投入,研发经费、制度保障、科研设施建设等各方面均有极大的改善,为基础研究的成果产出提供了有力支撑^[2]。基础研究也因此取得了举世瞩目的显著成就,在高温超导、中微子物理、纳米科技、量子通信等方面都有重大突破,为中国经济社会发展提供了坚强支撑。

提升基础研究的竞争力,实现科技大国向科技强国的转型,离不开对其发展水平的客观认识。因

此,本文以探究中国基础研究在世界舞台上的表现为目标,剖析进步和不足。考虑到基础研究的内涵远远超出了数量和质量的范畴,结合定量分析的优势,将基础研究的内容限定在研究规模、学术影响力、重要成果、学科结构和国际合作5个维度。由于基础研究的成果多以学术论文的形式发布和传播,本文采用定量分析的方法,用量化的数据见证中国科学的发展历程,揭示发展中存在的问题,以期为中国科研决策层全面把握国家科研实力、前瞻制定和部署学科发展规划提供参考。

收稿日期:2019-09-10;修回日期:2019-09-17

基金项目:国家自然科学基金项目(L182400022)

作者简介:翟琰琦,研究实习生,研究方向为科学计量学,电子信箱:zhaiyanqi@mail.las.ac.cn;杨立英(通信作者),研究员,研究方向为科学计量学,电子信箱:yangly@mail.las.ac.cn

引用格式:翟琰琦,刘小慧,岳婷,等.崛起的中国科学:1980—2018——基于WoS论文的统计分析[J].科技导报,2019,37(18):136-145;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2019.18.013

1 数据来源与方法

定量分析数据来源于科睿唯安公司的 WoS (Web of Science) 数据库 (SCI/SSCI), 选取了科研体量最大的 Top 4 (前 4 名) 国家 (美国、英国、德国和日本) 作为与中国进行国际对比的对象, 以期解读中国科学的发展态势。统计口径如下: 文献类型为论文 (article) 和评述 (review); 中国论文含港、澳地区论文; 考虑到 1949—1979 年中国的 SCI 和 SSCI 论文总量不足 1000 篇, 自 1980 年后, 中国科研人员发表 SCI 和 SSCI 论文数量进入起步发展期, 因此选取的统计时间窗为 1980—2018 年; 被引频次统计时间窗为发表年至数据下载时 WoS 被引频次更新时间; 数据收集时间为 2019 年 8 月 26 日。

2 产出规模

从发表论文数量看, 中国的论文产出呈现爆发式增长的态势, 年均增长率高达 18%, 远超美、英、德、日 4 国 (3%~5%), 在世界科学的舞台上表现突出。1980 年中国产出 SCI 和 SSCI 论文共 696 篇, 位列第 31 位; 同期, 美国论文数约 13 万篇, 是中国论文总数的 186 倍, 差距显著。1994 年中国论文总数首次破万篇, 2006 年数量达 8.6 万篇, 超过了英国, 排名全球第二。进入 21 世纪以来, 中国的论文产出量与美国差距不断缩小, 2018 年中国论文总量已达 40.3 万篇, 仅次于美国 (42.7 万篇), 且以较大优势领先于英国 (13.1 万篇)、德国 (11.6 万篇) 和日本 (8.3 万篇) (图 1)。

国家的科研规模除了从论文的数量加以测度, 也可以从论文在世界总量中的相对体量考虑。前者反映了国家科研活动的绝对规模, 而后者则描述了在世界总体研究规模发生变化的背景下国家的相对研究规模。例如, 在全面评估中国科研成果数量快速增长的同时, 既要认清中国绝对科研规模不断扩大的事实, 同时, 也要考虑 WoS 数据库收录论文总量逐年增加的背景。为了消除数据库论文总量增长对国家论文总量变化的影响, 本文引入论文世界份额指标以测度中国的相对研究规模, 由于中

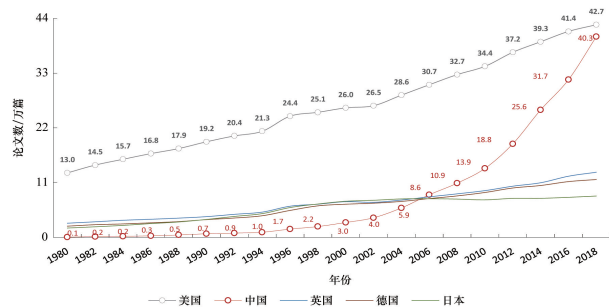


图 1 1980—2018 年论文总数排名前 5 位国家的论文数量
Fig. 1 Number of publications in Top 5 countries from 1980 to 2018

国论文总量已稳居世界第二, 故以中、美为例进行对比分析。

从论文世界份额看, 中国的世界份额从 1980—1982 的 0.3% 增长到 2016—2018 年的 21.6%, 增加了 21.3%; 同期美国的世界份额则由 39.9% 降低到 25.4%, 减少了 14.5%。中国的世界份额呈现逐年上升的态势, 美国则呈现逐年下降的趋势, 且在 2016—2018 年, 中、美世界份额的差距缩小到 3.8%。中国的快速崛起已经对美国产生了可见的影响 (图 2)。

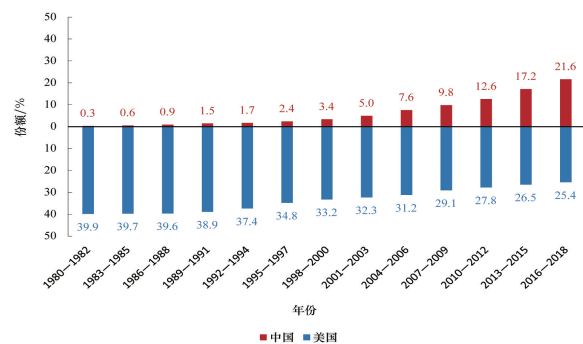


图 2 1980—2018 年中国和美国的论文世界份额
Fig. 2 World share of publications by China and the United States from 1980 to 2018

3 学术影响力

论文的被引频次是揭示学术影响力的基本指标。学术影响力既可以从被引频次的数量测度, 也

可以从被引频次的世界份额考虑。前者反映了绝对影响力,而后者则揭示了在世界影响力总量变化背景下的相对影响力。本文用被引频次的世界份额指标,以期揭示中国科研影响力的相对规模。

从图3可以看出,中国论文的整体学术影响力在1980—2018年取得了长足进步,2016—2018年的世界份额高达24.8%,仅次于美国(33.4%),远高于第三名英国(11.1%)。与1980—1982年相比,2016—2018年中国的被引频次世界份额增加了24.6%,进步显著,说明中国科研成果的总体学术影响力取得了显著提升。美国论文的总体学术影响力远超其他国家,1980—2018年,约47%的世界论文的被引频次来自于美国。在1980—1997年,美国的这一份额高达50%以上。但从发展趋势看,美国论文被引频次的世界份额呈现逐年递减的态势:2016—2018年相比1980—1982年下降了23.7%。英国和日本论文被引频次的世界份额相对稳定,分别维持在11%和5%左右。德国论文的被引频次世界份额略有上升,2016—2018年相比1980—1982年增加了4.2%(图3)。

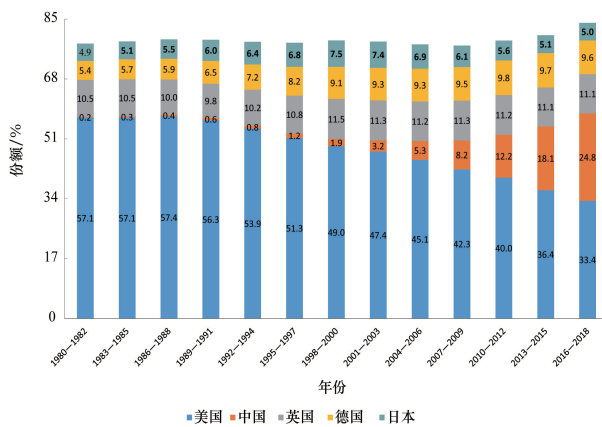


图3 1980—2018年论文总数排名前5国家论文被引频次世界份额

Fig. 3 World share of Top 5 national publications cited from 1980 to 2018

国家论文的被引频次是从国家整体发文的角度描述其学术影响力。被引频次指标与产出规模(论文数量)的相关性很强。例如国家的论文数量越多,其被引频次通常也越高。篇均引文(总被引

频次/总论文数)指标是对产出规模归一化处理之后的影响力指标。学科规范化的引文影响力(category normalized citation impact, CNCI)指标是科睿唯安公司提供的学科归一化后的篇均引文指标,即研究对象的论文平均被引次数和相同学科、相同年份、相同类型论文平均被引次数的比值。该指标旨在对不同学科引用规律的差异进行标准化处理,CNCI值 ≥ 1 ,表示论文的影响力达到或者超过了世界平均水平。

从CNCI指标得分看:中国CNCI得分由1980—1984年的0.41上升到2014—2018年的1.004,略高于日本(0.95),超过世界基线,表明中国论文的影响力已达到了世界平均水平。反观其他4国,美国和英国的得分始终高于世界平均水平,两国一直保持领先的学术影响力水平;德国也显示出强劲的发展势头,CNCI得分赶超美国;日本表现相对稳定,但CNCI得分一直低于世界平均水平。综上所述,中国进步明显,但仍落后于美国、英国和德国等科技强国,表明中国的科学研究在产出规模扩张的同时,需进一步关注学术质量的提升(图4)。

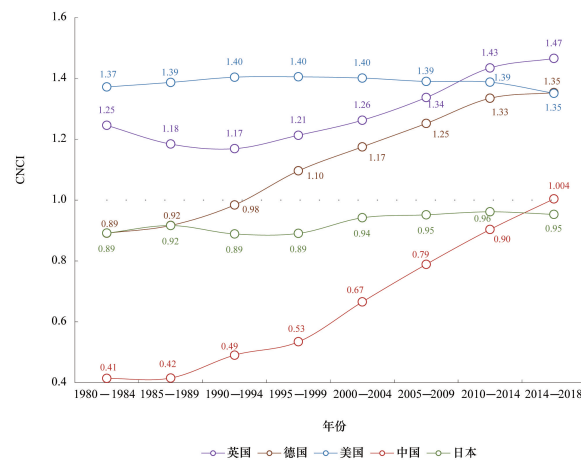


图4 1980—2018年论文总数排名前5国家的CNCI得分

Fig. 4 CNCI scores of Top 5 countries 1980—2018

4 重要成果

从科学研究发展规律看,关键突破往往取决于

为数不多的重要成果的推动作用。除少数超越同行认知范围的研究工作外,绝大多数重要成果在发表后都能获得较高的同行关注度和被引频次,因此科研评价中常用被引频次测度成果的重要性。本节以被引频次居于前1%的论文作为高被引论文的分析依据,以揭示中国科研重要成果的产出能力。

中国在高被引论文产出方面取得了进步:2013—2015年,中国的高被引论文数量达到8899篇,超越英国(7442篇),跃居世界第二位;2016—2018年,中国进一步缩小了与排名世界第一美国的差距。中、美高被引论文数量之比由2013—2015年的40%提升为69%(图5)。

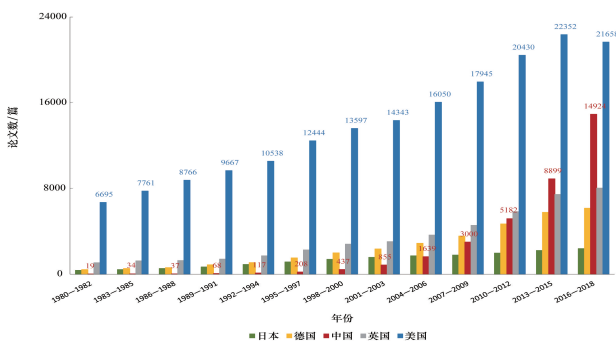


图5 1980—2018年论文总数排名前5国家高被引论文数量
Fig. 5 Number of highly cited publications in Top 5 countries from 1980 to 2018

高被引论文数量反映了重要成果产出的绝对规模,高被引论文的世界份额则揭示了相对产出规模。从高被引论文世界份额看,2016—2018年中国高被引论文世界份额位列世界第二位,仅次于美国(45.5%)。从高被引论文世界份额的增幅看,中国由0.2%上升到31.3%,增加了31.2%。比较中国与其他4国的这一指标:美国的高被引论文世界份额始终保持45%以上,优势突出,但总体呈现逐年下降的趋势,尤其是2016—2018年,中、美差距缩小到了14.2%;与英国、德国和日本相比,中国在2016—2018年具有明显的领先优势(图6)。

高被引论文数量占本国全部论文数量的份额,即高被引论文的本国份额可揭示其产出效率。国家的产出效率越高,说明该国用相对较少的论文产出了相对较多的高被引论文。本文中高被引论文

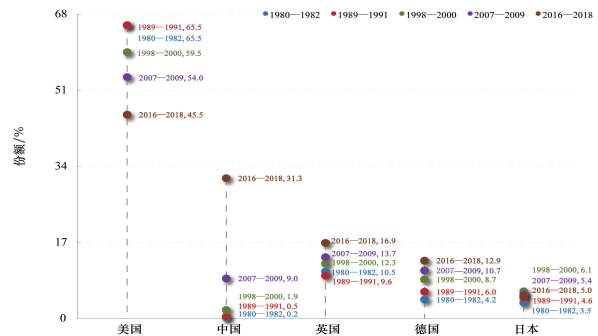


图6 1980—2018年论文总数排名前5国家高被引论文世界份额

Fig. 6 World share of Top 5 countries highly cited publications from 1980 to 2018

的遴选阈值为1%,因此1%可视为世界平均水平或基准线。

1980—2018年,中国高被引论文的本国份额总体呈上升态势。其中,在2002—2009年超越日本,2010—2012年超过世界平均水平,2016—2018年达到1.4%,表明中国的高被引论文产出效率逐步提升。但与美国、英国、德国相比,中国仍存在一定差距:美国高被引论文份额始终高于世界平均水平且相对稳定,基本维持在1.6%~1.8%;英国和德国的高被引论文本国份额涨幅较大,2016—2018年分别达到2.1%、1.8%(图7)。

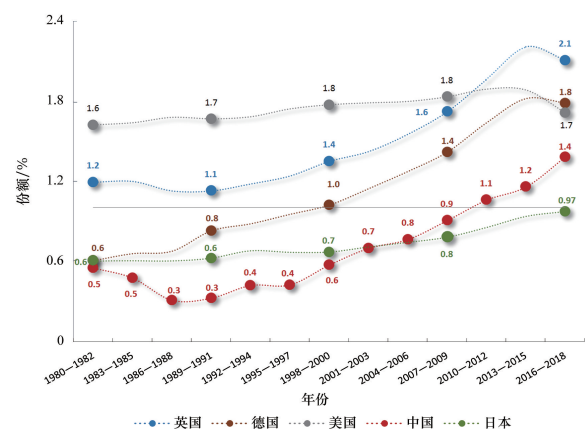


图7 1980—2018年论文总数排名前5国家高被引论文的本国份额

Fig. 7 National share of TOP 5 highly cited publications from 1980 to 2018

5 学科结构

一个国家的学科结构既是其科学体系的构成方式,也是学科发展战略规划的体现^[3]。健康合理的学科结构是促进科技创新、增强国家科研竞争力的基础和保障。

在文献计量学研究中,国家的学科结构指各学科在国家整个学科体系中以配额或比例组合形成的布局。发文章是考察学科布局的基本指标,为使不同学科和国家之间具有可比性,本文使用各学科发文章的世界份额作为统计指标分析中国学科结

构的演变,并与美国的学科结构进行对比。

图8用4个图展示了中国1980—2018年4个阶段的学科结构发展历程。首先,中国各学科都取得了显著的进步。纵观4个阶段,中国大部分学科的发文章世界份额由不足1%到2016—2018年上升到18个学科的论文世界份额高于10%,甚至部分学科接近40%,充分表明了39年来各学科取得了长足进步。

中国学科结构也发生了显著变化,优势学科不断涌现:在1980—1982年,数学、空间科学和物理十分突出;经过10年的发展,到1992—1994年阶

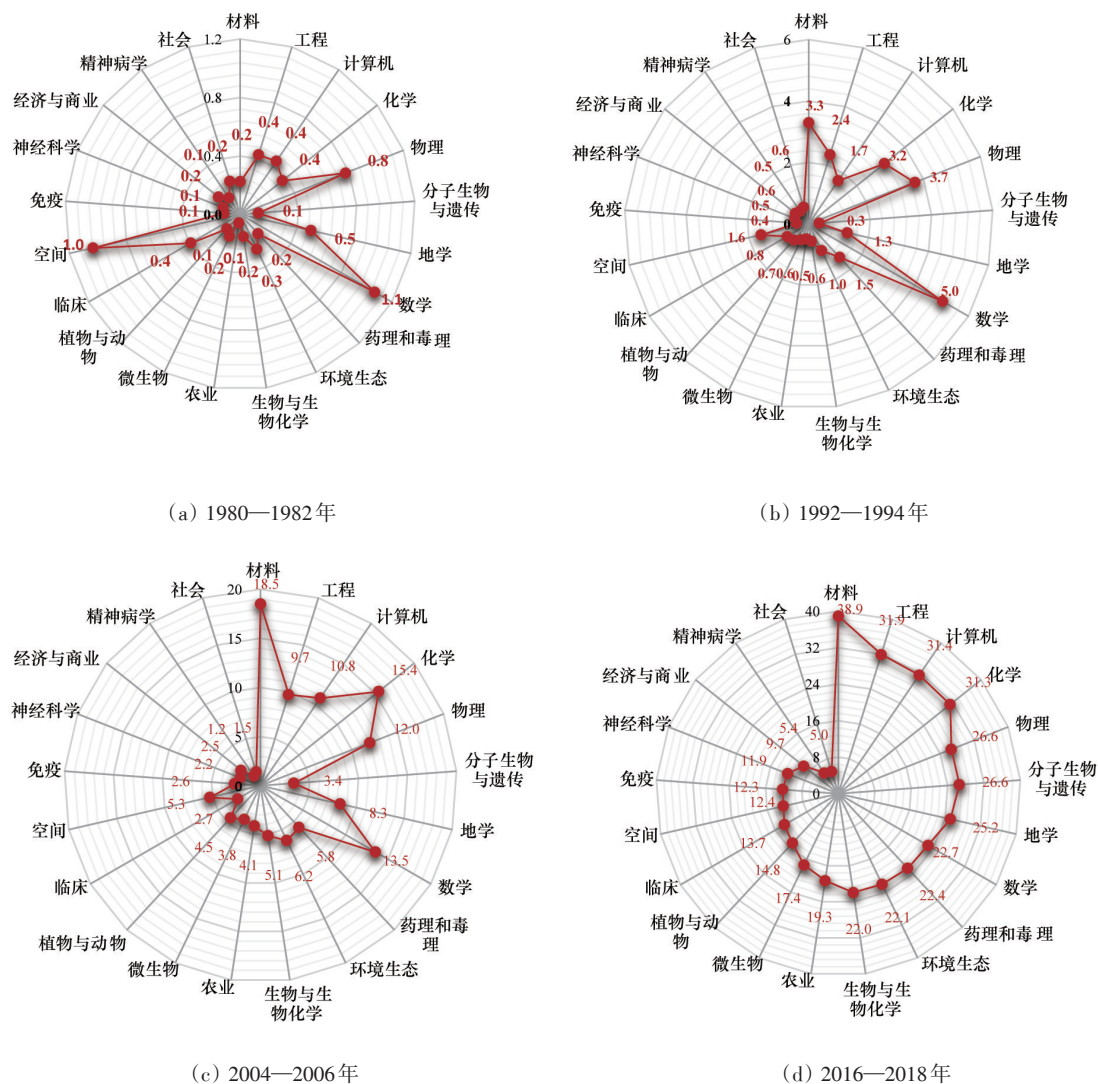


图8 1980—2018年4个阶段中国ESI学科的论文产出数量的世界份额(%)

Fig. 8 Share of ESI 21 subject publications in China from 1980 to 2018 (%)

段,除数学和物理外,材料、化学和工程发展最为迅速,与数学、物理共同成为优势学科,计算机表现出旺盛的发展潜力;到2004—2006年,各学科的研究规模扩张明显,尤其是材料科学的世界份额增加了15.2%,进步显著。

整体而言,中国各学科的发展态势并不均衡,呈现偏态分布;2016—2018年,在整体快速推进的情况下,学科间发展水平有所不同,较之本国其他学科,材料、工程、计算机和化学处于领先地位(图8)。

美国各学科发展较为均衡,学科结构保持企稳。美国的生命科学、社会、经济与商业、空间科学一直比较突出。纵观两国的学科结构,中、美两国的学科布局总体呈现互补特征,2016—2018年表现尤其明显(图8、图9)。

由于学科间存在千丝万缕的关联,这些关联将学科间的沟壑连接起来,促使学科间交叉融合并共同发展。因此,对于科研大国而言,均衡的学科布局更有利于国家整体科研效率提升,有助于完善学科体系、促进其可持续发展^[3]。总而言之,图8的数

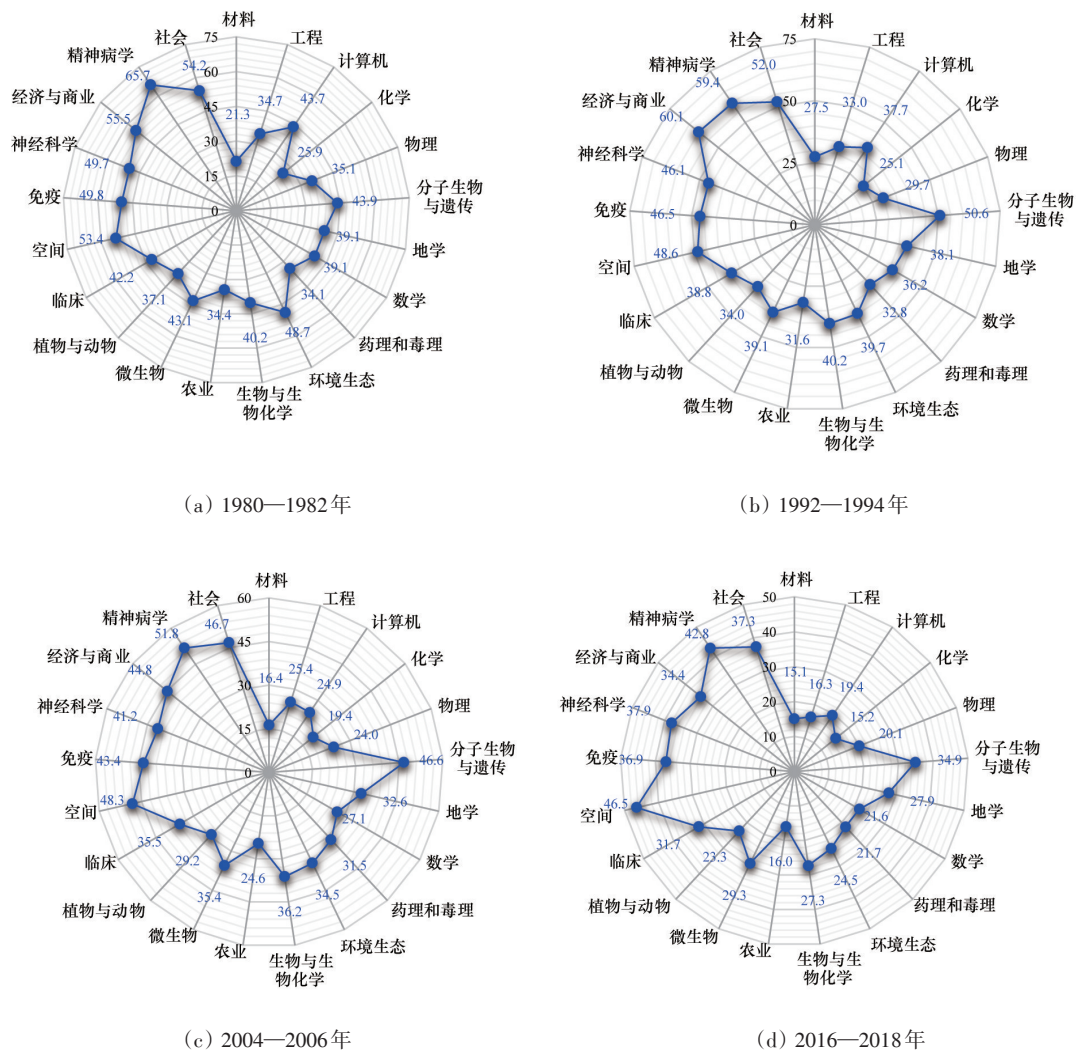


图9 1980—2018年4个阶段美国ESI学科的论文产出数量的世界份额(%)

Fig. 9 Share of ESI 21 subject publications in the United States from 1980 to 2018 (%)

据揭示出,在快速推进的大局下,中国各学科发展呈现非均衡的态势,生命科学、社会科学和空间科学等学科具有较大的提升空间。希望今后通过学科布局的调整,加速推动上述学科研究工作的进展,助力中国科研早日实现腾飞^[4]。

6 国际合作

在科技发展日趋国际化的今天,国际合作已成为国家科技发展战略中的重要组成部分。无论是发达国家要保持科学前沿领域的领先地位,还是发展中国家要在原本较落后的起点上实现局部突破和跨越式发展,都有必要通过国际合作在全球范围内整合资源,以有效提升本国科研竞争力。本节将揭示中国的国际合作状况,探究国际合作的程度和变化,挖掘中国国际合作的特征,希望能够为决策者制定有效的国际合作政策提供参考。

在文献计量研究中,国际合作论文是指署名国家数量超过1个的论文。表1数据表明,1980—2018年,中国的国际合作论文数量增长最快,增长率高达20.9%,远高于美国(9.05%)、英国(9.3%)和

日本(10.1%)的增长率;2007—2009年相比2004—2006年中国国际合作论文数量增长了26821篇,达74241篇,超越了日本;在随后几年,先后超越了德国和英国,成为国际合作的第二大国家。

中国国际合作论文数量的增长一方面得益于国际合作研究的蓬勃开展,另一方面也与论文总量增加后“水涨船高”的结果有关。为了进一步探究中国开展国际合作的程度,本文采用合作论文占本国总论文的份额(国际合作率)指标来揭示国际合作的强度。从国际合作论文份额可以看出:中国的国际合作论文份额以较小的涨幅逐步上升。截至最后一个观察周期2016—2018年,中国的国际合作份额为26.8%,反映出中国的研究模式以自主研究为主。与其他4国相比,中国仍需继续强化国际合作研究。以英国和德国为例,其国际合作论文份额在2010—2012年已超过50%,反映出国际合作已经成为主要的科研模式。以上数据表明,虽然中国国际合作论文数量增长最快,正在不断加快国际合作的步伐,但是国际合作强度相对美、英、德、日等国家仍然较低(表1)。

前文从国际合作论文数量及国际合作率的视

表1 Top 5国家国际合作论文的数量及份额
Table 1 Number and share of Top 5 international cooperation publications

时间	美国		中国		英国		德国		日本	
	论文数/篇	份额/%	论文数/篇	份额/%	论文数/篇	份额/%	论文数/篇	份额/%	论文数/篇	份额/%
1980—1982	25575	6.2	528	14.8	10596	11.8	8590	11.9	2958	4.9
1983—1985	36065	7.6	1686	23.9	13836	13.3	12281	14.9	4855	6.7
1986—1988	47291	9.1	2526	20.3	17365	15.3	16528	18.0	6901	7.8
1989—1991	63010	10.9	4395	20.2	22814	18.2	22980	21.5	10557	9.6
1992—1994	86715	13.9	6699	23.4	33108	22.9	33194	26.9	16487	12.2
1995—1997	119364	16.8	10929	22.2	48839	26.9	49381	30.9	24842	14.4
1998—2000	160761	21.0	18360	23.6	68493	33.0	70438	36.1	37011	17.7
2001—2003	192698	24.1	28995	23.7	81638	38.3	84696	41.1	45400	20.3
2004—2006	232514	26.2	47420	21.9	99535	42.5	100890	44.6	52710	22.7
2007—2009	284879	29.2	74241	22.5	124750	47.4	119922	47.9	57386	24.9
2010—2012	353492	32.9	119233	24.4	153579	52.0	146072	51.3	64013	27.6
2013—2015	438689	37.2	189744	24.8	193949	57.9	172236	54.6	71067	30.0
2016—2018	530086	42.0	287253	26.8	244147	64.2	202704	59.1	83736	34.1

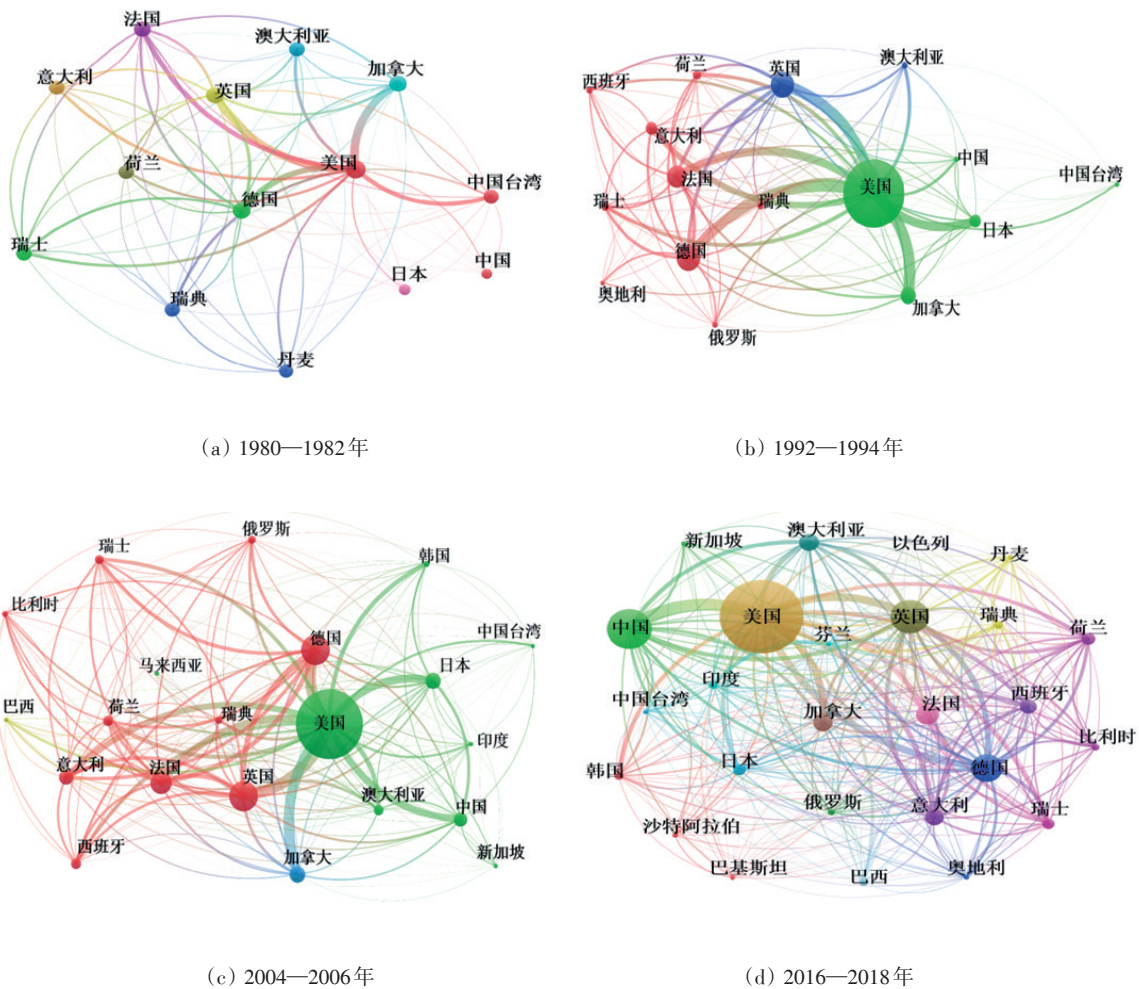
注:份额指占本国发表论文数量的份额。

角,揭示了各国的国际合作强度。本文在构建各国合作关系数据的基础上,绘制了中国的国际合作网络图谱,从网络的视角出发,揭示出中国的主要合作关系及演化历程。从图10可以看出,随着时间的推移,中国的合作国家(地区)数量越来越多,同时与各国的合作频次也明显增强。

对中国各阶段的Top 10合作国家分析可得,美国、英国、日本和德国是中国的主要合作国家,中、美的合作尤为突出,中国与美国的国际合作论文数量占据了中国国际合作总论文数量的38%以

上。1980—1982年,中国有超过50%的国际合作论文是与美国合作完成的,2016—2018年合作比例仍高达46.2%。在统计时间窗的大部分时间,中、日合作不断加强,合作份额分别达到12.8%和15.1%,但中、日在2016—2018年的合作份额下降到了6.5%(表2)。

上述定量数据揭示出,尽管中国的国际合作论文数量增速较快,但国际合作率低于美、英、德和日本等科技发达国家,还需要进一步走向国际,在全球范围内整合资源,加强国际合作。



注:节点表示国家(地区),连线表示国家(地区)间的合作,节点大小表示各国家(地区)合作论文数量的多少,连线粗细表示国家(地区)间合作频次的多少;国家(地区)依据与中国的合作频次遴选确定,阈值依次为6、100、400和3500次

图10 4个不同阶段中国国际合作论文网络

Fig. 10 The of network of China international cooperation papers at four different stages

表2 4个不同阶段中国的Top 10合作国家(地区)的合作论文数量及份额

Table 2 Quantity and share of cooperative publications of four Top 10 cooperative countries (regions) in China at different stages

1980—1982			1992—1994			2004—2006			2016—2018		
国家/地区	合作论文数/篇	份额/%	国家/地区	合作论文数/篇	份额/%	国家/地区	合作论文数/篇	份额/%	国家/地区	合作论文数/篇	份额/%
美国	275	52.1	美国	2583	38.6	美国	18025	38.0	美国	132569	46.2
英国	69	13.1	日本	856	12.8	日本	7142	15.1	英国	32299	11.2
加拿大	44	8.3	英国	842	12.6	英国	4893	10.3	澳大利亚	29482	10.3
法国	42	8.0	德国	668	10.0	德国	4194	8.8	加拿大	21586	7.5
德国	32	6.1	加拿大	648	9.7	加拿大	3562	7.5	德国	20232	7.0
日本	27	5.1	法国	383	5.7	澳大利亚	3262	6.9	日本	18551	6.5
澳大利亚	27	5.1	意大利	375	5.6	法国	2399	5.1	法国	12661	4.4
瑞典	19	3.6	澳大利亚	342	5.1	新加坡	2371	5.0	新加坡	12379	4.3
瑞士	13	2.5	荷兰	201	3.0	韩国	2007	4.2	韩国	10845	3.8
丹麦	12	2.3	瑞典	180	2.7	中国台湾	1459	3.1	中国台湾	9979	3.5

注:Top 10国家(地区)依据上述各3年期与中国合作论文数遴选,份额指与该国家(地区)的合作论文数量占中国国际合作论文数量的份额。

7 结论

用定量数据揭示了1980—2018年中国基础研究崛起的历程。作为新兴科技国家,中国基础研究在1980—2018年取得了长足进步。数据表明,中国基础研究产出有如下特征:论文数量大幅增加,居于世界第二位,实现了科研竞争力提升的规模积累;学术成果质量稳步提高,整体超过了世界平均水平,夯实了重大成果产出的基础条件;多数学科发展迅速,学科结构和布局已初见成效;国际合作成果数量显著增长,国际合作已成为推动中国科技进步的力量。

在中国科学突飞猛进的主旋律中,定量数据揭示出中国要想实现科研大国向科研强国的转变,需要在以下3方面着重考虑。

1) 关注中国科研的增长极限,提升科研效率。

较之中国科研产出规模的扩张,中国成果学术影响力的发展水平相对滞后,这说明中国科研竞争力一定程度上来自科研规模的扩张。对于科研大国而言,规模积累是科研竞争力提升的前提和基础,但社会资源配置的有限性决定了中国科研最终会面临“增长极限”的困扰。因此,要着力推动科学研究由“粗放型”向“绿色型”转变,加强科技前沿和影响全球发展的重大问题的原创性及突破性研究,

着重提升科研效率及科研成果的“含金量”。

2) 优化学科布局,促进各学科均衡发展。

健康的学科结构是增强国家科研竞争力的前提。虽然中国各学科都已进入快速上升的进步通道,但学科间发展水平的差距仍然显著,这不仅会影响国家整体科研水平的提升,而且会影响学科间知识融汇和交流交叉,进而制约国家科研竞争力进步。因此,要遵循各学科发展的内在规律,与时俱进,适时调整和优化学科布局,补齐短板,促进各学科交叉融合,实现共同发展。

3) 加强国际合作研究,扩大国际影响力。

1980—2018年,中国在积极推进国际合作并初见成效,但仍有较大提升空间。尤其是与科技强国相比,中国国际合作的强度还需继续加强。未来,科研界要深化与国际先进研究力量的合作,拓展合作网络。同时在具有中国特色和优势的领域,积极开展以我为主的合作研究,增强自主创新能力,提升中国基础研究的国际影响力。

参考文献(References)

- [1] 李静海. 抓住机遇推进基础研究高质量发展[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(5): 586-596.
- [2] Zhang X E. Forty years of highly synchronous develop-

- ment in China's scientific research and economy[J]. National Science Review, 2018, 5(6): 796-798.
- [3] 张晓林, 杨立英, 岳婷, 等. 中国基础研究国际竞争力蓝皮书2015[M]. 北京: 中国科学院文献情报中心, 2015.
- [4] 杨立英, 周秋菊, 岳婷. 中国科学:增长的极限与生命科学的进步——2011年SCI论文统计分析[J]. 科学观察, 2012, 7(2): 41-70.

Rising Chinese science: 1980—2018 — Statistics and analysis based on WoS publications

ZHAI Yanqi¹, LIU Xiaohui^{1,2}, YUE Ting^{1,2}, LIAO Yu^{1,2}, DING Jielan^{1,2}, YANG Liying^{1*}

1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
2. Department of Library, Information and Archives Management, University of Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China

Abstract Based on the WoS (Web of Science) database, this study analyzes the overall performance of Chinese scientific research since 1980 from five perspectives, including the scale of scientific research output, the academic impact, the high-quality output, the discipline structure and the international cooperation, by using the bibliometric method. It is found that the output of Chinese publications shows an explosive growth, ranking the second position in the world. With respect to the citation impact, compared with the developed countries, a noticeable gap still exists. The discipline structure shows that the unbalanced international cooperation also needs to be strengthened.

Keywords Chinese science; academic influence; discipline structure; bibliometrics ●



(责任编辑 傅雪)