

跨学科研究的文献计量及可视化分析*

薛晓丽 武夷山

(中国科学技术信息研究所 北京 100038)

摘要 以2004–2013年Web of Science数据库中跨学科研究论文作为数据源,运用文献计量法分析了“跨学科”研究论文国别分布、机构分布以及各国跨学科研究涉及的学科领域分布,并通过建立学科共现网络分析了四大主流研究机构跨学科研究的特色,最后从时间演化的角度探讨了近十年来跨学科研究热点及研究前沿。通过研究发现近十年跨学科研究论文产出主要集中在欧美国家,中国排名第十位,且各国对不同学科领域的交叉研究各有侧重。跨学科研究机构以高校为主,四大主流研究机构或多或少都涉及到医学、卫生保健领域跨学科研究,但面向的学科各有不同。

关键词 跨学科研究 文献计量 共现网络 可视化

中图分类号 G353

文献标识码 A

文章编号 1002-1965(2014)07-0122-06

DOI 10.3969/j.issn.1002-1965.2014.07.022

Bibliometric Study on Interdisciplinary Research Articles and Its Visualization

Xue Xiaoli Wu Yishan

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

Abstract Taking interdisciplinary research articles retrieved from Web of Science between 2004 and 2013 as a sample, this paper used the bibliometric method to analyze those articles' institutional distribution, national distribution, and disciplinary distribution. Then through establishing the discipline co-occurrence network, this paper revealed the characteristics of interdisciplinary research in four representative universities. Finally, we explored the hot topics and the research frontier in interdisciplinary research over the past decade. Through the above analysis, we found that interdisciplinary research articles are mainly published by European and American authors over the past decade, and China is ranked at the tenth place in terms of publications; different countries have their particular focus in their interdisciplinary studies. Universities are very productive in interdisciplinary research, and the four universities we examined are all closely involved in interdisciplinary research in medicine and health care, but with different focus.

Key words interdisciplinary research bibliometric analysis co-occurrence network visualization

0 引言

20世纪以来,现代科学研究逐渐呈现出学科高度综合化的特征,跨学科研究已经演变成为科学研究实践的重要形式之一。一些大型科技攻关项目所涉及的学科领域越来越广泛,例如我国长江三峡工程的建设、“神舟六号”飞船的研制以及重大新药研发都需要多个学科领域的专家学者集思广益、协同合作。学科知识的高度整合成了促进人类发展的重要趋势,近年来

各国为鼓励跨学科研究的政策、支持跨学科研究的基金项目越来越多,大量的跨学科研究团体、组织、机构纷纷成立,围绕跨学科研究的成果也与日俱增。

本文的“跨学科研究”指的是,将多个学科的方法、理论、技术等要素融会贯通起来,以探索大自然复杂的内在机理,开发新技术,解决棘手的社会现实问题。目前,越来越多的学者开始注重跨学科领域学科之间交叉关系的研究。如采用关联规则挖掘技术进行学科关联分析的王昊^[1],运用论文之间的引用情况来

收稿日期:2014-03-27

修回日期:2014-04-23

基金项目:国家自然科学基金项目“论文零被引的时间演化规律、影响因素及其应用研究”(编号:71373252)。

作者简介:薛晓丽(1989-),女,硕士研究生,研究方向:情报学、科学计量学;武夷山(1958-),男,研究员,博士生导师,研究方向:情报学、科技管理、科学计量学。

通讯作者:武夷山

分析学科之间交叉关系的杨建林^[2]以及运用共词聚类法来研究学科交叉的魏建香^[3]等,但基于跨学科论文所属的学科主题探索学科交叉的研究很少。为了更好地了解跨学科研究的现状及把握未来跨学科研究的趋势,本文首先从文献分析的角度,统计了各国各机构关注跨学科研究的现状;其次根据数据库给每篇论文标注的学科主题,统计出各国的跨学科研究涉及的学科主题领域。并运用 Ucinet 和 Citespace 等可视化分析软件,建立跨学科研究论文的学科交叉网络^[4],进而探索各机构跨学科研究涉及的学科领域及学科交叉研究的趋势,以便为跨学科研究实践和发展提供借鉴和启示。

1 数据与方法

1.1 数据收集及预处理 汤森路透公司开发的 Web of Science 数据库被公认为世界范围内权威的科学文献索引工具,能够较全面地提供跨学科研究领域重要的研究成果。我们以 Web of Science 核心合集数据库——SCIE、SSCI、CPCI-S 和 CPCI-SSH——作为本研究的数据检索源。

在具有“跨学科”含义的英文词汇中,interdisciplinary 是出现最早的一个合成词,字面意思是“学科间”,常译为“跨学科”或“交叉学科”,1937 年被《新韦氏大学辞典》和《牛津英语辞典(增补本)》首次收录。在 20 世纪 60-70 年代跨学科兴起的大潮中,由 interdisciplinary 和其他词汇组合出现的跨学科性、跨学科关系、跨学科论等热点关键词广泛使用,同样受到追捧的还有“Multidisciplinary”“Crossdisciplinary”“Transdisciplinary”等表示跨学科、交叉学科的词汇^[5]。因此我们采用“interdisciplin*”“inter-disciplin*”“crossdisciplin*”“cross-disciplin*”“multidisciplin*”“multi-disciplin*”“transdisciplin*”“trans-disciplin*”(其中“*”包涵“-e”“-ary”“-arity”)等主题词进行标题检索。检索时间段为 2004-2013 年,检索时间是 2014 年 2 月 17 日,最后检索得到 13 505 条文献记录,其中包括 SCIE 收录的 9 900 条、SSCI 收录的 4 430 条、CPCI-S 收录的 2 845 条和 CPCI-SSH 收录的 581 条记录,其中有同一条记录被多个数据库同时收录的情况。运用 TDA 软件(TDA, Thomson Data Analyzer,是由汤森路透开发的具有数据清理、数据分析挖掘等功能的软件)去除重复出现以及不相关的 63 篇文献记录,最终获得 13 442 篇有关跨学科研究的文献数据。将这些数据按照篇名(TI)、作者(AU)、地址(CI,包含国家和机构)、研究学科方向(SC)以及所属期刊的学科分类(WC)字段建立数据库,并将此数据库作为本研究的数据样本。

1.2 分析方法 本文采用的分析方法有以下几种:
a. 文献计量法,从国家分布和机构分布的角度对跨学科研究论文进行统计分析。
b. 词频统计法。Web of Science 数据库对每一篇文献记录都标注了该篇论文的研究方向(SC)和学科分类(WC),SC 字段概括论文研究学科主题,WC 字段表示论文所属期刊的分类情况。在一定程度上 SC 字段更能揭示论文的研究主题和涉及的学科范围。因此我们根据 SC 字段找出能表示学科的主题词,借助 TDA 软件构建学科主题词词频表,从词频分析的角度,揭示不同国家跨学科研究涉及的学科领域。
c. 共现聚类法。分析不同的学科主题词出现在同一篇文献中的次数,可以挖掘学科领域中主题之间的关系^[5]。构建学科主题词共现矩阵,探索跨学科研究论文高产机构中学科交叉研究的特征以及知识交流的情况。
d. 尝试采用时间序列——共词网络分析的方法揭示近十年学科之间交叉研究的趋势。

2 数据分析

2.1 跨学科研究的国别及机构分布

2.1.1 国别分布 一个国家在某研究领域发表的论文量在一定程度上可以反映这个国家在该领域的科研产出的能力^[6]。2004-2013 年间,跨学科研究论文数量从 2004 年的 774 篇增长到 2013 年的 1 667 篇,增长率达到 116%。其中发表跨学科研究论文较多的国家主要是北美国家(如美国、加拿大)和欧洲国家(如英国、法国及荷兰),其中美国的论文总产出量是 4 451 篇,占总样本的 33.4%,位居榜首,其次是英国(10.8%)、德国(9.5%)、加拿大(5.6%)、澳大利亚(4.6%)、意大利(4.5%)、法国(4.1%)、荷兰(4%)等其他发达国家。而我国在跨学科领域发表的国际论文仅占总样本的 2.94%,位居第十位。基于数据样本,我们对发文量排名前十位的国家绘制年度-国家-产量趋势图(如图 1 所示)。各国跨学科研究论文产出量呈逐年上涨的趋势,其中美国对跨学科研究的论文产量在经历连续多年的增长之后已接近平稳,由此可以看出美国在跨学科研究领域一直处于领先水平。

2.1.2 机构分布 跨学科研究是促进科学发展、科技创新的动力。近年来国内外越来越多的机构或团体将目光转向跨学科的研究,把发展跨学科研究和促进“交叉科学”研究放在首要位置,如斯坦福大学实施的生物跨学科研究计划,涉及到生物、工程、医学三大领域,哈佛大学和密歇根大学等机构都设立了“跨学科科学合作基金”或建立了“跨学科专家委员会”以推动学科的交叉融合与发展。本研究所检索出的跨学科研究论文涉及的机构有 9 438 个,其中国际、国内论文产出量前十位的机构如表 1 和表 2 所示。

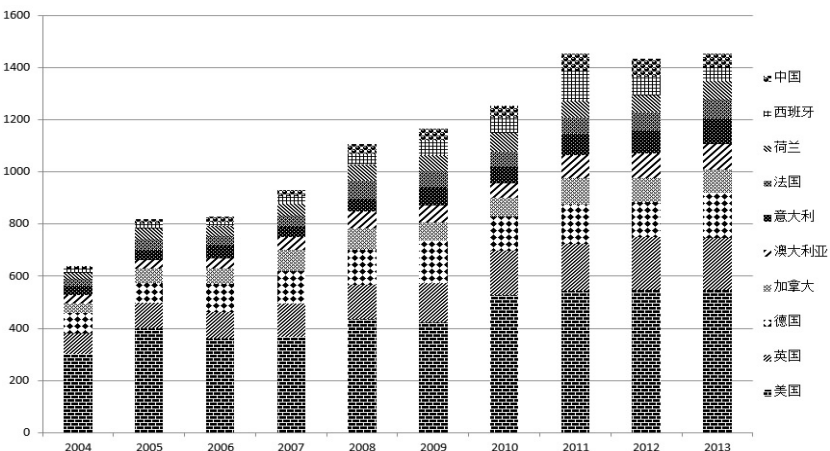


图 1 国际跨学科研究前十位发文国家-年度-产量趋势图

表 1 跨学科研究领域国际前十位发文机构——论文产量分布

名 称	机构中文翻译	论文产量	所属国家	排名
Univ Washington	华盛顿大学	173	美国	1
Harvard Univ	哈佛大学	127	美国	2
Univ Florida	佛罗里达大学	113	美国	3
Univ Michigan	密歇根大学	107	美国	4
Univ Toronto	多伦多大学	106	加拿大	5
Univ Texas	得克萨斯大学	104	美国	6
Johns Hopkins Univ	约翰·霍普金斯大学	97	美国	7
Univ N Carolina	北卡罗莱纳州立大学	92	美国	8
Univ Penn	宾夕法尼亚大学	75	美国	9
Univ Sydney	悉尼大学	74	澳大利亚	10

表 2 跨学科研究领域中国前十位发文机构——论文产量分布

机构名称	论文产量	排名	机构名称	论文产量	排名
北京航空航天大学	31	1	电子科技大学	15	6
清华大学	22	2	香港中文大学	15	7
上海交通大学	20	3	香港理工大学	14	8
香港大学	20	3	浙江大学	12	9
华中科技大学	18	5	中国科学院	12	10

2004-2013 年间在国际上发表跨学科研究论文最多的机构以高校为主,论文产量排名前十位的机构中有 8 个来自于美国的高校,华盛顿大学的发文量位居第一,哈佛大学排名第二。国内发表论文最多的是北京航空航天大学,清华大学位居第二。中国的机构未能出现在全球前十位中,说明在跨学科研究领域,中国的机

构在国际舞台上还未占有一席之地,仍有很长的路要走。

2.2 从词频看各国跨学科研究涉及的学科主题领域 跨学科研究涉及多个学科理论、方法的交叉与融合。汤森路透对 Web of Science 数据库中的每一篇文献记录都标注了一个或多个学科主题,由此我们可以判别每篇跨学科研究文献涉及到的学科领域。通过词频统计发现,2004-2013 年间发表的跨学科研究论文涉及的

学科主题词有 149 个,其中出现频次超过 500 次的学科主题词有肿瘤学(1202)、工程学(1068)、普通内科(900)、教育与教育研究(851)、计算机科学(765)、外科(721)、神经科学(669)、心理学(628)、公共环境与职业健康(570)、老年学与老年医学(532)、卫生保健学与服务(505)、环境科学与生态学(501)(注:括号中的数字表示数据样本集中学科主题词出现的频次),由此可以看出,近十年跨学科研究主要分布在肿瘤学、工程学、教育、计算机科学、社会科学等领域。通过进一步研究发现,12 个高频学科主题词在发文量排名前十位的国家都有出现。发文量排名前十位的国家发表的论文中高频学科主题词分布见表 3。

如表 3 所示,在国际上发表跨学科研究排名前十位的国家都关注肿瘤学。英国与德国在外科领域,西班牙在教育领域,美国在工程、教育、老年医学等领域表现突出。中国跨学科研究涉及的学科主要集中在工程学和计算机科学,而老年医学、保健科学与服务领域的文献记录为零。其他 9 国在 12 个领域的发文均无空白。这在一定程度上说明不同国家跨学科研究涉及的学科领域比重都有所差异,同时也反映了不同国家对不同学科领域的交叉研究各有侧重。

表 3 国际跨学科研究 TOP10 发文国家高频主题词分布

频次	USA	UK	Germany	Canada	Australia	Italy	France	Netherlands	Spain	China
Oncology	369	146	143	60	75	130	71	52	65	16
Engineering	334	64	64	40	34	41	40	37	35	165
General & Internal Medicine	335	81	118	47	62	9	22	37	21	10
Educational Research	389	50	26	43	37	9	7	14	61	20
ComputerScience	223	70	58	33	27	21	29	31	24	108
Surgery	249	99	134	29	20	34	21	26	12	6
Neurosciences & Neurology	224	55	72	41	22	36	26	37	21	6
Psychology	291	43	55	26	18	15	17	29	11	4
Public, Environmental &Occupational Health	204	52	23	58	23	17	18	31	14	2
Geriatrics & Gerontology	350	25	11	21	18	4	9	20	2	0
Health Care Sciences & Services	242	64	16	83	40	3	7	29	9	0
Environmental Sciences & Ecology	138	72	63	33	40	16	23	28	15	12

注:表 3 呈现的数据是数据集样本中词频排名前 12 的学科主题词

2.3 从共现聚类看主流研究机构的跨学科研究特色 通过上文分析可见,美国在跨学科研究方面处于领先水平,其中华盛顿大学、哈佛大学、佛罗里达大学和密歇根大学表现尤为突出。为了解近年来主流研究机构在跨学科研究领域的研究特色,我们分别就这四个机构近三年发表的跨学科研究论文建立了子数据集。借助 TDA 软件为每个子数据集构建学科主题共现矩阵,并运用 UCINET 网络分析软件(UCINET, University of California at Irvine NETwork, 是一种功能强大的社会网络分析软件,它包括大量的网络分析指标并兼具一般的统计和多元统计分析功能。)对共现矩阵进行中心度计算,最后绘制出各个机构的在跨学科研究领域的学科主题交叉网络拓扑图,如图 2、3、4、5 所示。图中每个节点表示一个学科主题,节点越大说明这个节点表示的学科主题中心度越大;节点间的连线表示连接的学科主题之间共现关系。为了使得网络拓扑图表现得更为直观,我们将学科主题共现阈值设置为 2。

图 2-5 的每个网络拓扑图都呈现出复杂程度不同的学科主题团簇,如图 2 所示,华盛顿大学涉及到的学科组成了 4 个不同复杂程度的聚类群,其中最大的



图 2 华盛顿大学跨学科研究领域学科主题交叉网络拓扑图



图 3 哈佛大学跨学科研究领域学科主题交叉网络拓扑图



图 4 佛罗里达大学跨学科研究领域学科主题交叉网络拓扑图

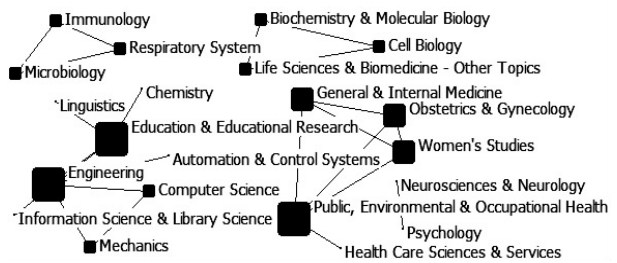


图 5 密歇根大学跨学科研究领域学科主题交叉网络拓扑图

聚类群是以内科、外科和公共环境与职业健康为主要中心节点的大型交叉网络,与这 3 个学科同时出现的有神经科学、护理、急救医学、传染病等其他 13 个学科,说明华盛顿大学跨学科研究主要集中在医学领域里各个学科之间的交叉合作研究。如图 3 所示,哈佛大学的跨学科研究也集中在医学领域,但主要涉及的是以神经科学为主,结合病理学、实验医学儿科学等其他学科进行的跨学科研究,除此之外,图中分别以运动科学与康复、教育学与心理学为中心,以工程学、社会问题及其他科学技术问题为中心的交叉网络说明哈佛大学在社会科学内部交叉及社会科学与自然科学之间的交叉研究做了较多的探索。如图 4 所示,佛罗里达大学主要关注的是社会综合性问题的研究,主要体现在以公共环境与职业健康为核心,与心理学、妇女研究、内科、卫生保健与服务等多个学科领域之间的交叉探索,还关注自然科学领域工程学、遥感科学与地球科学之间的交叉研究。如图 5 所示,密歇根大学跨学科研究的涉及的学科形成了多个密集程度较为集中的学科共现聚类群,如集中于工程学、计算机科学、力学之间的交叉研究,教育学与工程学、图书情报学、化学等之间的交叉研究,分子生物学与生物化学、细胞生物学、生命科学相关的研究,还有基于医疗卫生保健、妇女研究、产科与妇科、普通内科学等领域的交叉也做了较多的探索。综上所述,四个主流学术机构在实现资源优化配置、打造特色学科方面,都各自形成了独具特色的交叉学科研究网络,进而为探索新型交叉学科、实现下一步科技创新奠定基础。

2.4 从时间序列学科主题共现网络观察跨学科研究趋势 跨学科研究往往处于社会需要和学科发展内在逻辑的交叉点上,有着旺盛的孳生能力和众多的生长点^[8],这不仅是科技发展的客观需要,也是新兴学科诞生的基础。因此我们尝试从跨学科研究学科主题共现的角度来追踪近十年来学科交叉研究的热点,进而探索不同学科交叉研究过程中产生的新兴交叉学科生长点。CITESPACE^[9]作为文献计量学方面最先进的可视化分析工具之一,可在科学文献中识别学科分类并显示科学发展趋势,由于其默认 Web of Science 数据库文献所属学科类别的字段是 WC 字段,因此我们

借助文本编辑软件将数据样本中 WC 字段的数据替换为 SC 字段的数据,然后再导入 CiteSpace 绘制基于时间序列的跨学科研究领域前 50 位学科主题共现网络图谱,如图 6 所示。

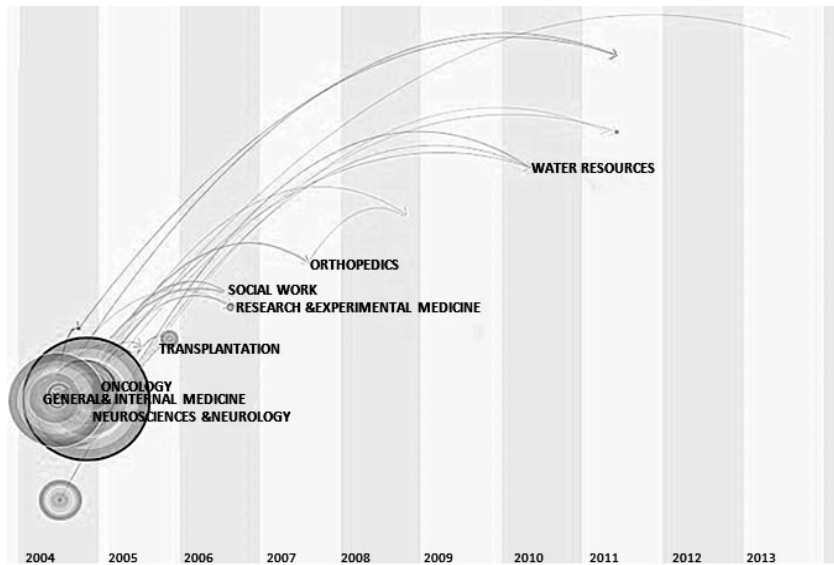


图 6 基于时间序列的跨学科研究领域前 50 位学科主题共现网络图谱

图 6 中网络节点表示学科主题,节点越大表示学科主题出现的频次越高,节点间的连线表示学科主题之间的共现关系。每个节点所在的位置即该学科主题首次进入前 50 名所在的年份。如图 6 所示大部分学科都分布在 2004 年和 2005 年,且共现频次都相对较大,说明这些学科早都开始注重与其他交叉科学的研究,这些学科主要有肿瘤学、计算机科学、工程学、外科、教育研究等学科。另外“研究和实验医学”、社会工作、整形外科、地质学、水资源、自然地质学和“生命科学与生物医学”以高频学科主题词的形式突现在 2006-2013 时间轴上,说明这几个学科领域是目前较

为关注的且别具代表性的学科领域。表 3 显示的是 2006-2013 年间新增高频学科主题词与其他学科主题词共现列表。

由表 4 可以看出,2006 年新增高频共现的学科主题词“研究和实验医学”与内科、外科、皮肤病科学、分子生物学等 12 个学科的主题词交叉共现,说明国际科学界 2006 年开始重视以实验医学为主导的内科、皮肤病科学、分子生物学等领域的医学实验研究。面对近年来有关水资源污染、水资源短缺等问题,联合国推出了“国际水合年”等一系列活动呼吁国际社会加强在水资源领域的合作,因此在国际上引发了水资源与地质学、环境科学与生态学、气象与大气科学、工程、农业科学及海洋学等学科之间的广泛讨论。此外,有关自然地理学与环境科学、生态学、遥感、计算机科学、图书情报学、城市研究等各个学科之间的交叉研究,生命科学 & 生物医学与生物学、教育、地质、人类学、天文学和天体物理学、解剖学与形态学、显微镜、遗传学、生物多样性与保护等学科之间的交叉研究已成为国际跨学科领域研究的主流之一。

新出现的高频学科主题词在一定程度上反映出跨学科研究关注的热点是以实现科技创新、解决当前社会综合性难题为依归的。对比 2004-2005 年与当年新增的学科主题词共现情况后发现,与“研究和实验医学”共现的新增学科有外科、免疫学、移植、肿瘤学、基

表 4 2006-2013 年间新增学科主题词与其他学科主题词共现列表

年份	新增高频学科主题词	共现词
2006	Research & Experimental Medicine	General & Internal Medicine、DermatologyCell Biology、Surgery *、Immunology *、Biochemistry & Molecular Biology、Transplantation *、Pathology、Oncology *、Neurosciences & Neurology、Hematology、Genetics & Heredity *
2006	Social Work	Psychology、Public、Environmental & Occupational Health *、Family Studies、Education & Educational Research *、Public Administration Social Issues *
2007	Orthopedic	Neurosciences & Neurology、Rehabilitation *、Rheumatology、Surgery、Engineering *、Nursing *
2008	Geography	Geography、Environmental Sciences & Ecology、Business & Economics、Physical Geography、Computer Science *、Education & Educational Research *、Information Science & Library Science *、Social Sciences - Other Topics、Geology *、Transportation *
2010	Water Resources	Geology *、Environmental Sciences & Ecology、Meteorology & Atmospheric Sciences、Engineering、Agriculture *、Public、Environmental & Occupational Health *、Mathematics、Oceanography
2011	Physical Geography	Geology、Geography、Environmental Sciences & Ecology、Remote Sensing *、Imaging Science & Photographic Technology *、Computer Science *、Information Science & Library Science *、Urban Studies
2013	Life Sciences & Bio-medicine	Biochemistry & Molecular Biology、Cell Biology、Education & Educational Research *、Geology、Anthropology *、Astronomy & Astrophysics、Anatomy & Morphology *、Microscopy *、Genetics & Heredity *、Biodiversity & Conservation *

注:①表 4 中各个共现词按与当年新增高频学科主题词共现次数的多少列出;②表 4 中带“*”的共现词是基于 2004-2005 年的数据选出的“新增高频共现的学科主题词”。

因与遗传学;与“社会工作”共现的新增学科有公共环境与职业健康、公共管理;与整形外科共现的新增学科有康复学、工程学及护理学;与地理学共现的新增学科有计算机科学、教育、图书情报学、地质学等;与水资源共现的新增学科有地质学、农业科学及公共、环境及职业健康;特别是近年来与自然地理学共现的新增学科遥感科学、“影像与图像技术”以及与“生命科学与生物医学”共现的新增学科有人类学、生物多样性保护等。这些新增的学科共现词组一方面体现了学科交叉研究的初创性,同时也能突出这个时代研究的需求,因此这些学科交叉词组都是我们探索新型交叉学科的重要依据。

3 结 语

本文以 Web of Science 数据库的跨学科研究文献为数据来源,对统计范围内的 13 442 篇文献进行了计量分析,研究结论如下:跨学科研究论文产量呈逐年上升的趋势,且主要分布在美国、英国、德国等北美及欧洲国家,中国跨学科研究论文产量位居第十位;跨学科研究机构分布以美国高校为主;通过对学科主题词频统计发现,近十年跨学科研究涉及的学科领域主要分布在肿瘤学、工程学、教育、计算机科学、社会科学等领域,且不同国家跨学科研究涉及的学科领域覆盖面与侧重点都有所差异,其中美国涉及的学科领域最为广泛,中国偏向计算机科学和工程学领域;通过对四个主流跨学科研究机构发表的论文构建的跨学科研究领域学科主题交叉网络拓扑图发现,各机构关注的学科交叉领域各具特色,或多或少都涉及到医学、卫生保健方面的研究,但面向的学科各有不同;最后我们结合时间序列分析、共词网络分析,发现跨学科领域的研究热点主要集中在肿瘤学、计算机科学、工程学、外科、教育研究等学科,同时“研究和实验医学”、整形外科、水科学、地质学、“生命科学与生物医学”作为近几年来才备受关注的跨学科研究热点,可作为探索新兴交叉学科生长点的重要基础。

标题中含有我们所列的几个检索词的论文并非跨

学科研究论文的全部,但是这个集合应能反映跨学科研究的大致图景。今后,还可以采取其他方式遴选跨学科研究论文,例如,以定义为“跨学科期刊”的期刊上的全部论文为样本,进行类似的分析或更深入的分析。

参 考 文 献

- [1] 王 昊,苏新宁.基于 CSSCI 本体的学科关联分析[J].现代图书情报技术,2010(10):10-16.
- [2] 杨建林,孙明军.利用引文索引数据挖掘学科交叉信息[J].情报学报,2005,23(6):672-676.
- [3] 魏建香,孙越泓,苏新宁.基于聚类分析的学科交叉研究[J].情报学报,2010,29(6):1066-1073.
- [4] 刘则渊,陈 悦,侯海燕,等.科学知识图谱方法与应用[M].北京:人民出版社,2008:274-275.
- [5] 全国哲学社会科学规划办公室.跨学科研究项目的可行性分析[EB/OL].[2012-05-01].http://www.icsszju.net/show_hdr.php?xname=07K2911&dname=F9KER71&xpos=5.htm.
- [6] 马费成,望俊成,陈金霞,等.我国数字信息资源研究的热点领域:共词分析透视[J].情报理论与实践,2007,30(4):438-443.
- [7] 谢彩霞.对科学合作促进科学跨学科发展的计量分析[J].科技进步与对策,2007,24(8):171-174.
- [8] 杨良斌,周秋菊,金碧辉.基于文献计量的跨学科测度及实证研究[J].图书情报工作,2009,53(10):87-80.
- [9] 陈超美,陈 悦.CiteSpace II:科学文献中新趋势与新动态的识别与可视化[J].情报学报,2009(3):401-421.
- [10] 庞 杰,刘则渊,姜春林.基于学科主题共现的国际能源期刊分类与知识结构研究[J].科学与科学技术管理,2010,31(9):15-20.
- [11] Hou H, Kretschmer H, Liu Z. The Structure of Scientific Collaboration Networks in Scientometrics[J]. Scientometrics, 2008, 75(2):189-202.
- [12] 田瑞强,潘云涛,姚长青.情报学代表性学术机构研究焦点比较分析[J].情报杂志,2013,32(2):12-19.
- [13] 李春景,徐 飞.现代科学学科发展的聚散共生规律研究——以环境科学体系的建构为例[J].科技导报,2004,2(4):21-24.
- [14] 刘 霓.跨学科研究的发展与实践[J].国外社会科学,2008(1):46-55.

(责编:刘影梅)