

· 管理纵横 ·

基于 NSF 和 NSFC 资助论文成果的 学科交叉发展比较研究

姜一斐¹ 杨涛² 何琳^{1*}

1. 南京农业大学 信息管理学院, 南京 210095
2. 南京农业大学 农学院, 南京 210095

[摘要] 本文以美国国家科学基金会(National Science Foundation, U. S., NSF)及国家自然科学基金委员会(National Science Foundation of China, NSFC)资助发表的期刊论文为研究对象, 对其进行学科交叉度的测量和对比分析, 并采用 Spearman 秩相关性检验方法分析论文数量特征、基金资助特征和学科交叉度之间的相关性。分析结果表明, 学科交叉论文数量受项目资助的影响, 且这种影响在 NSFC 资助体系下表现更加明显, NSFC 资助项目经费是影响学科交叉论文数量最显著的特征。学科交叉论文数量及资助项目特征还通过影响学科丰富性、均衡度、差异度和异质度, 进一步影响学科间的交叉。此外, 本文综合分析了中美两国自然科学领域学科交叉发展的历史演变与发展现状, 并对我国学科交叉发展与 NSFC 学科交叉研究资助政策提供参考和建议。

[关键词] 科学基金; 学科交叉; 学科多样性; 相关性分析

学科交叉, 也被称为交叉科研或者跨学科研究。美国国家科学院将其界定为由两个以上学科或者专业团体运用所拥有的信息、数据、手段或思维等, 去解决单一学科无法解决的科学和实践问题等^[1]。徐海云等^[2]认为学科交叉是伴随着社会和科学发展而延伸出的一种综合性的科学活动, 是推动新的交叉学科形成的一种途径和必经过程。

近年来, 学科交叉研究已引起各国政府和学术界的关注, 相关的研究和讨论也愈加丰富多元, 科学基金也逐渐将资助学科交叉发展项目作为改革的重要布局要点, 这些资助的金额、方向和政策等都推动着学科交叉研究的发展。国家自然科学基金委员会(National Science Foundation of China, NSFC)是我国资助基础科学研究的主要机构之一, 构建了集人才、工具、融合和探索为一体的国际级多种科研项目资助体系, 为全面培育我国科研创新力量、支持基础研究注入了强大的动力^[3]。近年, NSFC 逐渐加强对学科交叉项目的资助和支持, 并以现阶段的学科设置为纵向主线, 结合重大研究计划和相关的



何琳 南京农业大学信息管理学院教授、博士研究生导师。兼任中国农学会图书情报分会副秘书长、中国社会科学情报学会、江苏省情报学会及江苏省农史学会理事。先后主持国家社会科学基金项目、国家社会科学基金重大项目子课题等多项国家级及省部级项目 10 余项。目前正在 SSCI、SCI 及 CSSCI 收录期刊上发表学术论文 60 余篇, 出版专著 2 部。



姜一斐 南京农业大学信息管理学院硕士研究生。

联合资助, 在国家自然科学基金委员会、科学部、学科不同层面上, 将学科与领域横向联系, 通过纵向与横向整体布局逐步加强学科交叉的资助力度, 并于 2020 年 11 月正式设立了交叉科学部。此外, NSFC 还提出了多项改革措施, 其中关于学科布局的优化

也将对学科交叉产生促进作用^[4]。美国国家科学基金会(National Science Foundation, U. S., NSF)则设置了多学科办公室、前沿科学办公室等交叉科学管理部门,同时还于 2012 年设立了交叉科学研究与教育项目(Integrative NSF Support Promoting Interdisciplinary Research and Education, INSPIRE)计划,鼓励科研人员综合利用多学科理论与方法进行创新性研究。

目前,学术界对学科交叉的测度评价研究主要集中在计量指标和可视化研究两个方面。在学科交叉评价的计量指标研究中,最为广泛使用的方法为文献计量学的方法,其中共词分析、引文分析以及作者分析等是分析中的关键指标^[5, 6]。Small 等人^[7]以共引数据和聚类分析为主要方法对学科间的相似性和交叉性进行了量化研究,Hammarfelt 等人^[8]也通过引文分析方法对 Web of Science 收录的期刊进行了学科交叉度的测量。Morillo 等人^[9]在评价分析化学领域学科交叉的过程中提出了一系列测度指标,如 ISI(Institute for Scientific Information)对各类期刊的多分类,类外引用和参考文献的模式等。Porter 等人^[10, 11]则基于文献计量学提出了学科交叉评价的计量指标,并提出一种利用这些指标结合科学知识图谱对文献进行交叉评价的方法。

科学基金资助下的研究内容通常处于科学发展的前沿,是学科交叉研究的优秀素材。因而许多学者试图从科学基金视角出发,分析研究科学基金资助体系下的学科交叉。如,沈新尹^[12]通过对 NSF 体系下学科交叉研究领域的分析,指出 NSF 对学科交叉研究领域的支持,主要是以许多传统学科研究方向瞄准国家重要的综合性问题为引导,不仅实现学科系统内子系统和子学科之间的渗透和交叉,同时还促进这些学科向技术及教育等领域的延伸,为培育下一代优秀的教育家、科学家和工程师等提供重要支撑。张雪等人^[13]量化了 NSF 资助项目的学科交叉度及其演化规律,发现 NSF 资助数理科学学部的项目最多,且学科交叉度随着时间的推进并没有形成稳定的增长趋势。而王卫军等人^[14]从 NSFC 视角出发,以人工智能和信息管理学科交叉为研究主题,分析了两个学科之间的关键词共现关系,赵妮^[15]指出各国科学基金委员会在近些年都加大了对学科交叉项目的支持力度,其中 NSFC 重大研究计划同样加大了对交叉项目的资助,由重大研究计划资助的成果学科交叉性要高于资助前和同期未接受资助的成果。

可见,随着学科交叉研究的发展,研究所采用的计量测度指标、分析模型等都在不断更新,研究的内容也愈加趋于丰富和多样化。但目前有关于学科交叉特征发展演化的动态规律及影响因素尚缺乏深入研究。为此,本文选择 NSF 及 NSFC 两大科学基金作为研究对象,通过资助项目产出的期刊论文成果进行学科交叉测度,以分析比较中美两国学科交叉发展的演变及现状,并尝试探究基金资助与学科交叉发展的相关性,最终为我国学科交叉研究发展及 NSFC 学科交叉研究资助政策提供部分参考及建议。

1 研究方法

1.1 数据收集

本文利用 Web of Science 自带的基金资助机构(NSF 和 NSFC)、出版日期(以 1987—2021 年为时间界限,以五年为一个跨度,形成七个时间段)、文献类型(以 Article 为主)检索分类界定,最终检索到 3 105 378 篇论文的题录信息,作为后续分析的有效数据,同步搜集整理了 NSF 和 NSFC 资助项目的相关信息和数据(资助项目数量、金额以及学科等)与公开渠道发表的数据。

1.2 数据分析

1.2.1 论文学科的划分

入藏号是 SCI 论文索引号。通常选用“入藏号(Accession Number)”作为检索号。不同入藏号通常涵盖一到多个学科,以此为论文学科及其学科交叉的判别基础。本文对所检索的题录信息进行整合和归纳,对不限定条件下的学科交叉论文的数量、所涉及不同数量学科间交叉的论文数量($D_n=2, 3, 4, 5, 6$)进行统计。

1.2.2 学科交叉特征计算

(1) Variety 指标。主要用来反映学科的丰富度,是研究主体涉及的学科数目占总学科数目的比例(相对丰富度),主要计算如公式(1)所示。Variety 为发表论文中所属学科类别的总和,展现学科的丰富度, Variety 的大小可以反映不同机构、学科和领域文学科类别的数量,可以进一步反映研究学科覆盖面的宽窄程度。

$$\text{Variety} = \text{WC 类别数} = v \quad (1)$$

(2) Shannon 熵指标。Shannon 熵指标在信息理论中主要用来描述系统信息的不确定性,因此, Shannon 熵数值越大,系统的不确定性越高。在学科交叉的测度中, Shannon 熵主要用来反映学科的

均衡度和多样性,Shannon 熵的数值越大,表明学科分布愈加平均,各个学科的占比越为均衡,反之亦然。具体的计算公式如下:

$$H(X) = - \sum_x P(x) \log_2 [P(x)] \quad (2)$$

其中 $P(x)$ 代表在一个系统中第 x 个类别的概率分布值。

(3) Disparity 指标。主要用来反映学科间的差异度,体现了不同学科间的距离。学科之间的相似性越高,其差异性就越低,而在同种学科分布结构的基础上,学科间差异性越高,最终得到的 Disparity 数值就会越大。具体计算公式如下:

$$\text{Disparity} = \frac{1}{v(v-1)} \sum_{ij} d_{ij} \quad (3)$$

(4) Rao-Stirling 指标。该指标由 Stirling 提出,被称为第二代多样性指标,是一个综合性的指标。该指标综合了分布、相似性及差异性指标,在本文中主要用于反映学科间的异质度。Rao-Stirling 数值越高就代表体系中学科间的差异性就越大,且学科分布越广泛,多样性程度越高,具体的计算如下所示。

$$\text{RaoS} = \sum_{ij(i \neq j)} (p_i \cdot p_j)^\alpha \cdot d_{ij}^\beta \quad (4)$$

其中 p_i 和 p_j 表示不同学科的概率, d_{ij} 表示不同学科之间的距离,表示学科差异性, α 和 β 是不同的计量参数,本文主要将其赋值为 1。

1.2.3 NSF 和 NSFC 项目对比分析

通过公开发表的渠道搜集 NSF 和 NSFC 资助项目的相关信息和数据(资助项目数量、金额以及学科等),对所有获取的数据进行预处理,分析 NSF 和 NSFC 的基金项目数量、项目经费及项目平均资助

强度。

1.2.4 相关性分析

采用 Spearman 秩相关性分析方法^[16]分别对学科交叉相关指标与项目资助相关指标进行相关性检验,进而分析基金项目如何影响学科交叉程度。

2 实证分析

2.1 学科交叉论文比例特征分析

2.1.1 学科交叉论文数量分析

从 NSF 及 NSFC 资助的学科间交叉论文数量变化(图 1)可以看出,不同资助体系下发表的学科交叉论文数量基本呈稳定增长趋势,仅 NSF 资助的学科交叉论文数量在 1987—2001 年时间段内有小幅降低。在 1987—2006 年期间,NSF 资助的学科交叉论文数量均远超 NSFC。在 2007—2011 年期间,NSF 及 NSFC 资助的学科交叉论文数量较先前年份发生巨大变化,这可能是由于学科交叉开始被重视,得到快速发展。在 2007 年之后,NSFC 资助的学科交叉论文数量大幅提升,在 2012—2016 年和 2017—2021 年时间段内分别以 2.7 倍和 1.3 倍的数量快速增长,远超 NSF 资助的学科交叉论文数量。通过以上不同资助体系下学科间交叉论文的数量演变特征看来,学科间交叉是当前科学创新体系的普遍特征,且这种特征逐渐趋于显著,学科间交叉论文的数量表现出不断上升的趋势。

2.1.2 丰富度分析

随着学科交叉的快速发展,现有学科体系不断丰富,学科结构体系类别也不断增加,进而导致学科结构丰富度指数呈现上升趋势。1987—2021 年期间,NSF 和 NSFC 资助的学科丰富度均呈上升趋势

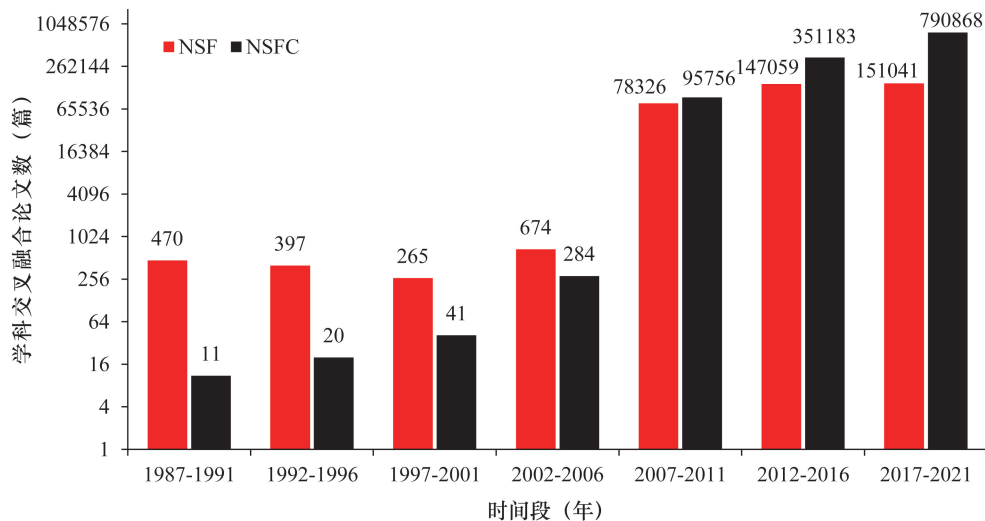


图 1 NSF 和 NSFC 资助学科间交叉的论文数量变化情况(1987—2021 年)

(图 2),其中,2002—2006 年至 2007—2011 年时间段增长迅速,而 NSF 资助的学科丰富度在 2007—2011 时间段开始趋于平稳。NSF 资助的学科丰富度始终高于 NSFC 资助的学科丰富度,但 2012—2016 时间段内两个资助体系下的学科丰富度开始趋于接近,不再提升,这可能说明学科交叉的丰富度在现有学科体系下已经几乎饱和,难以大幅提升,未来也将继续保持平稳。

2.1.3 均衡度分析

Shannon 熵是结合学科丰富度和学科均衡性的综合性指标,可反映学科结构分布的均衡性。较大的 Shannon 熵表明学科发展具更高的多样性,在学科所覆盖的类别不断增多的同时,学科发展也较为均衡,主流学科与非主流学科、强势学科与非强势学科之间的差距不断缩小。从 1987—2021 年间 NSF 和 NSFC 资助的学科均衡性演变(图 3)可以看出,除 NSFC 资助的学科 Shannon 熵在 2002—2006 年间小幅度降低外,NSF 和 NSFC 资助的学科 Shannon 熵呈现逐年增加趋势。NSF 资助的学科 Shannon 熵在 2007—2011 年之前较 NSFC 高,而 2006 年后 NSFC 资助的学科 Shannon 熵大幅发展,这可能是由于 NSFC 增加了学科交叉资助项目或扩

大了学科资助范围。而 2007—2011 年之后 NSF 和 NSFC 资助的学科 Shannon 熵开始趋于稳定、接近和重合。这表明 NSFC 资助的学科分类平均分布程度越来越高,学科交叉性在一定程度上与 NSF 开始保持接近。

2.1.4 差异度分析

学科差异性可进一步描述学科领域的异质性特征,该维度指标并非是对不同学科论文数量及占比进行统计,而是关注研究论文所涉及学科之间的差异。因此,对学科差异度的分析,可以进一步明确不同学科体系聚焦于临近学科还是交叉学科。从图 4 可见,随着时间的推移,除了 NSFC 资助学科的差异度在 1997—2001 年间较 1992—1996 年间降低 5.13% 外,NSF 和 NSFC 资助学科的差异度整体呈现增长的趋势,其中 NSF 资助学科的差异度较 NSFC 整体较高,但二者间的差异随着时间推移不断缩小,自 2007—2021 时间段内 NSF 和 NSFC 资助学科的差异度开始趋于接近。通过进一步分析发现,NSF 和 NSFC 资助学科的差异度不断增高,这显示二者资助学科之间的相似性在不断减小,其中 NSFC 资助的学科差异度有所波动,说明 NSFC 资助的学科分布模式可能相对不够稳定,跨度较大学科之间的交叉和合作相对不够成熟。此外,NSFC 资助的学科差异度在近 15 年快速增长,且与 NSF 资助的学科交叉度保持接近,表明 NSFC 资助的学科开始朝着综合和多元方向发展,结合前述均衡度分析结果,进一步显示出学科间的合作和交叉开始趋向成熟和稳定的方向发展。

2.1.5 异质度分析

Rao-Stirling 指标是综合反映学科丰富性、均衡性和差异性的指标,考虑到学科间的差异性,可用 Rao-Stirling 指标来反映学科间异质性维度的多样化分布。从图 5 可见,NSF 资助学科 Rao-Stirling

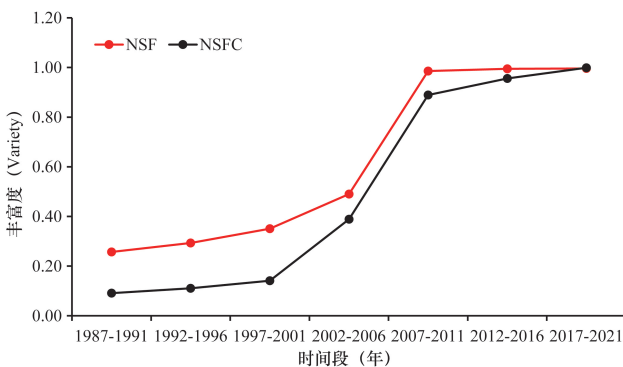


图 2 NSF 和 NSFC 资助学科丰富度演变情况(1987—2021 年)

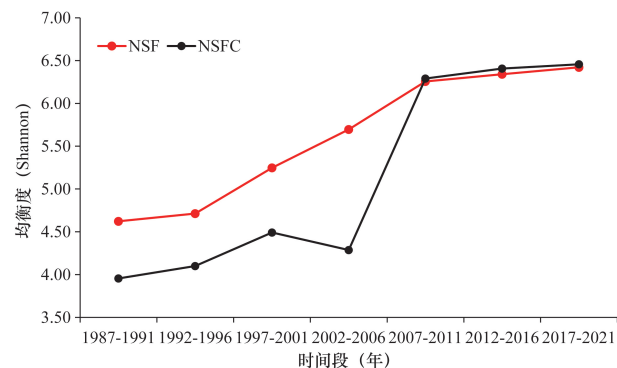


图 3 NSF 和 NSFC 资助学科均衡性演变情况(1987—2021 年)

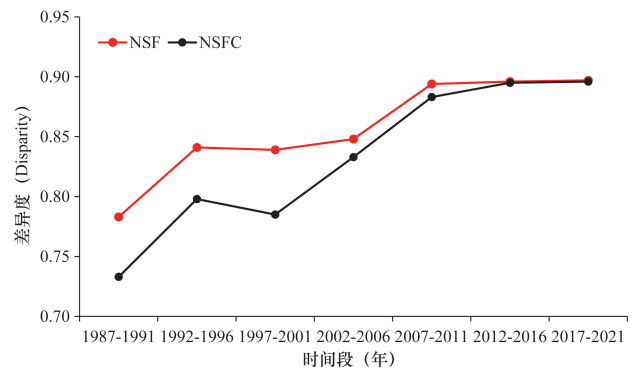


图 4 NSF 和 NSFC 资助学科差异度演变情况(1987—2021 年)

指标整体保持平稳且有小幅增长,其中 2002—2006 年较前一时间段增长 8%。NSFC 资助学科的 Rao-Sirling 指标在 1987—2021 年间保持波动,其中在 1997—2006 年间大幅度增长。但 NSF 资助学科的 Rao-Stirling 指标在 1987—2021 年间整体低于 NSF。

由此可见,NSF 资助学科分布相对广泛,多样性程度更高,其资助发表的论文成果在结构上更具备学科多样性。同时从 NSF 资助学科自身的发展来看,NSF 资助学科的交叉性并未在跨度较大的学科中形成,异质度基本保持平稳。而 NSFC 资助的学科在 1997—2006 年期间得到了更为紧密的交流、渗透和交叉,异质多元性有所增强,并在近 15 年这种异质多元性保持稳定,但整体与 NSF 资助学科的异质性仍然有一定的差距。

2.2 NSF 和 NSFC 项目对比分析

2.2.1 项目数量分析

如图 6A 所示,NSF 和 NSFC 在 1987—2021 年间基金项目分别立项 315 408 项和 514 142 项。NSF 资助的项目数量在 1987—2006 年内远超 NSFC,而 2007—2011 年间 NSFC 资助的项目数量快速增加,且首次超过 NSF 在同一时间段内资助的项目数量。之后,NSFC 资助的项目数量超过 NSF,并在 2012—2016 年、2017—2021 年两个时段分别达到 19.28 万和 17.41 万项;而同一时期 NSF 立项数量仅为 2.5 万和 5.7 万项。整体来看,NSF 资助项目数量较为稳定,除 1997—2001 年和 2012—2016 年两个时间段资助数量低于 2.5 万外,其他时间段保持在 5 万项上下波动。NSFC 成立初期资助的交叉项目数量极少,仅 6 项,但增速很快,其中 1997—2001 年和 2012—2016 年两个时间段尤为关键,NSFC 资助项目数量分别超过 1 万和 10 万项。

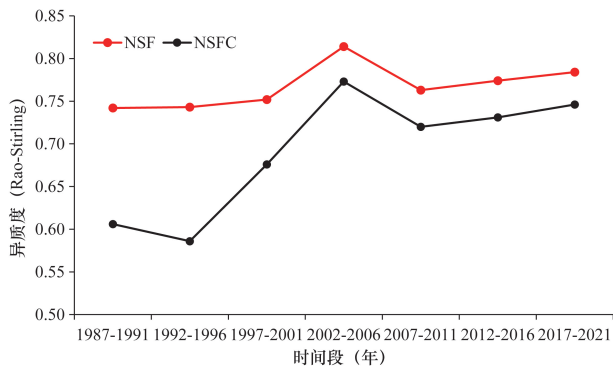


图 5 NSF 和 NSFC 资助学科异质度演变情况 (1987—2021 年)

2.2.2 项目经费分析

除 2012—2016 年间 NSF 资助的项目经费低于 NSFC 外(图 6B),其他时间段内 NSF 资助的项目经费均远高于 NSFC。其中,NSF 资助项目经费在 2007—2011 年达到最高,为 2.16 千亿元;而 NSFC 资助项目经费在 2012—2016 年间达到最高,为 1.15 千亿元,这主要与 NSFC 自 2011 年起项目资助经费与方向有重大调整有关。此外,在 1987—2011 年期间 NSF 资助项目经费都随着时间的推进不断增加,但受金融危机的巨大冲击,美国政府自 2010 年后削减了科研投入基金以促进经济复苏,在 2011 年财政预算中缩减了部分科研项目的经费,同时终止了部分前景不明朗或者成果转化效率较低的科研项目,因此,2012—2016 年间 NSF 资助项目数量和经费均有不同程度的降低。1987—2016 年间 NSFC 资助项目经费随着时间的推进也在不断增加,仅在 2017—2021 年间有小幅降低。

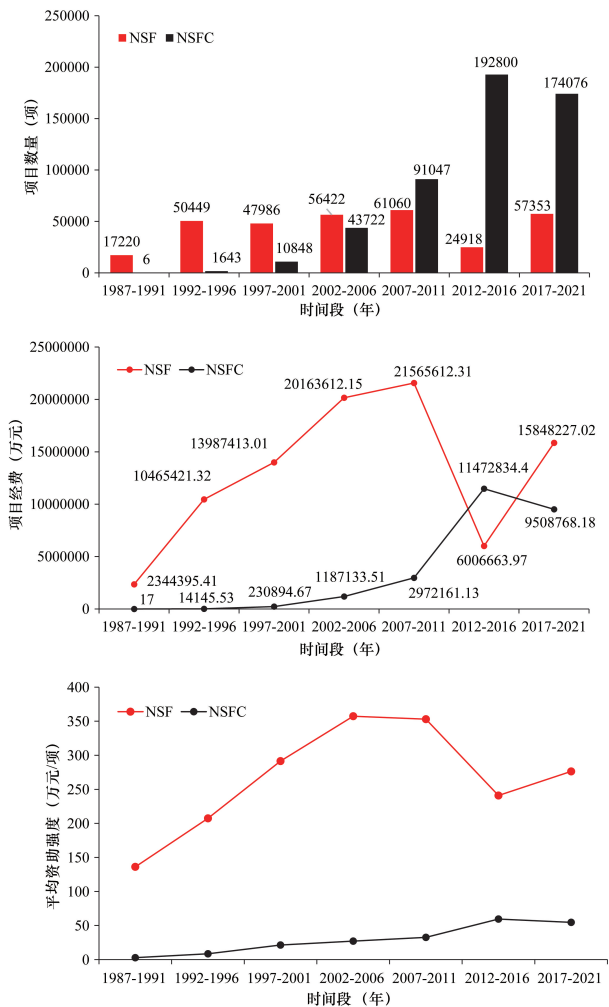


图 6 NSF 和 NSFC 资助项目数量: A. 总经费, B. 资助强度, C. 演变情况 (1987—2021 年)

2.2.3 项目平均资助强度分析

NSF 资助项目的平均资助强度在 1987—2021 年间显著高于 NSFC(图 6C)。NSF 项目平均资助强度在 136 万~357 万元/项之间,而 NSFC 平均资助强度在 2.83 万~54.62 万元/项之间。从时间演变来看,NSF 项目平均资助强度在 2007—2011 年小幅降低(1.12%),在 2012—2016 年期间大幅度降低(31.73%),其他时间段均呈上升趋势;NSFC 项目平均资助强度随着时间推进整体呈上升趋势,仅 2017—2021 年时间段内有小幅度降低,降幅为 8.23%。

2.3 学科交叉特征与科学基金项目资助特征的相关性分析

2.3.1 丰富度与均衡度指标

Variety 指标与学科交叉论文数量($r^2 = 0.625^*$)及资助项目数量($r^2 = 0.681^*$)之间呈正相关关系。在 NSF 资助体系下,Variety 指标与资助项目间不存在正相关关系;在 NSFC 资助体系下,Variety 指标则与资助项目经费($r^2 = 0.877^{**}$)及强度($r^2 = 0.920^{**}$)存在极显著正相关关系。类似地,Shannon 熵指标与其他指标之间的相关性也表现出与 Variety 指标类似的结果和趋势,仅在 NSFC 资助体系下学科交叉论文的数量与 Shannon 熵不存在相关性。由此可以看出,学科交叉论文数量及资助项目数量是影响学科丰富性、均衡度的重要因素。在 NSF 资助体系下,资助项目数量对学科丰富性、均衡度的影响甚小;在 NSFC 资助体系下,资助项目经费与强度是影响学科丰富性、均衡度的重要因素。

2.3.2 差异度指标

Disparity 指标与学科交叉论文数量($r^2 = 0.542$)、资助项目数量($r^2 = 0.672$)与经费($r^2 = 0.611$)之间呈正相关关系。在 NSF 资助体系下,Disparity 指标与学科交叉论文数量($r^2 = 0.814^{**}$)之间呈显著正相关关系;在 NSFC 资助体系下,Disparity 指标与交叉论文数量无相关性,而与资助强度存在极显著正相关关系($r^2 = 0.910^{**}$)。以上分析结果可以发现,学科交叉论文数量、资助项目数量及经费是影响学科差异度的重要因素。学科交叉论文数量对学科差异度的影响在 NSF 资助体系下更加明显;在 NSFC 资助体系下项目资助的数量、经费及强度是影响学科差异度的重要因素,学科交叉

论文数量对学科差异度的影响并不显著。

2.3.3 异质度指标

Rao-Stirling 指标与项目资助经费($r^2 = 0.663$)和强度($r^2 = 0.686$)呈极显著正相关关系。在 NSF 资助体系下,这种正相关关系均布存在;在 NSFC 资助体系下,只有项目资助强度与 Rao-Stirling 呈正相关关系($r^2 = 0.768$)。从以上分析可以发现,项目资助经费和强度是影响学科异质度的重要因素,且这种影响在 NSFC 资助体系下表现较为明显,其中项目资助强度是影响 NSFC 资助体系下学科异质度的主要因素。

2.3.4 学科交叉特征的时间演变

学科交叉特征随时间呈现显著的变化。一方面,时间显著影响学科交叉论文数量($r^2 = 0.6767^*$)、项目数量($r^2 = 0.6752^*$),同时也对学科多样性($r^2 = 0.9241^{**}$)、均衡性($r^2 = 0.8871^{**}$)、差异性($r^2 = 0.8965^{**}$)及异质度($r^2 = 0.5437^*$)等产生显著影响。表明科学发展越来越呈现出跨学科化的趋势,且从整体看来,项目资助经费及强度并未受到时间发展的影响,这可能和学科发展自身的需求有关。不同资助体系下时间对论文产出、项目资助及学科交叉度的影响等存在差异:NSF 资助体系下时间对项目资助特征(数量、经费及强度)以及学科异质度并没有显著影响,而与其他指标间呈现显著正相关关系,这可能与 NSF 形成了较为稳定和固定的资助模式有关,其在每年的资助中都有成熟的资助模式为支撑,不需要对项目资助的相关政策和制度进行调整,因此其项目资助特征等并没有随着时间发生显著的变化。而 NSFC 资助体系下,时间显著影响学科交叉论文数量($r^2 = 0.8162^{**}$)、项目数量($r^2 = 0.9301^{**}$)与经费($r^2 = 0.8646^{**}$)及强度($r^2 = 0.9656^{**}$),同时也对学科的多样性($r^2 = 0.9437^{**}$)、均衡性($r^2 = 0.9131^{**}$)、差异性($r^2 = 0.9555^{**}$)及异质度($r^2 = 0.8138^{**}$)产生显著影响,这与 NSFC 近 35 年资助强度和政策的快速发展有关;NSFC 建立时间相对较短,其发展过程中受到国家发展战略、政策以及经济社会发展的影响更大,中国自改革开放以来就已经走上了经济高速发展的道路,在这种情况下,国家对于科学技术的支持及资助每年都发生极大的变化。因此,在 NSFC 资助体系下各项指标都呈现与时间维度的显著或极显著正相关关系。

表1 Spearman 秩相关检验结果

	时间	论文数量	项目数量	项目经费	资助强度	Variety	Shannon	Disparity	Rao-Stirling
时间	1								
论文数量	0.6767**	1							
项目数量	0.6752**	0.8136**	1						
项目经费	0.4572	0.1606	0.3618	1					
资助强度	0.2248	-0.1732	-0.0669	0.8623**	1				
Variety	0.9241**	0.6246*	0.6808**	0.5217	0.3225	1			
Shannon	0.8871**	0.5947*	0.6822**	0.6247*	0.4378	0.9599**	1		
Disparity	0.8965**	0.5416*	0.6721**	0.6111*	0.4291	0.9277**	0.9169**	1	
Rao-Stirling	0.5437*	0.1659	0.3368	0.6631**	0.6857**	0.5671*	0.6074*	0.6640**	1

* 代表 $p=0.05$ 水平显著相关,** 代表 $p=0.01$ 水平极显著相关。

表2 NSF 资助体系下相关指标的 Spearman 秩相关检验结果

	时间	论文数量	项目数量	项目经费	资助强度	Variety	Shannon	Disparity	Rao-Stirling
时间	1								
论文数量	0.8960**	1							
项目数量	0.3718	0.0201	1						
项目经费	0.4256	0.0348	0.9335**	1					
资助强度	0.5354	0.1381	0.7923*	0.9374**	1				
Variety	0.9330**	0.9253**	0.2514	0.341	0.4444	1			
Shannon	0.9712**	0.8529*	0.3584	0.4843	0.6206	0.9599**	1		
Disparity	0.9243**	0.8144*	0.4929	0.5081	0.6007	0.9138**	0.9165**	1	
Rao-Stirling	0.5906	0.2813	0.3977	0.5599	0.6708	0.4115	0.6033	0.4301	1

* 代表 $p=0.05$ 水平显著相关,** 代表 $p=0.01$ 水平极显著相关。

表3 NSFC 资助体系下相关指标的 Spearman 秩相关检验结果

	时间	论文数量	项目数量	项目经费	资助强度	Variety	Shannon	Disparity	Rao-Stirling
时间	1								
论文数量	0.8162*	1							
项目数量	0.9301**	0.8385*	1						
项目经费	0.8646*	0.8446*	0.9823**	1					
资助强度	0.9656**	0.7952*	0.9707**	0.9430**	1				
Variety	0.9437**	0.7594*	0.9494**	0.8768**	0.9202**	1			
Shannon	0.9131**	0.7536	0.9223**	0.8576*	0.8939**	0.9747**	1		
Disparity	0.9555**	0.6858	0.8884**	0.8062*	0.9103**	0.9457**	0.9094**	1	
Rao-Stirling	0.8138*	0.4673	0.6596	0.5575	0.7675*	0.7124	0.6089	0.7508	1

* 代表 $p=0.05$ 水平显著相关,** 代表 $p=0.01$ 水平极显著相关。

3 结 论

本文以 1987—2021 年 NSF 和 NSFC 资助的 3 105 378 篇论文的题录信息为主要研究对象,立足于分析、比较中美两国学科交叉发展的历史演变及目前的发展现状,从数量特征、项目资助特征以及学科交叉等多个角度出发,对 NSF 和 NSFC 资助体系下学科交叉演变特征及 NSF 和 NSFC 的项目资助项目、经费及强度等进行对比分析;最后对影响学科交叉、NSF 及 NSFC 资助体系下的学科交叉的因素进行相关性分析。主要结论如下:

(1) 学科交叉的结构多样性方面:丰富度指标表明,NSF 资助的学科论文类别的数量较 NSFC 资助的多,且论文所涉及的研究领域范围较广泛,所涉及的学科覆盖面较宽,所容纳的学科越来越多。均衡度指标表明,NSF 资助的学科在 1987—2007 年的交叉性较强,而在近 15 年中,NSFC 资助的学科分类的平均分布程度越来越高,且在学科交叉性方面与 NSF 开始接近和保持一致。差异度指标表明,NSFC 资助的学科分布模式相对不够稳定,在跨度较大学科之间的交叉和合作并不成熟,但 NSFC 资助的学科已开始向综合和多元方向发展。异质度结果表明,NSF 资助发表的论文在结构上更具备学科多样性,而 NSFC 资助的学科在近 15 年中异质多元性相对保持稳定,与 NSF 资助学科的异质性仍存在一定的差距。

(2) 影响学科间交叉结构特征方面:学科交叉论文数量及资助项目特征通过影响学科丰富性、均衡度、差异度和异质度来影响学科间的交叉。其中,学科交叉论文数量对学科差异度的影响在 NSF 资助体系下更加明显;项目资助经费和强度通过影响学科异质度来影响学科间的交叉,项目资助的数量、经费及强度对学科差异度的影响在 NSFC 资助体系下更加明显。

4 建 议

NSFC 资助体系目前已经经历了 30 多年的发展和演变,形成了较为系统和完整的政策及制度框架,促进学科交叉度在三十余年间快速发展,在丰富度、均衡度、差异度的指标评价中与 NSF 资助体系接近一致。但是,Rao-Sirling 等部分指标的差距表明了 NSFC 与 NSF 的学科交叉程度仍然存在一定的距离。根据以上研究结果,对我国自然科学基金

的资助体系、学科交叉发展等提出如下建议。

(1) 继续维持并增加与学科交叉相关的研究。

由于 NSFC 资助项目的强度与学科交叉度显著相关,即 NSFC 资助项目对学科交叉发展有重要的促进作用,因此,建议我国自然科学基金继续维持并增加与学科交叉研究相关的支持,将学科交叉研究和发 展 放 到 一 个 重 要 的 战 略 位 置 上 来。例如,NSFC 可以借鉴 NSF 经验,确立并支持能产生重要影响的交叉领域研究,促进不同学科围绕其进行融合,以确保资源分配合理,增加资助产生的研究成果。

(2) 着重资助契合学科前沿与国家需求的重点领域。建议 NSFC 着重资助契合学科前沿与国家需求的重点领域,形成集成研究模式,将众多知识领域的技术、思想等进行融合,在学科交叉研究方法的基础上,进行跨学科有效整合,从而在特定发展阶段解决真正阻碍跨科学研究的技术、阻碍时代发展的难题。

(3) 提出推动学科交叉发展的指导建议。NSFC 作为资助基础研究的主渠道,还可以推出一些学科交叉发展的指导建议,吸引鼓励国内不同研究机构、高校依据自己的管理现状和特征,因地制宜地开展和创设相关的交叉研究和教育管理机构,以促进更多科研人员交流合作,提升学科交叉的发展潜力。

本文对于学科交叉测度的分析主要建立在 Web of Science 核心集收录的论文文献的数据基础之上,因此也存在诸多不足之处。例如:只能衡量 NSF 和 NSFC 资助体系下相关人员发表的 SCI 论文成果,无法对其他语种,尤其是中文论文成果纳入其中,针对的成果数据集有待完善。此外,学科交叉的成果不仅在论文成果中有所体现,还在会议论文、书籍及其他的项目合作中有所体现,因此,本研究仅以论文文献为主的题录信息所得出的研究结论可能不够广泛。同时,由于学科交叉的影响因素极为复杂,因此在评价分析的过程中对于不同因素及相关指标的分析较为有限。未来研究可针对以上问题进行进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] National Academy of Sciences. National Academy of Engineering, and Institute of Medicine, Facilitating Interdisciplinary Research, The National Academies Press, 2005, 26.
- [2] 许海云,尹春晓,郭婷,等. 学科交叉研究综述. 图书情报工作, 2015, 59(5): 119—127.

- [3] 国家自然科学基金委员会. 中国自然科学基金概况. (2021-01-11)/[2024-01-14]. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/jgsz/01/>.
- [4] 周忠和, 赵维杰. 以基金改革追求卓越科学: 专访国家自然科学基金委员会主任李静海院士. 中国科学基金, 2019, 33(1): 1—4.
- [5] 魏海燕, 尹怀琼, 刘莉. 基于引文分析的情报学与相关学科的研究. 情报杂志, 2010, 29(2): 38—43.
- [6] 杨建林, 孙明军. 利用引文索引数据挖掘学科交叉信息. 情报学报, 2004, 23(6): 672—676.
- [7] Small H. Maps of science as interdisciplinary discourse: co-citation contexts and the role of analogy. *Scientometrics*, 2010, 83(3): 835—849.
- [8] Hammarfelt B. Interdisciplinarity and the intellectual base of literature studies: citation analysis of highly cited monographs. *Scientometrics*, 2011, 86(3): 705—725.
- [9] Morillo F, Bordons M, I Gómez. An approach to interdisciplinarity through bibliometric indicators. *Scientometrics*, 51(1), 203—222.
- [10] Porter AL, Chubin DE. An indicator of cross-disciplinary research. *Scientometrics*, 1985, 8(3): 161—176.
- [11] Porter AL, Rafols I. Is science becoming more interdisciplinary? Measuring and mapping six research fields over time. *Scientometrics*, 2009, 81(3): 719—745.
- [12] 沈新尹. 美国国家科学基金会跨学科和学科交叉研究领域的支持及启示. 中国科学基金, 1997, 11(1): 68—71.
- [13] 张雪, 张志强. 美国科学基金会资助项目的学科交叉度演化规律及影响研究. 情报理论与实践, 2021, 44(12): 122—132.
- [14] 王卫军, 姚畅, 乔子越, 等. 基于词嵌入的国家自然科学基金学科交叉知识发现方法——以“人工智能”与“信息管理”为例. 情报学报, 2021, 40(8): 831—845.
- [15] 赵妮. NSFC 重大研究计划对学科交叉的影响研究. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [16] Spearman C. The proof and measurement of association between two things. *International Journal of Epidemiology*, 2010, 39(5): 1137—1150.

A Comparative Study of Interdisciplinary Development Based on the Funding Papers of NSF and NSFC

Yifei Jiang¹ Tao Yang² Lin He^{1*}

1. College of Information Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095

2. College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095

Abstract This paper focuses on the measurement and comparative analysis of interdisciplinary degrees of journal articles supported by U. S. National Science Foundation (NSF) and National Science Foundation of China (NSFC) funding. The Spearman rank correlation test method is used to analyze the correlation between the quantity of papers, funding characteristics, and interdisciplinary degrees. The analysis shows that the quantity of interdisciplinary papers is influenced by project funding, and this effect is more pronounced in the NSFC funding system. The funding amount of NSFC projects is the most significant characteristic affecting the quantity of interdisciplinary papers. The quantity of interdisciplinary papers and funding project characteristics further affect the interdisciplinary development through their impact on disciplinary diversity, balance, differentiation, and heterogeneity. Additionally, this paper provides a comprehensive analysis of the historical evolution and current situation of interdisciplinary development in the natural science fields of China and the United States, and provides suggestions for China's interdisciplinary development and NSFC's interdisciplinary research funding policies.

Keywords science foundation; interdisciplinary; disciplinary diversity; correlation analysis

(责任编辑 陈磊 张强)

* Corresponding Author, Email: helin@njau.edu.cn