

■ 高教前沿

DOI:10.15998/j.cnki.issn1673-8012.2023.03.006

跨学科研究对学者科研产出的影响

——以化学领域“杰青”学者为例



孙娜¹, 乔锦忠²

(1. 华东师范大学 高等教育研究所, 上海 200062; 2. 北京师范大学 高等教育研究院, 北京 100875)

摘要: 实施创新驱动发展战略需要发挥科技人才的引领作用。对2000—2020年239位化学领域“杰青”学者的履历、发表的SCI文献及施引文献进行分析后发现,在纵向跨(一级)学科学习经历方面,学者的跨学科比例较低,仅有15位学者在本、硕、博阶段具有跨学科学习背景,总体占比6.3%;在发表的SCI文献(目标文献)与引用其发表文献的文献(施引文献)方面,施引文献的跨学科程度更高;目标文献的跨学科多样性、差异性程度相对较高并与科研产出存在正相关关系,均衡性与产出之间存在负相关关系,施引文献的跨学科性则与产出之间无显著关系;化学和化学工程学、物理学与天文学、生物化学遗传学与分子生物学等领域交叉融合程度最深;目标文献的跨学科程度与科研产出之间存在U形非线性关系,意味着在跨学科研究的初始阶段,学者由于要学习更多领域的新知识和研究范式,科研产出水平各方面指标会出现不同程度的下降,但当到达一定阈值后,更高水平和程度的跨学科研究则有利于提升科研产出。高质量发展阶段,科学的进展与关键核心技术的突破离不开学科间深度交叉融合。为此,应改革人才培养模式,优化跨学科课程体系设计,保障跨学科人才供给;立足于学科核心,坚持“问题导向”,促进相近学科间进行跨学科研究;建立符合跨学科特点的学术评价和激励机制,鼓励学者勇闯“无人区”。

关键词: 跨学科研究; 科研产出; 化学“杰青”学者; U形非线性关系

[中图分类号] G644 [文献标志码] A [文章编号] 16738012(2023)03007914

一、问题提出

贝弗里奇提出:“移植是科学发展的一种主要方法。大多数的发现都可应用于所在领域以外的

修回日期:20221126

基金项目:北京市教育科学“十三五”规划优先关注课题“高校各种人才工程项目对大学教学、科研的影响研究”(AEG17009); 国家自然科学基金项目“高水平大学的教师偏好、行为与工作表现研究”(72174063)

作者简介:孙娜,女,辽宁鞍山人,华东师范大学高等教育研究所博士生,主要从事学术职业和科技政策评估研究。

通信作者:乔锦忠,男,山西平遥人,北京师范大学高等教育研究院副教授,主要从事人才流动和科技政策评估研究。

引用格式:孙娜,乔锦忠. 跨学科研究对学者科研产出的影响:以化学领域“杰青”学者为例[J]. 重庆高教研究,2023,11(3):7992.

Citation format: SUN Na, QIAO Jinzhong. The influence of interdisciplinary research on the scientific research output of scholars: taking the “outstanding young” scholars in the field of chemistry as an example[J]. Chongqing higher education research, 2023, 11(3): 7992.

领域。而应用于新领域时,往往有助于促成进一步的发现。重大的科学成果有时来自移植。”^[1]这里的“移植”可以理解为借鉴别处的经验、长处、做法等。现代科学的重大进展常常需要多个学科交流与协作,跨学科研究使得学者不断接近新的科学前沿并可能带来重大突破。从宏观层面上关注跨学科研究对推动科技前沿发展和促进原始创新的作用固然重要,但也要从微观层面上探究跨学科研究会将对科研成果产生怎样的影响。高产高质量的学术成果是学术生涯成功的重要表现,对于学者来说,研究的跨学科取向是否有利于提高科研产出的数量、质量、影响力,关注其他学科领域的研究分支是否有益于提升科研产出水平,这是当今提倡跨学科研究时应关注的重要议题。

20世纪50年代末,苏联人造卫星升空再一次触发美国对于“学科结构运动”的反思,1964年美国科学教师协会首次讨论在学习中运用跨学科方法的需要和重要性^[2],跨学科的相关研究也从20世纪60年代兴起并不断完善。美国国家科学院认为,跨学科研究(interdisciplinary research)是指一种由团队或个人进行的,将来自两个及以上学科或专业领域的知识进行融合,比如信息、数据、技术、工具、观点、理念或理论等,以促进对知识的理解或解决超出单个学科或研究实践领域认知范围的问题研究模式^[3]。Porter等认为跨学科研究是整合了来自不同领域概念、技术和数据的一种研究小组或个人的研究模式^[4]。Schmidt提出跨学科研究是为了解决社会迫切问题而产生的有价值工具,是在科学与工程研究呈现日渐融合趋势背景下的产物^[5]。Angelstam等认为跨学科研究是通过集中不同学科领域的研究人员和学者以提高创新性解决问题能力的一种方法^[6]。由此可见,跨学科研究就是结合不同领域或学科的观点去解决一个共同的问题。学科间存在着相对的学科界限,但又灵活并具有渗透性,跨学科研究是描述学科间的一种合作状态,追求的是“整合的学问”。

选择化学作为探究跨学科研究对科研产出影响的案例学科,是因为化学领域的学术成果更具有跨学科的合作特征和进一步跨越知识领域传播的可能。通过整理诺贝尔化学奖项的颁布情况,发现在113年中授予了188位学者诺贝尔化学奖,其中63次由1人获得,24次由2人共同获得,25次由3人共同获得^[7],由多位(2位及以上)学者共同参与化学领域研究获奖项的比例高达43.36%。Michael Szell从诺贝尔奖论文视角对知识的传播与发展进行分析,从追踪施引文献的角度也发现来自化学领域获奖论文的引文传播范围更为广泛,学科交叉程度更为普遍^[8]。

来自56个国家588位处于职业生涯“早期—中期”阶段的跨学科学者认为,跨学科研究与获得稳定教职是冲突的^[9],如果不能带来丰富的学术成果,可能会降低学者从事跨学科研究的意愿。为了更好地探索跨学科研究与科研产出的关系,本研究选择拥有稳定教职、有一定学术地位、有较丰富学术成果的国家杰出青年科学基金项目资助学者作为研究对象。“杰青”学者一般不超过45周岁,按学术生命周期理论,处于学术职业生涯的个性和创造期阶段^[10],学者经过前两个阶段的学术积累,不仅有稳定的科研产出,并致力于寻求更多的创新,因此可以更好地探究二者关系。

二、文献综述

Garfield提出将“引文索引”作为一种新的文献检索与分类工具,以文章为检索字段从而跟踪一个想法的发展过程与学科之间的渗透关系^[11]。在浩瀚的学术产出成果与出版物信息中,信息间的相互引用能够将一些具有共同观点的论文联系起来,为了解知识与学科发展提供链接的纽带,也为研究知识的蔓延生长与学科融合发展提供可能。通过引文的引证关系,可以尝试性地探索与发现学科之间的联系,进而探讨跨学科研究与科研产出之间的关系。

(一)跨学科测度理论及相关指标

20世纪70年代以来,关于跨学科测度研究得益于众多学者对学科及知识图示的探索。Small开创信息可视化研究,Brookes则关注科学知识图谱研究,这两方面也成为刻画跨学科程度的强有力工

具^[12]。虽然当下还没有十分一致的指标来测量跨学科程度,但众多学者在进行跨学科测度研究时提到了需要注意三方面的特征:丰富性、均衡性、差异性(如图1)。其中,多样性主要是指“文献涉及多少个学科”,均衡性主要解释“文献涉及学科在研究对象中的分布比例”,差异性主要回应“文献涉及学科之间的差异程度”。在其他各方面属性相同的情况下,多样性越丰富、均衡性越高、差异度越大,说明跨学科程度越高。

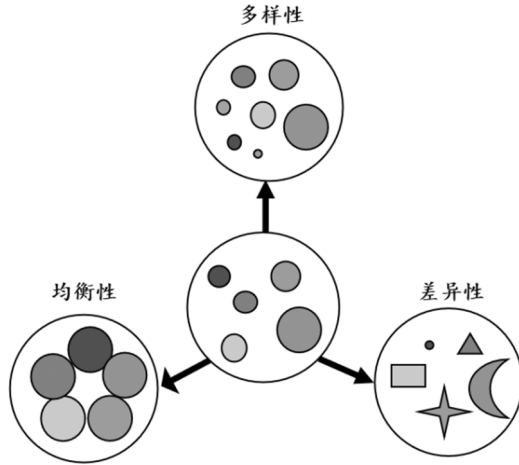


图1 跨学科三方面特征示意图^[13]

虽然众多有关跨学科研究提及这三方面特征,但并没有从理论上进行解释。结合物种多样性理论和系统协同理论理解,跨学科的本质是为了实现创新。生态学领域的许多实验表明,多样性会增强生物种群的生产力和竞争力,多样性群落演化要比单一性群落更具有竞争力和创新性^[14]。系统协同理论也提及多样性和差异性系统是系统生命力的基础和根源^[15]。从深层次来看,多样性系统之所以比单一系统更加演化有序,主要是因为子系统的差异性。系统的演化需要新质的形成,新质的产生往往需要竞争,而子系统无差异,竞争就会极为激烈和残酷,无差异的竞争,起到的效果是系统退化效果大于进化效果。差异化意味着在整体资源占有方面存在相互妨碍、竞争排斥现象,如果只有差异化竞争而没有系统内部的协同,就会使得系统无序。整体的均衡协同发展会使系统产生的新质稳定下来,进而使得系统演化的方向更加明确。这就类似于学科间的跨学科合作,丰富性提供学科发展的源源动力,差异性竞争产生创新要素,均衡协同促进整体的创新与发展。以下是用布里渊指数、基尼系数、余弦相似度指标表征跨学科的三方面特征:

多样性——布里渊指数。Brillouin 于 1956 年根据信息论中的信息熵计算原理,提出用于测度一条消息中所包含信息量的布里渊指数^[16]:

$$H = \frac{\log N! - \sum (\log n_i!)}{N} \in (0, +\infty] \quad (1)$$

布里渊指数是一个很恰当多样性测度指标,数量越大或观测数中的类别越多,并且观测对象在类别中分布越均匀时值越大,观测对象的多样性程度就越高^[17]。布里渊指数最开始用于生态学中的物种多样性计算,Thomas 和 Jeffrey 则利用布里渊指数测度环境科学中的跨学科多样性^[18]。

均衡性——基尼系数。均衡度是指不同学科类别在研究对象中进行交叉融合时分布的均匀程度。基尼系数是衡量一个国家或地区居民收入差距的常用指标,在现有的跨学科测度指标体系中,它被借用来测度跨学科不均匀程度^[19]。基尼系数越大通常表示跨学科的不均匀程度越高,因此使用基尼系数来表示跨学科研究的均衡程度。具体计算公式如下:

$$B = 1 - I_{GE} = 1 - \frac{\sum (2i - n - 1)x_i}{(n - 1) \sum x_i} \quad (2)$$

其中, i 是序列指标, x_i 是属于第 i 个学科类别的数量, 学科分类依据 X_i 由小到大排列。

差异性——余弦相似度。学科之间的知识融合不仅发生在相似学科之间, 在知识差异较大的学科中也可能出现交叉与融合。一般来说, 学科间的差异化程度可以通过学科相似度进行计算, 常用来测度学科相似度的指标有余弦相似度^[19]。

$$D = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} (1 - S_{ij}) \quad (3)$$

其中, D 是余弦相似度, S_{ij} 是学科类别 i 和 j 的相似度, n 是学科类别数目。

(二) 跨学科研究与科研产出的关系研究

在已有跨学科与科研产出的研究中, 很多学者尝试从不同的分析维度来探索二者之间的关系。Steele 等发现文章跨学科程度越强, 则其被引次数越多^[18]。李东等的研究表明, 科学家之间的跨学科合作和不同学科引用偏好与其学术影响力之间并不存在相关关系^[20]。Alfredso 等运用 Tobit 回归模型研究表明论文影响力与引用文献的丰富性呈正相关, 但与平衡性和差异性呈现负相关关系^[21]。Ortega 等另一项小规模研究表明, 虽然化学的跨学科引用率从 1985 年到 2000 年有所增加, 但生物学和物理学的情况并非如此^[22]。Van Leeuwen 等也发现学科间跨学科引用存在学科差异^[23]。Adams 等认为, 多数研究成果的跨学科程度与学者影响力之间并不存在直接的线性关系, 反而呈现出一种倒 U 型曲线关系^[24]。Chen 等人认为, 高被引文章 (TOP 1%) 相比于其他论文具有更高的跨学科程度^[25]。Wang 等利用回归模型 (泊松回归) 对跨学科 3 个维度与学者引文影响进行了模型分析, 发现跨学科多样性、差异性对学者成果数量的长期影响 (13 年时间窗口) 具有正向影响, 学科的均衡性则对学术成果数量的短期影响 (3 年时间窗口) 具有负向影响^[26]。由此可见, 跨学科不一定会提高科研产出的各方面指标, 也并非存在正向、负向的影响关系, 会因所选的学科领域、跨学科测度指标、学术产出成果指标的不同产生不同结果, 应以实际分析为准。

学术研究成果的跨学科性涉及成果本身的所属学科, 这是现阶段跨学科的直接反应, 而引文的学科类别则是存在一定时间差的跨学科融合成果, 所以本研究对跨学科程度的核心分析对象是学者的目标文献 (发表的 SCI 论文) 及施引文献 (引用已发表 SCI 论文的文章)。

三、研究设计与研究变量

以 2000—2020 年化学领域“杰青”学者为研究对象, 运用互联网和学校官网、教师个人主页搜集化学领域“杰青”学者的个人简历信息进行编码, 分析学者在 Scopus 数据库中以第一作者、通信作者、合作作者身份发表的被 SCI 收录的论文, 并进一步分析目标文献和施引文献的学科分类数据 (包括发表在各学科期刊上的文献数量和分布比例)、发表在 Scopus 数据库 (计算时间截至 2022 年 3 月) 27 个学科领域各学科的文献数量和引用次数, 计算各个学科在 2022 年的学科距离, 在此基础上计算学者的跨学科程度、学术产出水平, 进而采用计量模型分析化学领域“杰青”学者跨学科程度对其科研产出的影响。研究设计流程如图 2 所示。

本研究所选取的变量指标主要分为 3 个方面。首先是学者的基本履历信息。选取影响学术产出的控制变量主要包括可观测到的学者个体特征和外部支持因素, 包括性别、年龄、职称、申报项目学科分类、教育背景、博士毕业学校及工作学校的学科排名 (U. S. News 在 2019—2022 年的平均排名)、海外留学背景、成长为“杰青”的时间 (博士毕业时间—评选时间) 等方面。其次是跨学科研究测度相关指标, 主要通过 Scopus 数据库收集学者目标文献、施引文献的学科分布数量、每一学科中包含的学科

总篇数、不同学科分布比例以及发表在 Scopus 数据库 27 个学科领域各学科文献数量和引用次数。最后是学者学术产出指标(见表 1)。

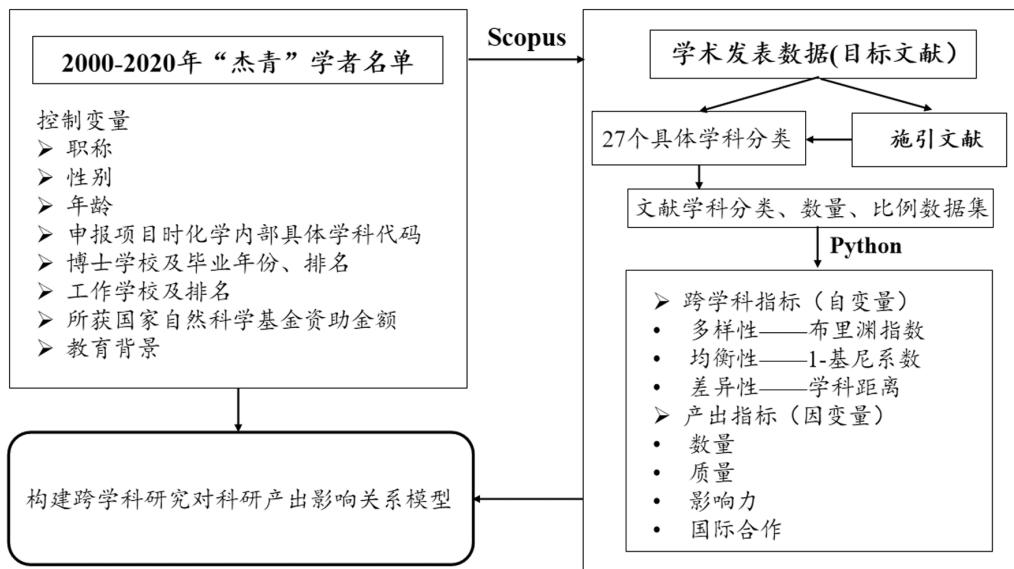


图 2 数据收集及研究设计流程

表 1 指标选取与操作性定义

履历分析指标	跨学科指标	学术产出指标
职称	Scival 学科分布表	SCI 论文数量
性别	目标文献学科分布数量、学科分布百分比	Top1%论文数量、百分比
出生年份	施引文献学科分布数量、学科分布百分比	Top10%论文数量、百分比
化学申报代码	布里渊指数(目标/施引文献)	篇年均被引次数
跨学科背景 (本硕博是否为同一专业)	基尼系数(目标/施引文献)	FWCI 指数
入选“杰青”年份	S_{ij} (学科 i 和 j 的相似度)	h 指数
工作学校学科排名	Diversity(目标/施引文献)	文献国际合作数量
博士学校学科排名		文献国际合作影响力
是否有海外留学背景		
所获自然科学基金金额		

四、数据分析与研究结果

(一)描述性统计

以 2000—2020 年化学“杰青”学者 273 人为研究对象,剔除缺失数据和学术产出异常值,样本共计 239 人。其中男性学者为 219 人,占比 91.6%;女性学者为 20 人,占比为 8.4%。45 岁以下的学者为 50 人,46~56 岁学者为 104 人,57~66 岁学者为 85 人。这些学者主要分布在科研院所和 36 所高校,其中,以研究生教育为主体办学的中国科学院大学化学领域的研究实力远领先于各高校,化学“杰青”学者为 73 人,占总体样本的 30.5%。其次是北京大学 28 人(11.7%)、清华大学 17 人(7.1%)。化学“杰青”学者内部也存在学科分类,具体分布人数及比例见表 2。在海外学习经历方面(包括海外攻读博士学位或具备博士后海外学习经历),样本中具有海外攻读博士学位经历的学者为

60 人,具有海外博士后学习经历的学者为 171 人。海外博士后学习经历主要以 1 次为主,为 142 人,有 2 次海外博士后经历的学者为 32 人,3 次及以上海外博士后经历为 2 人。综合来看,样本中没有海外学习经历的学者为 122 人,占比 51.1%,有海外学习经历的学者为 117 人,占比 48.9%。在资助金额方面,学者入选“杰青”学者所获的资助金额存在不同程度的差异,其中获得资助金额为 200 万~400 万学者人数最多,为 160 人(67.0%),200 万以下资助学者 79 人(33.0%)。在跨学科专业学习经历方面(本硕博阶段跨一级学科),仅有 15 位学者具有跨学科专业学习经历背景。例如学者 A 本科学习环境科学与工程专业,硕士博士阶段则选择化学专业进行学习。大多数学者(224 人,占比 93.7%)在化学本专业领域完成本科、硕士、博士阶段的学习训练。

表 2 样本描述性统计结果

类别	人数	比例(%)	
性别	男	219	91.6
	女	20	8.4
年龄分组	45 岁以下	50	20.9
	46~56 岁	104	43.5
	57~66 岁	85	35.6
院校分布	科研院所	73	30.5
	高校	166	69.5
学科内部分类	合成化学	43	36.7
	化学理论与机制	23	19.6
	化学测量学	14	11.9
	化学生物学	10	8.5
	材料化学与能源化学	8	6.8
	环境化学	7	5.9
	催化与表界面化学	7	5.9
	化学工程与工业化学	3	2.5
海外学习经历	始于博士后阶段	187	73.3
	始于访学阶段	59	23.1
	具有海外学习经历	117	48.9
	无海外学习经历	122	51.1
资助金额	200 万~400 万	160	67
	200 万以下	79	33
跨专业学习	是	15	6.3
	否	224	93.7

(二) 科研产出水平

统计化学领域“杰青”学者在 1996—2021 年(25 年,Scopus 数据库收录文献的起始年份为 1996 年)的学术发文情况,具体产出指标描述性统计见表 3。学者发表论文总产出数量(学术产出数量)平均值为 232.82 篇(25 年总篇数,下同),中位数值为 204 篇。在学术产出质量方面,前 1% 被引文章数量平均值为 13.17 篇,中位数值为 6 篇;前 10% 被引文章数量为 69.76 篇,中位数值为 52 篇。在篇年

均被引次数方面,平均被引频次为 44.60 篇/次,中位数值 36.20 篇/次。在国际合作能力方面,文献国际合作数量平均值为 47.83 篇,中位数值为 35.00 篇;文献国际合作影响力平均值为 55.06 篇,中位数值为 35.00 篇。在学术影响力方面,FWCI(国际平均水平为 1.0)平均值为 1.92,中位数值为 1.66; h 指数学者平均值为 48.39,中位数值为 45.00。

表 3 化学“杰青”学者学术产出相关指标(25 年总篇数)

学者学术产出指标	样本量	最小值	最大值	平均值	中位数	标准差
论文总产出数量	239.00	1.00	724.00	232.82	204.00	154.66
前 1% 被引文章数量	239.00	0.00	135.00	13.17	6.00	20.01
前 10% 被引文章数量	239.00	0.00	353.00	69.76	52.00	61.41
篇年均被引次数	239.00	4.00	156.90	44.60	36.20	26.64
文献国际合作数量	239.00	0.00	307.00	47.83	35.00	46.09
文献国际合作影响力	239.00	0.00	230.20	55.06	45.10	35.73
FWCI	239.00	0.71	6.71	1.92	1.66	1.02
h 指数	239.00	1.00	140.00	48.39	45.00	23.33

(三)跨学科程度分析

对于跨学科多样性(布里渊指数)、均衡性(基尼系数)、差异性(学科距离)进行描述性统计与正态性检验,样本量全部大于 50,因而使用 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验。通过 K-S 检验发现 $P=0.015^*$ 、 0.006^{**} 、 0.000^{**} 均小于 0.05,意味拒绝原假设(数据正态分布),学者目标文献与施引文献的跨学科多样性、均衡性、差异性全部不具有正态分布特质(见表 4)。目标文献的跨学科多样性平均值为 0.71,中位数值为 0.72;施引文献的跨学科多样性平均值为 0.84,中位数值为 0.85。李东等利用学者所发文献和参考文献对于“杰青”学者的跨学科多样性——布里渊指数进行计算统计,发现 2004—2016 年化学领域“杰青”学者的布里渊指数(学科按 JCR 分类计算)多集中分布在 $[0.5, -0.9]$ 区间内^[20]。本研究计算了学者目标文献和施引文献的布里渊指数,分析得出多样性的平均值与中位数值相对验证了之前学者的研究结论,并发现学者目标文献的跨学科多样性数值集中在 0.70 附近,而施引文献集中在 0.85 附近。

表 4 跨学科程度描述性统计及正态性检验

名称	样本量	最小值	最大值	平均值	中位值	标准差	Kolmogorov-Smirnov 检验	
							统计量 D 值	P 值
目标文献多样性	239.00	0.16	1.07	0.71	0.72	0.12	0.070	0.006 ^{**}
施引文献多样性	239.00	0.39	1.15	0.84	0.85	0.12	0.110	0.000 ^{**}
目标文献均衡性	239.00	0.568	0.941	0.801	0.800	0.049	0.065	0.015 ^{**}
施引文献均衡性	239.00	0.568	0.924	0.804	0.804	0.054	0.086	0.000 ^{**}
目标文献差异性	239.00	0.958	0.995	0.980	0.981	0.007	0.065	0.000 ^{**}
施引文献差异性	239.00	0.991	0.998	0.989	0.986	0.013	0.097	0.000 ^{**}

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

均衡度的取值在 $[0, -1]$ 之间,在其他属性保持相同的情况下,均衡度越高,跨学科程度越高。本研究中目标文献的跨学科均衡性平均值为 0.801,中位数值为 0.800;施引文献的跨学科均衡性平均值为 0.804,中位数值为 0.804。目标文献的跨学科差异性平均值为 0.980,中位数值为 0.981;施引

文献的跨学科差异性平均值为 0.989, 中位数值为 0.986。有学者利用 WOS 数据, 对于细胞生物学、工程电气与电子、食品科学与技术 and 物理原子分子与化学 4 个领域发表文章的参考文献跨学科均衡度、差异性进行了统计, 发现跨学科均衡度的平均值为 0.812, 中位数值为 0.835, 跨学科差异度平均值为 0.581, 中位数值为 0.598^[21]。化学领域的“杰青”学者目标文献和施引文献跨学科均衡度平均值与中位数值都在 0.80 左右, 处于较高水平, 而跨学科差异性的数值无论是平均值, 还是中位数值都在 0.98-0.99 之间, 相比较而言, 化学“杰青”学者的跨学科差异性非常大, 跨学科性非常强。

就学科相似性而言, 化学与化学工程相似性最强, 相似度为 0.143 (Scopus 数据库中将化学与化学工程作为两种研究领域进行分类), 其次是和材料科学、物理学与天文学、生物化学遗传学与分子生物学、药理学毒理学与药剂学、能源、工程学、环境科学、农业与生物学、计算机科学等学科相似。为更直观地表示各学科间的相似度和学科距离, 运用 Java 08 和 Gephi 等软件绘制出各学科间的相似度 (如图 3), 其中连接箭头越粗, 接触面积越大, 表明学科间距离越近, 越为相似。

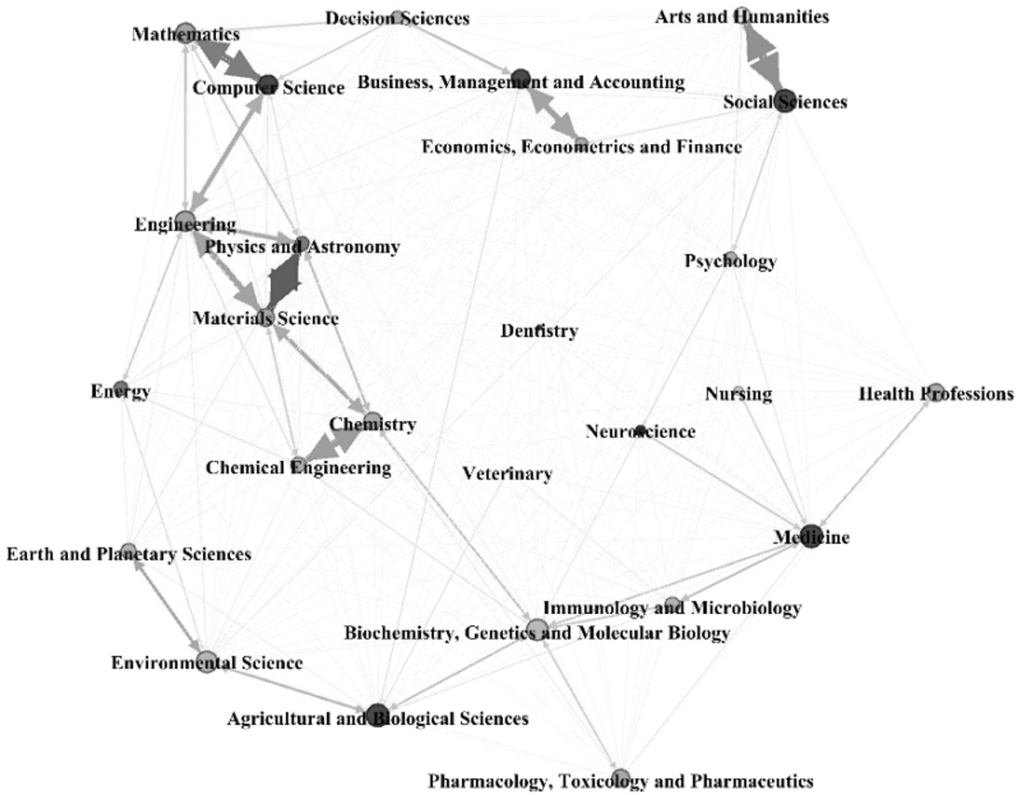


图 3 学科相似度

(四) 相关分析与回归模型构建

由于数据非正态分布, 因此选择 Spearman 相关分析方法检验跨学科程度指标、控制变量与科研产出各项指标的相关性 (见表 5)。

表 5 跨学科程度及控制变量与学术产出变量的相关性检验

	论文总产出数量	前 1% 被引文章数量	前 10% 被引文章数量	h 指数	篇年均被引次数	文献国际合作数量	文献国际合作影响力	FWCI
目标文献跨学科多样性	0.240**	0.422**	0.385**	0.320**	0.242**	0.288**	0.209*	0.265**
施引文献跨学科多样性	-0.022	0.133*	0.095	0.051	0.121	0.06	0.104	0.090

续表

	论文总产出数量	前1%被引文章数量	前10%被引文章数量	h 指数	篇年均被引次数	文献国际合作数量	文献国际合作影响力	FWCI
目标文献跨学科均衡性	-0.05	-0.297**	-0.223**	-0.144**	-0.187**	-0.152*	-0.127	-0.256**
施引文献跨学科均衡性	0.074	-0.087	-0.048	-0.003	-0.09	-0.018	-0.07	-0.08
目标文献跨学科差异性	0.194**	0.179**	0.205**	0.162*	0.032	0.252**	0.073	0.044
施引文献跨学科差异性	0.075	-0.007	0.042	0.751	-0.09	-0.59	-0.069	-0.38
海外博士	-0.202**	0.144*	0.185**	0.190**	0.008	-0.081	-0.042	-0.057
成长为杰青时间	0.191**	0.012	0.076	0.069	-0.098	0.038	0.025	-0.106
资助金额对数处理	-0.431**	0.019	-0.107	-0.215**	0.183**	-0.246**	0.043	0.269**
学校平均排名	0.185**	0.04	0.137*	0.103	-0.119	0.089	-0.049	-0.007
跨学科培养	0	-0.02	-0.017	-0.05	-0.064	0.085	-0.126	-0.03
是否为海外博士后	-0.105	-0.014	-0.054	-0.078	0.085	0.011	-0.002	0.039
海外博士后经历次数	-0.078	-0.013	-0.068	-0.089	0.047	0.005	0.016	0.026
是否访学	-0.043	0.001	0.013	0.025	0.058	0.004	0.035	0.014

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

由表5可知,施引文献的多样性、均衡性、差异性与学术产出之间并无相关关系,而目标文献的多样性、均衡性、差异性与学术产出各变量之间存在不同程度、正向或负向的相关关系。其中,多样性、差异性与学术产出的数量、质量、学术影响力、国际合作方面之间存在正向相关关系,而均衡性与学术产出的质量、学术影响力、国际合作方面之间存在负向相关关系,这与Wang等得出的结论相一致^[26]。在控制变量中,海外攻读博士学位经历、成长为“杰青”学者的时间、资助金额(对数处理)、学校排名与学术产出各变量存在相关关系,而性别、职称、学科内部分类、跨学科培养经历、海外博士后经历次数、访学等因素均与学术产出无相关关系。

验证学术交叉多样性、均衡性、差异性与学术产出之间是否存在一定的因果关系,需要引入回归分析方法。利用SPSS 20对方差膨胀因子进行多重共线性检验,所有解释变量与控制变量的方差膨胀因子均大于5,无法满足多元线性回归假设,因此选择逐步回归和岭回归相结合的方法构建多元线性回归模型。将自变量和因变量放入岭回归模型中并结合岭迹图寻找最佳k值,发现最佳k值为0.01(有的模型最佳k值则为0.03、0.04)。输入k值进行回归建模,针对模型多重共线性进行检验发现,模型中VIF值均小于5,这意味着不存在共线性问题。使用Durbin-Watson检验方法模型中各观测值之间的相互独立性,即残差之间不存在自相关,满足线性回归假设。

(五)结果分析

首先,以科研产出的数量、质量、国际合作能力、学术影响力、个人影响力(归一化处理)作为被解释变量,跨学科测度指标及取得海外博士、资助金额(对数化)、成长为“杰青”学者时间纳入回归方

程。在线性拟合的基础上,通过添加跨学科多样性、均衡性、差异性的平方项来检验二者之间潜在的非线性关系。二次项方程的表达式为: $f(x) = ax^2 + bx + c$ ($a \neq 0$, 当 $a > 0$, 抛物线开口朝上; 当 $a < 0$, 抛物线开口朝下)。由于涉及多个自变量及其二次项,所拟合的方程模型为多元函数,具有 2 个及 2 个以上的自变量。为更好区分跨学科程度各方面测度指标与产出的关系,通过观察自变量的系数,求函数对该自变量的偏导数。若自变量为一次项并且偏导数为正,对因变量为正向影响;若偏导数为负,对因变量为负向影响。若自变量为二次项,偏导数为正,对因变量影响先为负向后为正向,呈现 U 形曲线;偏导数为负,则对因变量影响先为正向后为负向,呈现倒 U 形曲线,回归结果见表 6。

表 6 跨学科与学术产出变量的岭回归结果

	学术产出数量		学术产出质量		国际合作能力		学术影响力	个人影响力
	论文总数量	前 1% 被引数量	前 10% 被引数量	篇年被引次数	文献国际合作数量	文献国际合作影响力	FWCI	h 指数
常数项	-6.464	-2.091	-4.465	-0.912	-4.037	-2.386	-0.825	-5.138
	$P=0.000^{**}$	$P=0.094$	$P=0.001^{**}$	$P=0.516$	$P=0.002^{**}$	$P=0.062$	$P=0.562$	$P=0.000^{**}$
多样性	0.308	0.115	0.22	0.528	-0.463	0.597	-0.315	0.426
	$P=0.338$	$P=0.670$	$P=0.448$	$P=0.003^{**}$	$P=0.094$	$P=0.001^{**}$	$P=0.309$	$P=0.116$
(多样性) ²	1.157	0.676	0.964	0.313	0.866	0.304	0.877	1.171
	$P=0.000^{**}$	$P=0.004^{**}$	$P=0.000^{**}$	$P=0.013^*$	$P=0.000^{**}$	$P=0.026^*$	$P=0.001^{**}$	$P=0.000^{**}$
均衡性	1.468	1.434	1.690	1.044	0.398	1.246	1.338	1.962
	$P=0.004^{**}$	$P=0.001^{**}$	$P=0.000^{**}$	$P=0.000^{**}$	$P=0.362$	$P=0.000^{**}$	$P=0.007^{**}$	$P=0.000^{**}$
(均衡性) ²	1.608	0.098	0.679	0.329	0.828	0.429	-0.082	1.354
	$P=0.000^{**}$	$P=0.747$	$P=0.037^*$	$P=0.07$	$P=0.008^{**}$	$P=0.021^*$	$P=0.813$	$P=0.000^{**}$
差异性	3.080	0.821	1.857	-0.312	2.424	0.586	0.026	2.069
	$P=0.002^{**}$	$P=0.311$	$P=0.033^*$	$P=0.723$	$P=0.004^{**}$	$P=0.463$	$P=0.978$	$P=0.011^*$
(差异性) ²	1.280	-0.228	0.509	-0.338	1.103	0.071	-0.59	0.262
	$P=0.010^{**}$	$P=0.583$	$P=0.253$	$P=0.454$	$P=0.009^{**}$	$P=0.861$	$P=0.215$	$P=0.527$
取得海外博士学位	-0.085	-0.026	0.050	0.004	0.026	0.001	0.012	0.045
	$P=0.001^{**}$	$P=0.243$	$P=0.034^*$	$P=0.859$	$P=0.239$	$P=0.957$	$P=0.636$	$P=0.042^*$
ln(资助金额)	-0.124	-0.003	-0.02	0.063	-0.031	0.033	0.081	-0.029
	$P=0.000^{**}$	$P=0.872$	$P=0.306$	$P=0.003^{**}$	$P=0.102$	$P=0.088$	$P=0.000^{**}$	$P=0.115$
成长为青青时间	0.006	-0.001	0.001	-0.004	-0.002	-0.002	-0.003	0.001
	$P=0.077$	$P=0.854$	$P=0.808$	$P=0.241$	$P=0.531$	$P=0.587$	$P=0.293$	$P=0.851$
最佳 k 值	$k=0.01$	$k=0.01$	$k=0.01$	$k=0.04$	$k=0.01$	$k=0.03$	$k=0.01$	$k=0.01$
R^2	0.421	0.235	0.267	0.221	0.135	0.108	0.151	0.336

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

对于科研产出的各方面指标来说,跨学科的多样性、均衡性、差异性都对科研产出具有显著影响,二次项的加入也使得模型整体拟合度不断提升,跨学科的多样性、均衡性、差异性二次项的系数为正,与学术产出之间呈现出 U 形非线性关系显著。虽然在跨学科程度的初始阶段,学者科研产出数量、质量、国际合作能力、学术影响力及个人影响力出现不同程度的下降,但当跨学科水平到达一定阈值

之后,更高水平和程度的跨学科研究则有利于科研产出的提升。在论文产出数量、 h 指数、前10%被引文章数量方面,模型的整体拟合度为42.1%、33.6%、26.7%,相比于其他指标来说拟合度较好,跨学科程度对于科研产出的数量、个人学术影响力、学术产出质量(前10%领域)影响较为明显。在控制变量方面,取得海外博士学位、资助金额虽不利于学术产出数量的提升,但对于学术产出质量(前10%被引数量、篇年均被引次数)、学术影响力(FWCI)、个人学术影响力(h 指数)均为正向影响。

五、结论与建议

(一)研究结论

1. 化学“杰青”学者中跨学科人才培养比例较低

对2000—2020年239位化学领域“杰青”学者的履历进行分析后发现,仅有15位学者具有跨(一级)学科学习背景,占比6.3%,大多数学者(224人,占比93.7%)还是在化学领域完成本科、硕士、博士阶段的专业学习训练。从学者纵向跨学科学习经历来看,化学“杰青”学者的跨学科人才培养比例较低。过去院系的设置带有明确的学科界限并出台相对具体的人才培养方案,一定程度上不利于跨学科人才的培养。

2. 目标文献跨学科多样性、差异性程度相对较高,与科研产出存在正相关关系,均衡性与产出之间存在负相关关系

目标文献的多样性、差异性与科研产出各方面指标存在正相关关系,意味着学习更多种类、更大学科差异的理论知识与方法会提高科研产出水平。而均衡性与科研产出的质量、学术影响力、国际合作方面之间存在负相关关系,这可能与现有的学科训练机制有关。一般来说,具有新颖性和常规性的论文更可能受到关注与引用,即立足于一门学科知识核心(广泛引用本学科内大部分核心文献),同时借用其他偏远学科的知识。没有学科核心、均衡地跨学科研究相对受到的关注和引用较少。虽然科学的重大突破与均衡地突破学科边界的跨学科研究密切相关,但大多数的科学家都在一个学科体系内接受训练,很少有学者能均衡地突破学科边界进行创新突破^[27]。

3. 目标文献的跨学科程度与科研产出之间存在U形非线性关系

目标文献的跨学科多样性、均衡性、差异性都对学术产出各方面(数量、质量、国际合作能力、学术影响力、个人影响力)具有显著影响,二次项的系数均为正,与学术产出之间呈现出U形非线性关系。学者在跨学科程度的初始阶段,由于要学习更多学科领域的新知识和研究范式,虽然科研产出的数量、质量、国际合作能力、学术影响力及个人学术影响力呈现出不同程度的下降,但当跨学科程度到达一定阈值之后,更高水平的跨学科研究则有利于学者提升科研产出水平。

(二)研究建议

1. 改革人才培养模式,优化跨学科课程体系设计,保障跨学科人才供给

克莱恩曾指出,有组织的行为是促进现代跨学科形成的主要途径之一^[28]。专业院系是大学组织结构与人才培养的核心单元,但跨学科研究对人才素质的需求却是多学科的。跨学科是对知识体系、学科体系建设的重新组织,对以学科为基础的人才培养模式和课程设置是很艰难的挑战,需要不断尝试改革。人才培养是跨学科发展的根基,推动跨学科研究,除了为不同学科的学者提供跨学科合作平台、促进学者个人层面的学科知识多样化外,更要注重培养具有跨学科领域思维和研究能力的人才。因此,要根据学科知识发展的前沿方向和需要,设计跨学科知识导向的人才培养方案,进行跨学科导向的课程体系建设;优化跨学科学习机制,完善跨专业选课制度,保障跨学科人才供给。例如,普林斯

顿大学不拘于学科院系的壁垒,面向全体学生提供学术资源,为交叉学科人才的培养提供了沃土^[29]。小而精的布朗大学根据多个主题、多个学科开设课程,跨系课程在21世纪初占到标准课程计划的1/3,主修跨学科课程毕业的学生始终保持在40%左右^[30]。因此,在跨学科人才培养中,在设立交叉学科门类的同时,改变传统以单一学科为导向的课程设置和人才培养模式,优化跨学科课程体系。

2. 立足于学科核心,坚持“问题导向”,促进相近学科间的跨学科研究

均衡性与科研产出之间存在负相关关系,意味着对于学者而言,更有效的跨学科研究策略是立足于一门学科的核心去思考跨学科研究,而不是均衡地以各个学科的知识逻辑来进行跨学科创新。坚持“问题导向”的跨学科研究建设与发展,既符合学科前沿知识发展特点,又回应了国家重大发展战略需求,解决实践中的问题是跨学科发展的依据和动力。布朗大学的跨学科专业设置了数学与计算机科学,古典、古地中海、近东研究和考古学,科学技术和社会等专业;哈佛大学设置了文化研究与批判理论分析、中世纪与文艺复兴研究、可持续性研究等交叉学科专业等^[31]。从美国常春藤高校联盟设置的多数跨学科研究中心可以看出,跨学科研究的专业设置大多是由相近学科构成。因此,现阶段的跨学科研究应以学科实际发展与“问题解决”为基准,太过远端的跨学科研究风险过大,学者应在相近学科间进行交叉问题的思考与研究。以化学专业为例,可以搭建更多化学和工程、物理学与天文学、生物化学遗传学与分子生物学等跨学科合作平台,促进化学领域的跨学科研究。

3. 建立符合跨学科特点的学术评价和激励机制,鼓励学者勇闯“无人区”

当前的职称评审、学术发表、奖项评定、科研项目申请及考核等,仍然以学科导向为主。由于现存的学科壁垒,以学科为导向的评审机制并不利于学者的跨学科成果发表、项目申请、科研奖项评定,反而会降低学者从事跨学科研究的热情。因此,设置与跨学科研究相匹配的学术评价与激励机制非常重要。例如,澳大利亚国立大学对2010—2014年提交到澳大利亚研究理事会“发现计划”的3500个研究计划书进行分析后发现,跨学科程度越高的申请书成功申请的概率越低^[31]。研究同样发现,化学“杰青”学者的跨学科研究与科研产出之间也存在U形非线性关系,需要一定的时间才能发挥跨学科创新对科研产出的作用。因此,在学术期刊发表方面,应根据学科领域的前沿发展方向,对跨学科研究成果给予应有的重视,组建跨学科评审团队。在科研项目的申请与考核方面,重点资助面向国家发展战略需求、传统资助途径无法覆盖的跨学科研究项目。针对跨学科研究风险大、探索周期长、不确定等问题,要适当拉长科研成果的考核周期,稳定支持学者从事跨学科的重大问题研究。

参考文献:

- [1] 贝弗里奇. 科学研究的艺术[M]. 太原:北岳文艺出版社,2015:133134.
- [2] BROWN S B. “Book-review” theory into action in science curriculum development[J]. *Am Biol Teach*, 1966, 28(4): 312-313.
- [3] National Academy of Sciences. Facilitating interdisciplinary research[R]. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2005: 2641.
- [4] PORTER A L, COHEN A S, DAVID R J, et al. Measuring researcher interdisciplinary[J]. *Scientometrics*, 2007, 72(1): 117147.
- [5] SCHMIDT J C. Towards a philosophy of interdisciplinarity[J]. *Poiesis & praxis*, 2008, 5(1): 5369.
- [6] PER A, KJELL A, MATILDA A, et al. Solving problems in social-ecological systems: definition, practice and barriers of transdisciplinary research[J]. *Ambio*, 2013, 42(2): 254265.
- [7] Facts on the Nobel Prize in Chemistry [EB/OL]. [20200906]. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/>.

- [8] SZELL M, MA Y, SINATRA R. A Nobel opportunity for interdisciplinarity[J]. *Nature physics*, 2018, 14(11): 1075-1078.
- [9] MILLAR M M. Interdisciplinary research and the early career: the effect of interdisciplinary dissertation research on career placement and publication productivity of doctoral graduates in the sciences[J]. *Research policy*, 2013, 42(5): 1152-1164.
- [10] 方勇,邵振权,冯勇.国家杰出青年科学基金项目负责人成长特征研究:基于学术生命周期理论与数据分析[J].中国高校科技,2021(7):2833.
- [11] GARFIELD E. Citation indexes for science: a new dimension in documentation through association of ideas [J]. *Science*, 1955, 122(3159): 108111
- [12] 叶鹰,张家榕,张慧.知识流动与跨学科研究之关联[J].图书与情报,2020(3):2933.
- [13] RAFOLS I, MEYER M. Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: case studies in bionanoscience [J]. *Scientometrics*, 2009, 82(2): 263-287.
- [14] 方精云.群落生态学迎来新的辉煌时代[J].生物多样性,2009,17(6):534-532.
- [15] 苗东升.系统科学精要[M].北京:中国人民大学出版社,2016:292-134.
- [16] BRILLOUIN L, HELLWARTH R W. Science and information theory[J]. *Physics today*, 1956, 9(12): 39-40.
- [17] 杨良斌,金碧辉.跨学科研究中学科交叉度的定量分析探讨[J].情报杂志,2009,28(4):394-392.
- [18] STEELE T W, STIER J C. The impact of interdisciplinary research in the environmental sciences: a forestry case study [J]. *Journal of the American society for information science*, 2000, 51(5): 476-484.
- [19] LEYDESDORFF L, RAFOLS I. Indicators of the interdisciplinarity of journals: diversity, centrality, and citations [J]. *Journal of informetrics*, 2010, 5(1): 87-100.
- [20] 李东,童寿传,李江.学科交叉与科学家学术影响力之间的关系研究[J].数据分析与知识发现,2018,2(12):411.
- [21] YEGROS-YEGROS A, RAFOLS I, D'ESTE P. Does interdisciplinary research lead to higher citation impact? The different effect of proximal and distal interdisciplinarity[J]. *PloS one*, 2015, 10(8): e0135095.
- [22] ORTEGA L, ANTELL K. Tracking cross-disciplinary information use by author affiliation: demonstration of a method [J]. *College & Research Libraries*, 2006, 67(5): 446-462.
- [23] VAN L B, DEBACKERE K, CALLAERT J, et al. Scientific capabilities and technological performance of national innovation systems: an exploration of emerging industrial relevant research domains [J]. *Scientometrics*, 2006, 66(2): 295-310.
- [24] ADAMS J, JACKSON L, MARSHALL S. Bibliometric analysis of interdisciplinary research[R]. Report to the Higher Education Funding Council for England, 2007:431.
- [25] CHEN S, ARSENAULT C, LARIVIÈRE V. Are top-cited papers more interdisciplinary? [J]. *Journal of informetrics*, 2015, 9(4): 1034-1046.
- [26] WANG J, THIJS B, GLÄNZEL W. Interdisciplinarity and impact: distinct effects of variety, balance, and disparity[J]. *PloS one*, 2015, 10(5): e0127298.
- [27] UZZI B, MUKHERJEE S, STRINGER M, et al. Atypical combinations and scientific impact [J]. *Science*, 2013, 342(6157): 468-472.
- [28] KLEIN J T. *Interdisciplinarity: history, theory, and practice*[M]. Detroit: Wayne State University Press, 1990.
- [29] 马麟,孔菲,程方骁,等.学科交叉融合发展的探索与实践:以生命科学领域为例[J].大学与学科,2021,2(4): 100-107.
- [30] 赵文华,程莹,陈丽璘,等.美国促进交叉学科研究与人才培养的借鉴[J].中国高等教育,2007(1):64-63.
- [31] 戴亚飞,杜全生,潘庆,等.探索中前行的交叉科学发展之路[J].大学与学科,2021,2(4):413.

(编辑:杨慷慨 校对:王茂建)

Output of Scholars: Taking the “Outstanding Young” Scholars in the Field of Chemistry as an Example

SUN Na¹, QIAO Jinzhong²

(1. *Institute of Higher Education, East China Normal University, Shanghai 200062, China;*

2. *Institute of Higher Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Implementing the innovation-driven development strategy needs to play the leading role of scientific and technological talents. After analyzing the resumes, published SCI documents and cited documents of 239 “outstanding young” scholars in the field of chemistry from 2000 to 2020, it was found that in terms of longitudinal interdisciplinary (level 1) learning experience, the number of scholars with interdisciplinary learning background was relatively low, and only 15 scholars had interdisciplinary learning background at the undergraduate, postgraduate and doctoral stages, accounting for 6.3% of the total; in terms of published SCI literature (target literature) and cited literature (cited literature), cited literature is more interdisciplinary; the degree of interdisciplinary diversity and diversity of the target literature is relatively high, and there is a positive correlation with the scientific research output. There is a negative correlation between the equilibrium and the output. The interdisciplinary nature of the cited literature has no significant relationship with the output; the fields of chemistry and chemical engineering, physics and astronomy, biochemistry genetics and molecular biology have the deepest degree of integration; there is a U-shaped nonlinear relationship between the interdisciplinary degree of the target literature and the scientific research output, which means that at the initial stage of interdisciplinary research, scholars will have to learn more new knowledge and research paradigms in more fields, which will affect the decline of various indicators of the level of scientific research output in varying degrees, but when reaching a certain threshold, a higher level and degree of interdisciplinary research will help to improve the scientific research output. At the stage of high-quality development, scientific progress and breakthroughs in key core technologies cannot be separated from the deep cross-integration between schools and departments. Therefore, the talent training mode should be reformed, optimizing the design of interdisciplinary curriculum system, and ensuring the supply of interdisciplinary talents; based on the core of the discipline, adhere to the “problem orientation” and promote interdisciplinary research among similar disciplines; establish an academic evaluation and incentive mechanism in line with interdisciplinary characteristics, and encourage scholars to brave the “no man’s land”.

Key words: interdisciplinary research; scientific research output; chemical “outstanding young” scholars; U-shaped nonlinear relation