

基础研究资助能否产生技术影响力？^{*}

——基于国家自然科学基金的分析

孙轶楠¹ 杜建^{*,2} 李永洁¹ 唐小利^{***,1}

(1. 中国医学科学院医学信息研究所, 北京 100020;
2. 北京大学健康医疗大数据国家研究院, 北京 100191)

摘要: 基础研究是技术创新源动力。本研究采用科学计量学方法, 基于“基金资助-基础研究-技术研发”线性模型, 测度我国国家自然科学基金委(NSFC)资助的基础研究所产生的技术影响力。NSFC 资助项目代表基金资助, 科学论文代表基础研究, 专利文献代表技术研发。以近十年 NSFC 资助产出的高被引论文为基础数据, 从时间、学科与研究方向、国家、机构等维度, 分析高被引论文被专利引用的情况。结果表明: 在国家自然科学基金资助下, 我国不仅产生了大量高影响力的论文, 同时这些论文具有较高的技术影响力, 在科学和技术两个空间产生了影响。国家自然科学基金在推进我国技术创新中发挥了重要作用。

关键词: 国家自然科学基金; 科学计量学; 专利引文; 非专利文献; 技术影响力

DOI: 10.16507/j.issn.1006-6055.2023.11.102

Can Funding for Basic Research Make a Technological Impact?^{*}

——Analysis Based on the Analysis of National Natural Science Foundation of China^{*}

SUN Yanan¹ DU Jian^{*,2} LI Yongjie¹ TANG Xiaoli^{***,1}

(1. The Institute of Medical Information, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100020, China;
2. The National Institute of Health Data Science at Peking University, Beijing 100191, China)

Abstract: Basic research funded by public science is the source of technological innovation. Based on the linear model of fund assistance-basic research-technology R&D, this research adopts the method of scientometrics to measure the technological influence of the basic research funded by the National Natural Science Fund Committee (NSFC). NSFC funded projects represent the foundation, scientific papers represent basic research, patent literature represents technology research and development. Based on the data of highly cited papers funded by NSFC in the past ten years, this paper analyzes the situation of patents cited by highly cited papers from the perspectives of time, discipline and research direction, country and institution. The results show that under the support of the National Natural Science Foundation, not

* 中国医学科学院医学与健康科技创新工程重大协同创新项目“生物医学文献信息保障与集成服务平台”(2021-I2M-1-033)

** E-mail: dujian@bjmu.edu.cn

*** E-mail: tang_xiaoli@imicams.ac.cn

only a large number of high-impact papers have been produced in China, but also these papers have a high technical impact, which has an impact on the two fields of science and technology. The National Natural Science Foundation plays an important role in promoting our technological innovation.

Keywords: National Natural Science Foundation of China; Scientific Metrology; Patent Citations; Non-Patent Literatures; Technological Impact

党的十九大报告指出,创新是引领发展的第一动力,是建设现代化经济体系的战略支撑^[1]。基础研究是科技创新之源,基础科学研究中的每一个重大突破,都会对技术的创新、高新技术产业的发展产生巨大的、不可估量的推动作用。21 世纪科学与技术的鲜明特征是科学技术化、技术科学化,科学与技术的发展已逐渐形成“你中有我,我中有你”的科技共同体,是当代科学技术整合的表现,科学与技术的内在统一和协调发展已成为当今“大科学”的重要特征。

依据创新的原始动力,技术创新可分为“基于科学的创新”(Science-Based Innovation)与“基于技术的创新”(Technology-Based Innovation),基于科学的创新是指与科学研究有很强关联性的创新,创新依赖于科学研究^[2]。科学论文是基础研究的主要产出形式,专利文献是技术创新的重要产物。专利对论文的引用可以在一定程度上表征科学知识向技术知识的转化,即基础研究对技术创新的贡献^[3,4]。从知识流动与科学计量学的角度可以推测,具有技术属性的重大变革性研究成果一旦被专利所引用,其技术创新变革潜力就会初现^[5]。国外也有相关研究支持以上观点^[6,7],利用专利对论文的引用来评估论文的技术影响,并且发现,具有基础性和新颖性的论文被专利引用频次更多、时滞更短,更有可能实现直接的技术影响。

基金资助项目是科技研发投入的重要组成部分,而论文是基金资助项目的主要科研成果。Science 上的一项研究发现,美国国立卫生研究院(National Institutes of Health, NIH) 10%的基金资助

直接产生专利,但 30%的基金资助产生的论文后续会被专利引用。NIH 不到 1%的基金资助直接产生与已上市药物相关的专利,5%的基金资助产生与已上市药物相关专利所引用的论文^[8]。一项针对美国专利数据库中生命科学领域专利的分析发现,自 1990 年以来,超过 30%的被专利引用的论文由美国政府支持,20%得到了 NIH 的资助^[9]。由此可以看到,尽管政策制定者经常关注基金资助项目直接产生的论文或专利,但具有技术影响力的论文也可以间接产生专利申请,即通过分析基金资助项目产生的论文被专利的引用情况可以表征其对技术创新的影响。

国家自然科学基金(Nature Science Foundation of China, NSFC)是我国基础研究和科学前沿探索的主要资助渠道,在国家创新体系中发挥着引领作用。NSFC 资助项目的科研成果主要以论文为主。基本科学指标数据库(Essential Science Indicators, ESI)高被引论文是指在近 10 年内发表论文中被引用次数排在相应学科领域全球前 1%以内的论文,在一定程度上代表了全球高水平科学研究成果^[10]。本研究基于“科技投入-基础研究-技术研发”创新转化路径,NSFC 代表科技投入,科学论文代表基础研究,专利文献代表技术研发,以近十年 NSFC 产生的论文为基础数据,分析其中的高被引论文被专利引用的情况。通过测度基础研究对技术创新的贡献,从一个新的视角反映 NSFC 产生的间接技术影响力,旨在全面了解其对中国和世界技术创新的影响以及发挥的重要推动作用。

1 数据来源与分析方法

1.1 数据来源

本研究选取 Web of Science 数据库“核心合集”2012—2021 年 NSFC 资助产生的论文为基础数据,ESI 高被引论文通过检索结果直接筛选。论文-专利引用数据,通过 Lens.org 数据库检索和获得。Lens.org 是一个开放的基于全球专利引用科技论文的数据平台,2017 年 Nature Index 引用 lens 指标,首次通过定量的指数反映研究论文被专利引用的情况,该指标能在一定程度上反映出基础研究对技术创新的影响^[11]。

考虑到论文作者对基金标注不规范,如 Nature Science Foundation of China、National Natural Science Found of China、Natural Science Foundation of China、NSFC、Chinese National Natural Science Foundation、China NSF、NSFC 等,本研究对上述 20 种标注进行了合并处理。另外,本研究不区分资助机构排序。

1.2 分析方法

本研究基于“科技投入-基础研究-技术研发”创新转化路径,NSFC 代表科技投入、科学论文代表基础研究、专利文献代表技术研发(图 1)。获取 Web of Science 数据库“核心合集”2012—2021 年 NSFC 资助产生的 ESI 高被引论文,通过论文的 DOI/PMID 在 Lens.org 数据库检索其被专利引用的情况,获取论文-专利引用关系及施引专利数据。采用科学计量学方法,基于 Web of Science、Lens.org、Incites、Innography 等数据库,从时间、研究方向、期刊、机构、国家等维度对被引论文与施引专利展开分析。

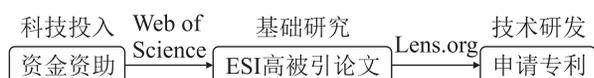


图 1 数据获取与分析图

Fig. 1 Data Acquisition and Analysis

2 结果与分析

2.1 基础数据统计

2012—2021 年 NSFC 资助产生 SCI 论文为 2302266 篇(占 SCI 总量的 8.98%),其中高被引论文为 30257 篇(占高被引论文总量的 17.49%)。经 Lens.org 平台检索,30257 篇高被引论文中有 7372 篇被专利引用(占比 24.4%),总被引频次为 25267 次,最高被引用 224 次,最低 1 次,篇均被引用 3.43 次。被引频次高于平均值的文献共有 1648 篇,占比 22.3%。施引专利 19979 件,其中专利申请 12308 件,授权专利 7671 件。以上数据检索日期均为 2022 年 12 月 31 日。

2.2 被专利引用的高被引论文与施引专利时间分布

2012—2021 年间,NSFC 资助产生的高被引论文呈逐步增长的趋势(2021 年达到峰值),其中被专利引用的高被引论文数量缓慢增长后下降(2018 年达到峰值),专利申请数量呈逐步增长的趋势(2021 年达到峰值)(图 2)。论文被专利引用再到专利公开(专利从申请到公开需至少 18 个月)需要一定的时间累积,因此被专利引用的论文数量趋势变化有一定的波动,并不是持续增长趋势。

2.3 被专利引用的高被引论文 ESI 学科分布

将被专利引用的高被引论文导入 Incites 中,统计分析其 ESI 学科分布(表 1)。从学科分类来看,被专利引用过的高被引论文主要集中在化学、材料科学、工程学、物理学、计算机科学等。

2.4 被专利引用的高被引论文合作情况分析

2012—2021 年间 NSFC 资助产生的高被引论文中,16473 篇是中国独立研究,13636 篇是国际合作研究。中国独立研究的论文其中有 25% 被专

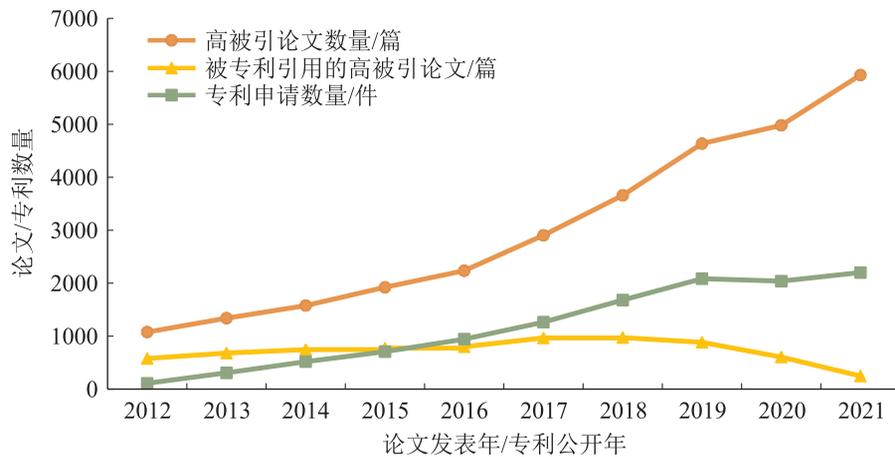


图 2 高被引论文、被专利引用的高被引论文、施引专利时间趋势图

Fig. 2 Time Trend Chart of Highly Cited Papers, Highly Cited Papers Cited By Patents

表 1 被专利引用的高被引论文 ESI 学科分布

Tab. 1 ESI Discipline Distribution of Highly Cited Papers Cited By Patents

序号	ESI 学科分类	论文数(篇)
1	Chemistry	2002
2	Materials Science	1568
3	Engineering	1055
4	Physics	548
5	Computer Science	420
6	Clinical Medicine	355
7	Biology & Biochemistry	248
8	Molecular Biology & Genetics	209
9	Plant & Animal Science	199
10	Environment / Ecology	195
11	Geosciences	128
12	Pharmacology & Toxicology	125
13	Agricultural Sciences	92
14	Microbiology	82
15	Immunology	56
16	Neuroscience & Behavior	54
17	Mathematics	20
18	Multidisciplinary	14
19	Social Sciences, general	10
20	Psychiatry / Psychology	2
21	Economics & Business	1

利引用,国际合作研究的论文其中有 24%被专利引用(表 2)。可以看到,在 NSFC 资助下,无论是独立研究还是合作研究均产生了大量高质量且同

时具有间接技术影响力的高水平论文。

中国独立研究的论文主要被中国的专利引用,占比 63%,其次是美国的专利,占比 14.5%。国际合作研究的论文有 52.8%被中国的专利引用,21.5%被美国的专利引用(图 3)。

表 2 被专利引用的高被引论文合作情况分析

Tab. 2 Analysis of Cooperation of Highly Cited Papers Cited By Patents

	ESI 高被引论文(篇)	被专利引用的 ESI 高被引论文(篇)	引用所占比例	施引申请专利(件)
中国独立研究	16473	4153	25.21%	7186
国际合作研究	13636	3279	24.05%	5993

2.5 施引专利技术来源国分布

基于 Innography 数据库,统计施引专利技术来源国(第一发明人所在国)分布,即哪些国家的专利引用了 NSFC 产生的这些高被引论文(图 4)。可以看到,50%的专利是中国发明的专利,其次是美国、韩国、德国、法国、英国等。NSFC 资助支持的基础研究,在很大程度上间接对我国的技术创新有一定的影响力,即我国的公共基金资助可以促进科学向技术的转移和转化,我国的专利技术创新也对本国的基础研究也有依赖。

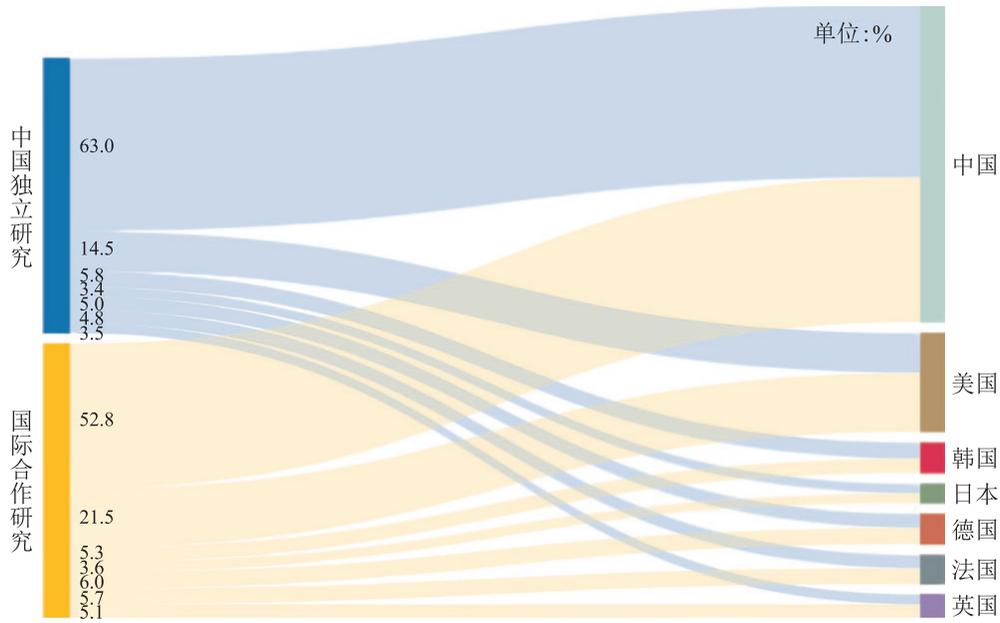


图 3 被专利引用的高被引论文与施引专利国家分布

Fig. 3 The Country Distribution of The Highly Cited Papers Cited By Patents and Citing Patents

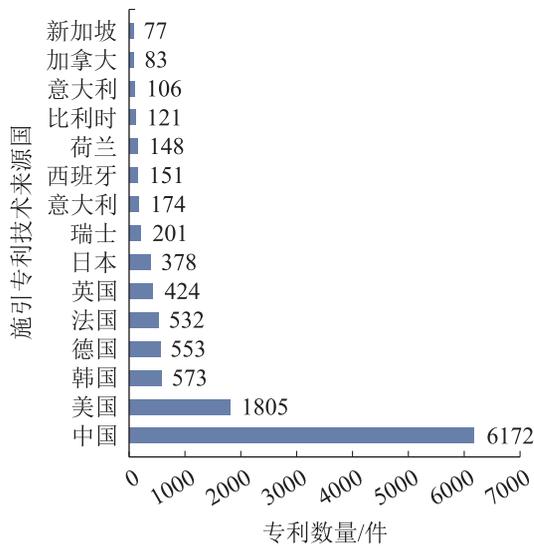


图 4 施引专利技术来源国分布

Fig. 4 The Origin Country of The Citing Patents Technology

2.6 被专利引用的高被引论文学科分布及其施引专利技术来源国

2022 年日本科技政策研究所(The National Institute of Science and Technology Policy, NISTEP) 发布《科学技术指标 2022》报告,统计日本论文与

全球主要国家专利家族之间的联系发现,发现日本物理学和材料科学的论文大约一半都由日本专利引用,分别是 62.1%和 52.5%。但环境/地球科学、临床医学、基础生命科学相关论文大约一半由美国专利引用,被本国的专利引用比例较低^[12]。

参照 NISTEP 的《科学技术指标 2022》学科归类方法,将 ESI22 个学科归为八大类:化学、材料科学、工程学、物理学、计算机科学/数学、环境/地球科学、临床医学、基础生命科学。统计分析 NSFC 资助产生的高被引论文被哪些国家的专利引用,从而分析 NSFC 资助产生的科学知识流动到了哪些国家、可以推动哪些国家的技术发展。可以发现,化学、材料科学、工程学、物理学、环境/地球科学、计算机科学/数学的高被引论文 60%以上都由中国的专利引用,其次是由美国的专利引用,且中美专利数量差距较大(图 5)。但值得注意的是,基础生命科学、临床医学的高被引论文,由美国专利引用的最多(40.1%、39.5%),中国的专利占 30%左右。

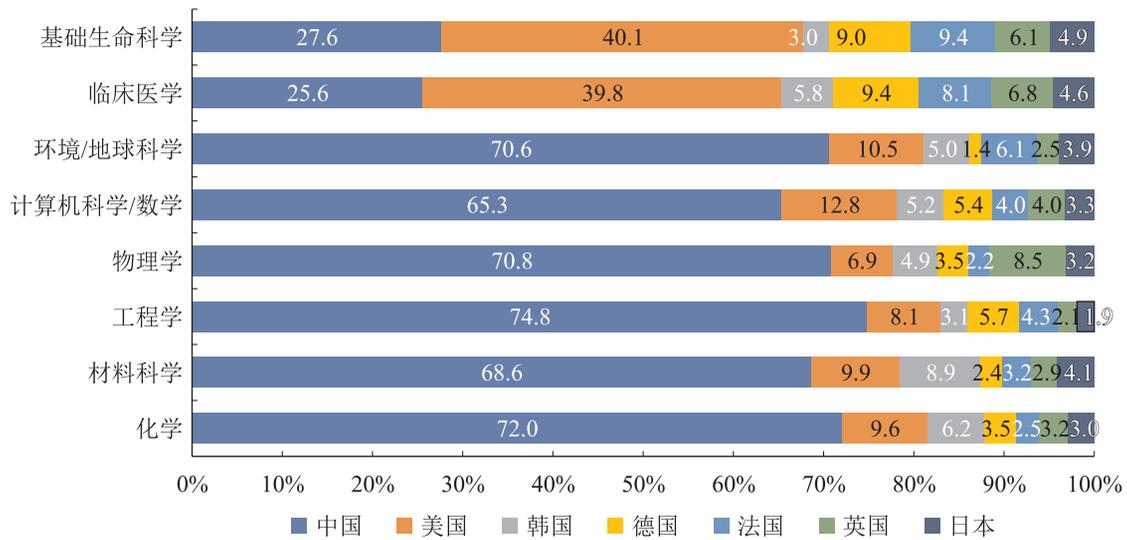


图 5 被专利引用的高被引论文的学科分布及其施引专利技术来源国

Fig. 5 The Subject Distribution of Highly Cited Papers Cited by Patents and The Origin Country of the Citing Patents Technology

2.7 中美施引专利的主要专利权人分布

施引专利的技术来源国主要是中国和美国，中国数量占到了一半。分别统计中国、美国专利的主要专利权人 (top10)，如下表 3 所示。中国的前十个机构除中国科学院外，其余均为高校。美国的前十个机构中，有 Precision BioSciences、基因

表 3 中美专利主要专利权人分布 (top10)

Tab. 3 Distribution of Major Patentees of China and America Patentee (top10)

中国		美国	
专利权人	专利申请量(件)	专利权人	专利申请量(件)
1 中国科学院	472	博德研究所	53
2 浙江大学	109	加利福尼亚大学	49
3 华南理工大学	96	美国卫生与公众服务部	49
4 天津大学	90	麻省理工学院	45
5 江苏大学	86	Precision BioSciences 公司	36
6 武汉大学	82	基因泰克公司	27
7 哈尔滨大学	70	哈佛大学	23
8 吉林大学	64	斯坦福大学	19
9 华中科技大学	63	再生元制药公司	19
10 福州大学	62	威廉马什赖斯大学	18

泰克、再生元制药三家公司，其余均为高校和研究机构。

2.8 被专利引用的高被引论文学科分类与施引专利技术分类联系

参照 NISTEP 的《科学技术指标 2022》针对学科、技术的分类方法，将论文的 ESI22 个学科归为八大类，专利的 WIPO35 个技术领域 (基于 IPC 专利分类号) 归为九大类，制作论文学科分类 - 专利技术分类桑基图，以展示科学研究 - 技术研发之间的知识流动 (图 6)。被专利引用较多的高被引论文主要来自材料科学、化学、基础生命科学，施引专利的技术分类主要涉及化学、电气工程、生物技术药物。材料科学、化学、基础生命科学三个学科的论文具有较高的技术影响力，能够为技术研发提供科学知识。

3 结论

本研究采用科学计量学方法，基于“科技投入 - 基础研究 - 技术研发”创新转化路径，NSFC 代表科技投入，科学论文代表基础研究，专利文献

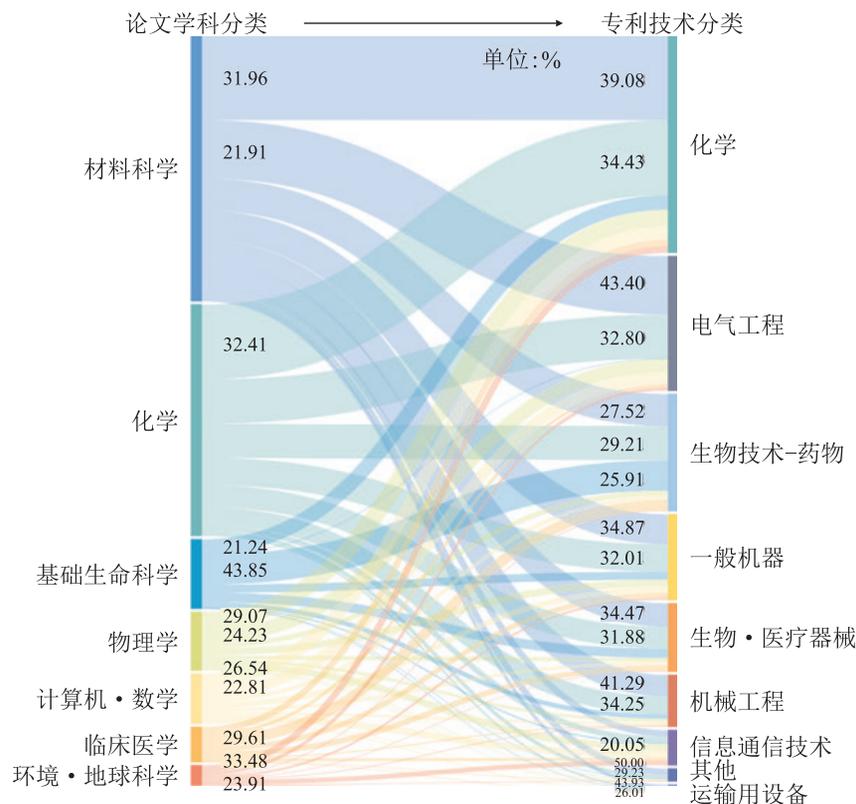


图6 被专利引用的高被引论文学科分类与施引专利技术分类联系

Fig. 6 The Relationship Between the Subject Classification of Highly Cited Papers Cited by Patents and the Technology Classification of Citing Patents

代表技术研发,以近十年 NSFC 产生的论文为基础数据,从时间、学科与研究方向、国家、机构等维度,分析高被引论文被专利引用的情况。

结果表明:1)2012—2021年 NSFC 资助产生高被引论文 30257 篇(占高被引论文总量的 17.49%)。其中有 7372 篇被专利引用(占比 24.4%),总被引频次为 25267 次,最高被引用 224 次,最低 1 次,篇均被引用 3.43 次。被引频次高于平均值的论文共有 1648 篇,占比 22.3%。2)专利引用过的高被引论文的学科主要集中在化学、材料科学、工程学、物理学、计算机科学等。3)在 NSFC 的资助下,无论是中国独立研究还是国际合作研究均产生了大量高质量且同时具有间接技术影响力的高水平论文,主要被中国专利引用,其次是美国。可以看出,NSFC 资助的基础研究对我

国技术创新的间接影响和贡献很大,同时我国的专利技术对本国的基础研究依赖程度也很高。4)相比其他学科,NSFC 资助产生的基础生命科学、临床医学的高被引论文,由美国专利引用的最多(40.1%、39.5%),中国的专利占 30%左右。

公共科学资助是技术创新背后的一个驱动力。科学研究刺激技术创新,促进经济增长。NSFC 资助项目不仅引领我国基础研究重要前沿方向,而且还在推进我国技术创新中发挥的重要作用,在科学和技术两个空间产生了影响。本研究通过测度基础研究对技术创新的贡献,从一个新的视角反映 NSFC 产生的间接技术影响力,以便科技政策制定者和科技管理人员能够注重基金资助对技术创新的影响与贡献,优化自然科学基金资助布局与政策,从而促进我国人才的培养和

科技创新能力的持续提高。

参考文献

- [1] 人民日报:加快建设创新型国家[EB/OL]. (2017-12-7)[2023-10-11]. <http://opinion.people.com.cn/n1/2017/1207/c1003-29690535.html>.
- [2] 张鹏,雷家骕. 基于科学的创新与产业:相关概念探究与典型产业识别[J]. 科学学研究,2015,33(9):1313-1323,1356.
- [3] NARIN F, NOMA E. Is Technology becoming Science? [J]. Scientometrics, 1985, 7(3-6):369-381.
- [4] GLÄNZEL W, MEYER M. Patents Cited in the Scientific Literature: An Exploratory Study of 'Reverse' Citation Relations [J]. Scientometrics, 2003, 58(2):415-428.
- [5] 高健航,张溶肪,高继平,等. 专利引用对“睡美人”文献的影响研究——以化学领域为例[J]. 情报理论与实践,2022,45(10):69-74.
- [6] KE Q. Comparing Scientific and Technological Impact of Biomedical Research [J]. Journal of Informetrics, 2018, 12(3):706-717.
- [7] KE Q. An Analysis of the Evolution of Science-Technology Linkage in Biomedicine [J]. Journal of Informetrics, 2020, 14(4):101074.
- [8] LI D, AZOULAY P, SAMPAT B N. The Applied Value of Public Investments in Biomedical Research [J]. Science, 2017, 356(6333):78.
- [9] KE Q. Technological Impact of Biomedical Research: The Role of Basicness and Novelty [J]. Research Policy, 2020, 49(7):104071.
- [10] 王玉奇,陈悦,宋超,等. 基于合作位态的国家科研实力测度——以ESI高被引论文为例[J]. 中国科技论坛,2022(10):14-24.
- [11] Nature. Nature Index 2017 Innovation [EB/OL]. (2007-08-10)[2023-01-01]. <https://www.nature.com/collections/zxkszmmtnn>.
- [12] 科学技术·学术政策研究所. 科学技术指标2022[EB/OL]. (2022-08) [2023-01-01].

https://nistep.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=6798&item_no=1&page_id=13&block_id=21.

作者贡献说明

孙轶楠:数据检索与处理,论文撰写;
杜建:提出研究主题,参与论文润色和修改;
李永洁:参与论文撰写和修改;
唐小利:设计文章框架,参与论文润色和修改。

作者简介



杜建:北京大学健康医疗大数据国家研究院助理教授,获中国科协青年人才托举工程计划支持;近5年主持科技部重点研发计划青年科学家项目、国家自然科学基金面上项目、青年项目各1项,发表SCI论文30余篇;主要研究方向:生物医学文本挖掘、医学知识图谱创新应用(因果建模、论辩挖掘)。



唐小利:中国医学科学院医学信息研究所(图书馆)副所(馆)长,研究馆员,硕导,中国医院协会医院情报图书专业委员会主任委员、中国图书馆学会常务理事、中国图书馆学会专业图书馆分会副主任委员、中华医学会医学信息学分会常务委员;主持国家自然科学基金项目、国家科技图书文献中心(NSTL)课题多项,担任“十三五”“十四五”中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目首席专家,参与多项中国工程院战略研究与咨询项目,在核心期刊发表论文百余篇,获授权发明专利1项;主要研究方向:医学信息资源组织与利用、医学科技大数据学术分析及可视化、文献智能挖掘技术与应用。