李宁,刘丽,张正涛,等.气候变化经济影响研究热点的足迹可视化:整合被引文献和突现词[J].地球科学进展,2018,33(8):865-873.DOI:10.11867/j.issn.1001-8166.2018.08.0865.[Li Ning, Liu Li, Zhang Zhengtao, et al. Visualization of climate change and economic research hotspots:Integrating cited references and burst keywords[J]. Advances in Earth Science,2018,33(8):865-873.DOI:10.11867/j.issn.1001-8166.2018.08.0865.]

气候变化经济影响研究热点的足迹可视化:整合被引文献和突现词*

李　宁,刘　丽,张正涛,冯介玲,陈　曦,白　扣
(1. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室,北京师范大学,北京　100875;
2. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院,北京师范大学,北京　100875)

摘　要:气候变化经济影响的研究受到各国政府与学者的广泛关注,是国内外的研究热点。以 Web of Science 核心数据库中检索的 14 796 篇与气候变化经济影响相关的文献为基础,整合文献共被引网络和突现词共现网络,对气候变化经济影响研究热点的足迹进行可视化分析。研究结果显示,文献数量整体上呈现指数上升趋势。时间上,研究热点在 2007 年以前,主要集中在气候变化的归因分析(化石燃料、土地利用变化等造成的 CO_2 排放增多),对自然生态系统(农业产量、粮食安全、北极冰盖、海岸带等)和社会经济系统(人类健康、能源、工业等)的影响及经济影响评估,演变到对未来气候变化情景、CO_2 的减排及应对和减缓气候变化等的关注。2007 年以后随着 IPCC 第四次评估报告及斯特恩报告的发布,进一步加强了气候变化影响的成本效益评估、脆弱性及生物能源等方面的研究,热点聚焦气候变化经济学及经济贸易。空间上,研究热点的发文主要来自于美国、加拿大、西欧(英国、法国、德国、意大利、荷兰等)、澳大利亚和中国等国家。

关　键　词:气候变化;经济影响;研究热点;时空变化足迹;可视化
中图分类号:P467　　**文献标志码:** A　　**文章编号:**1001-8166(2018)08-0865-09

1　引　言

气候是人类赖以生存的自然环境,也是经济社会可持续发展的重要资源。政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第一次评估报告(First Assessment Report, FAR)第二工作组(Working Group II, WGII)指出,气候变化已经对自然生态系统和社会经济系统产生了重要影响[1]。

随着气候变化带来的经济影响加剧,多数学者开始采用经济学方法对减排的成本与温室气体排放增加的损失成本进行定量评估,以寻找适应和减缓气候变化的有效途径[2~4]。还有部分学者关注经济发展对气候变化影响,表现在工业化的发展[5]、土地利用的改变[6]和经济贸易[7]等方面。气候变化经济影响的研究逐渐走向成熟,受到各国政府与学者的广泛关注。

然而,研究热点的足迹动态往往分散在不同学者的论文中,侧重于研究者本身某一方面的动态追踪,全面描述整体变化过程的研究不多。更鲜有学者全面系统地梳理气候变化经济影响研究热点的动态发展轨迹及区域分布,并以可视化的形式展示出

收稿日期:2017-12-15;**修回日期:**2018-05-29.
* **基金项目:**国家重点研发计划重点专项课题"全球变化人口与经济系统风险评估模型与模式研究"(编号:2016YFA0602403);国家自然科学基金项目"沙尘暴重现期被估计偏长问题的理论与方法研究"(编号:41775103);资助.
作者简介:李宁(1958-),女,江苏镇江人,教授,主要从事自然灾害及风险管理研究.**E-mail:**ningli@bnu.edu.cn

来。这种足迹表现不够清晰的现状不利于对该领域现有研究成果的整体掌握及后续研究的进一步开展。

面对如何综合已有研究成果、详细回答全球研究热点的整体发展足迹的问题,本文充分发挥 Web of Science(http://apps.webofknowledge.com, WoS)基础文献数据库的功能(该数据库收录了 10 000 多种世界权威的、高影响力的学术期刊,是公众跟踪多年的研究发展趋势、了解学术动态的基础),搜索到 1970—2016 年发表的与气候变化经济影响相关的基础文献 14 796 篇。并结合可视化工具 CiteSpace,以高被引文献、突现词为跟踪指标,通过文献共被引和突现词共现网络图谱,对研究热点的时间演变趋势和空间分布特征进行定量可视化解析,探讨研究热点的整体发展足迹,以期为今后气候变化经济影响研究提供参考方向。

2 研究方法与数据来源

本文应用 CiteSpace 软件,基于共被引分析理论(Co-citation)和寻经网络算法(Pathfinder)、最小生成树(Minimum spanning)等修剪图谱的数学方法,融合聚类分析、社会网络分析,借鉴数据挖掘、信息处理、图形绘制等计算机技术[8],以被引文献、突现词为信息基础,通过文献共被引和突现词共现网络图谱分析,实现气候变化与经济关联影响研究热点的足迹可视化。该软件目前已经在管理学[9]、经济地理学[10]、岩溶学[11]、灾害学[12]等多个学科领域得到广泛应用。

本文以“climate change”和“climate change economic”为关键词,剔除与研究主题不相关的文献,最后检索到 WoS 核心数据库 1970—2016 年发表的与气候变化和经济相关的文献 14 796 篇,截止时间为 2016 年 11 月。每篇文献的记录内容包括题目、作者、机构、摘要、关键词、发表年份、期(卷)及参考文献等。

从文献年度分布图上看(图 1),文献数量整体上呈指数上升趋势,并表现出明显的 3 个阶段差异。第一阶段(1970—1994 年):1990 年 IPCC 第一次评估报告发布,指出了全球变暖的不争事实,并认为气候变化对人类经济活动和环境有影响[1]。同时,1992 年,地球首脑会议达成的《联合国气候变化框架公约》,将气候变化问题上升到政治高度,促进了气候变化领域相关研究工作的开展,文献数量开始增多。第二阶段(1995—2006 年):1995 年,IPCC 第二次评估报告(Second Assessment Report, SAR)将气候变化的社会经济影响确定为主题[13];1997 年,世界气候大会通过的《京都议定书》,推动气候变化与经济的交叉研究,文献数量平稳上升。第三阶段(2007—2016 年):2007 年 IPCC 第四次评估报告(Fourth Assessment Report,AR4)出台,指出气候

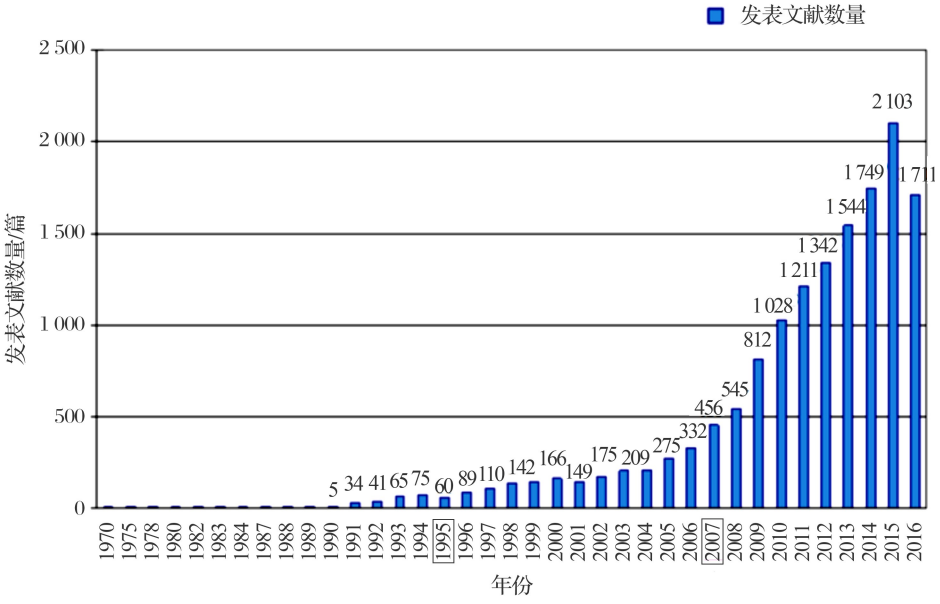

图 1 1970—2016 年气候变化经济影响研究的文献数量年度分布图

Fig.1 Annual distribution of literatures on the climate change and economic impact from 1970 to 2016

变化归因于人类活动(置信度达 90%以上),并预估了未来气候变化对各系统、部门和区域的影响[14]。此阶段,文献数量上升速度明显加快,由 456 篇上升到 2 103 篇,气候变化与经济相关研究成为热潮。

3　研究热点的足迹

一定时间内出现频次较高且具有内在联系的一组论文所共同探讨的科学问题,被定义为研究热点。在 Citespace 软件中,通常可以通过被引文献和突现词等体现出来。本节研究热点的可视化结果,一是通过对文献共被引网络图谱显示的高频次被引文献的聚类分析,得到聚类词汇标签指示的研究热点时间演变足迹;二是通过对突现词共现网络图谱显示的高频次突现关键词的聚类分析,得到聚类词汇标签指示的研究热点的空间分布足迹[9,15]。

3.1　高频次被引文献显示的研究热点的时间演变足迹

3.1.1　1970—2016 年研究热点的时间演变足迹

被引文献是指在论文中需要用其他文献中的内容来佐证作者的观点时所引用的文献。共被引文献是指与本文同时作为参考文献引用的文献。

为了可视化效果最佳,本文提取 1970—2016 年每 2 年被引频次最多的 30 篇文献,聚类生成共被引网络图谱(图 2)。通过可视化网络图谱分析不仅能够揭示研究热点的时间演变足迹,还能清晰显示研究热点的发展速度。

图 2 中,圆点表示被引文献,点越大,该文献被引频次越高,文章影响力越大;圆点颜色由浅绿色过渡到橘红色反映了被引文献出现时间由早到晚;黑色文字表示被引文献作者名称(出版年代);每一个不规则黄色多边形表示从高被引文献中聚类出的研究热点,当多边形中的圆点数量越多,生成的聚类标签码(#)数字越小,在整个研究热点中影响力越大;红色文字表示聚类标签码和热点名称。

(1)起始阶段(1970—1994 年):浅绿色圆点普遍较小,且数量较少,表明气候变化与经济关联影响研究发展速度缓慢。研究热点主要集中在气候变化经济学(#0)、与气候变化相关的农业(#5)、CO_2 的排放(#9)和北极冰盖(#11)等主题上(图 2,表 1)。其中,IPCC 第一次评估报告第一工作组(Working

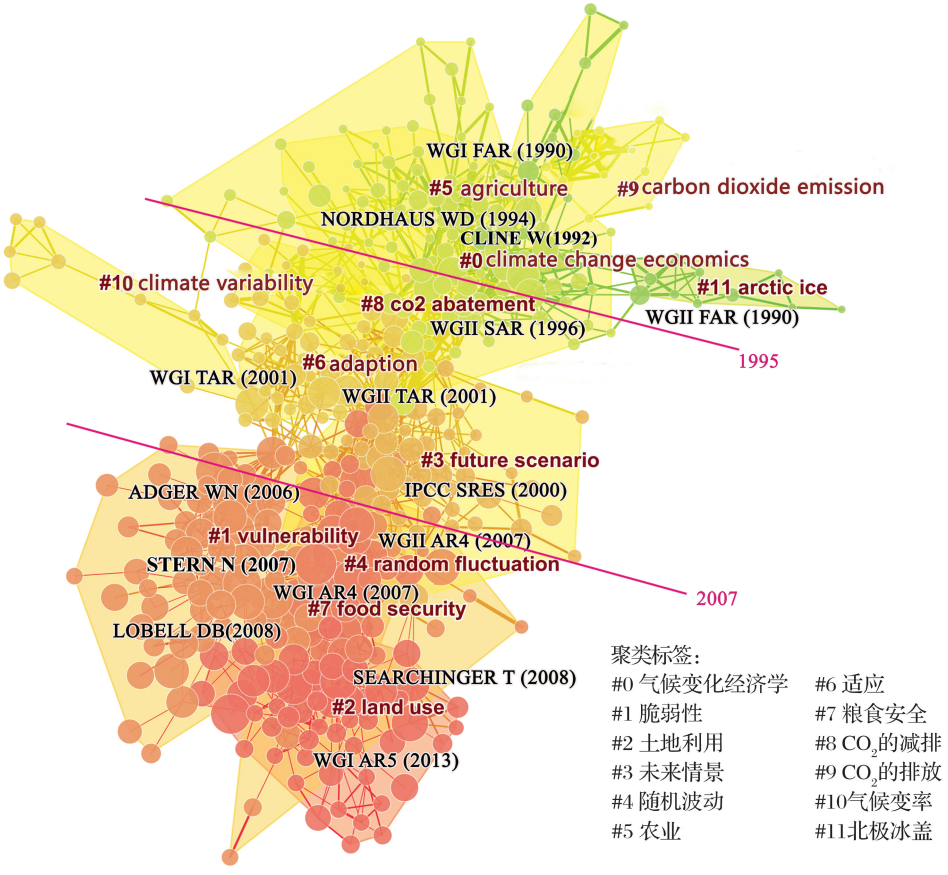

图 2　高频次被引文献显示的研究热点时间演变足迹(1970—2016 年)

Fig.2　Temporal trends of research hotspots showed by high frequency cited references from 1970 to 2016

表 1 1970—2016 年高频次被引的文献及相关信息列表

Table 1 List of high frequency cited references and related information from 1970 to 2016

研究热点	文献名	作者	发表时间	被引频次
#0 气候变化经济学	The Economics of Global Warming	Cline W R	1992	61
	Rolling the DICE: An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases	Nordhaus W D	1993	47
#9 CO_2 排放	Climate Change 1990: The IPCC Scientific Assessment. Contribution of Working Group I to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Houghton J H 等	1990	42
#5 农业 #11 北极冰盖	Climate Change 1990: The IPCC Impacts Assessment. Contribution of Working Group II to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	McG Tegart W J 等	1990	32
#6 适应 #8 CO_2 减排	Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Watson R T 等	1996	35
	Climate change 2001: Impacts, Adaptations and Mitigation. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Mccarthy J J 等	2001	84
#10 气候变率	Climate change 2001: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Houghton J H 等	2001	78
#3 未来情景预估	Special Report on Emissions Scenarios (SRES), A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Nakicenovic N 等	2000	102
#1 脆弱性	Vulnerability	Adger W N	2006	97
	Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Parry M L 等	2007	150
#7 粮食安全 #4 随机波动	The Economics of Climate Change: The Stern Review	Stern N	2007	256
	Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030	Lobell D B 等	2008	104
#2 土地利用 #1 脆弱性	Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Solomon S 等	2007	308
	Use of US Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-use Change	Searchinger T 等	2008	123
	Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change	Stocker T F 等	2013	88

Group I, WGI)指出了人类活动排放到大气中的温室气体浓度增加,CO_2 的贡献率达一半以上[16]。IPCC 第一次评估报告第二工作组的结果显示气候变化对自然生态系统(如农业、季节性雪盖和永冻层、海洋和海岸带)和社会经济系统(能源和工业、人类健康)产生重要影响[1]。1992 年,Cline[2] 首次运用经济学的成本收益模型评估气候变化带来的影响,与经济学科的交叉使气候变化影响评估走向定量化,该阶段论文被引频次最高(61 次),对应的气候变化经济学热点关注度最高。1993 年,Nordhaus[3] 以 Ramsey 经济增长模型为基础,构建了 DICE(Dynamic Integrated Climate Economy)模型,估计了减缓气候变化最有效路径。

(2)过渡阶段(1995—2006 年):淡黄色圆点较大,且数量较多,此阶段发展速度加快。研究热点主要集中在与气候变化相关的未来情景预估(#3)、适应(#6)、CO_2 减排(#8)及气候变率问题等主题(#10)上(图 2,表 1)。在 IPCC 第一次评估报告第一工作组研究工作基础上,IPCC 第三次评估报告(Third Assessment Report, TAR)第一工作组指出气候变化是气候系统内部变率和外部因子的共同作用,气候系统内部变率(如太阳活动、火山活动)对温度变化影响较小,大部分可归结于人类活动[17]。面对气候变化带来影响的加剧,IPCC 第二次和第三次评估报告第二工作组提出适应和减缓气候变化的措施。适应措施包括:总结过去适应气候变率或极端气候事件的经验,用来制定适应未来气候变化的适宜战略,如减少资源压力、改进环境风险管理等[18]。减缓气候变化的措施包括:主要是 CO_2 的减排问题,如能源、工业过程和人类居住排放的减少,

发挥农业、草场和森林的碳汇作用,政策支持等[13,18]。此外,IPCC 排放情景特别报告(Special Report on Emissions Scenarios, SRES)根据人口、经济增长、土地利用、技术变化、能源情况和燃料的混合使用等假设,提出了未来碳排放的 6 个情景[19],促使《联合国气候变化框架公约》谈判确立了适应和减缓气候变化 2 个议题,该阶段论文被引频次最高(102 次),对应的气候变化未来情景热点关注度最高。

(3)最新阶段(2007—2016 年):橘红色圆点普遍较淡黄色圆点大,且数量激增,此阶段发展速度迅猛。研究热点主要集中在与气候变化相关的脆弱性(#1)、土地利用(#2)和随机波动的不确定性(#4)、粮食安全(#7)等主题上(图 2,表 1)。在脆弱性研究上,Adger[20] 回顾了易受环境变化影响的传统脆弱性研究及未来脆弱性、恢复力和适应性领域相结合带来的挑战。以 Parry 等[21] 为代表的 IPCC 第四次评估报告第二工作组指出,未来气候变化带来的粮食不安全、贫困和资源获取的不公平、气候灾害等,会进一步加剧气候变化的脆弱性。此外,还有学者对气候变化带来的影响,尤其是粮食安全问题进行评估,具有不确定性。2007 年,Stern[4] 指出气候变化可能导致非洲数以亿计的人失去生产或购买足够食物的能力。2008 年,Lobell 等[22] 对 2030 年全球 12 个粮食不安全地区的作物进行气候风险分析,结果显示,南亚和南非如果没有充分的适应措施,可能对几种大型粮食作物产生负面影响。近年来,土地利用变化带来的气候变化问题得到新的关注。Searchinger 等[6] 利用全球农业模型分析土地利用的改变对气候变化的影响,发现全球玉米乙醇燃料的增加,会导致温室气体的排放量增加。此外,IPCC 第四次和第五次评估报告(Fifth Assessment Report, AR5)的第一工作组也指出,1750 年以来,人类经济活动(如化石燃料使用、土地利用变化等)使大气 CO_2 浓度明显增加(高可信度),这将进一步加剧气候变化的脆弱性与敏感性[23,24]。

综上,研究热点的时间演变足迹表现为:2007 年之前主要集中在气候变化的归因分析(CO_2 排放增多)及对自然生态系统(农业、冰盖等)和社会经济系统的影响,并使用经济学的成本效益方法对其进行评估等主题上,演变到未来气候变化情景、CO_2 的减排和应对以及减缓气候变化措施。2007 年之后,不仅关注气候变化的归因分析(化石燃料使用、土地利用等)和影响(粮食安全等)研究,也加强了气候变化脆弱性及不确定分析等,并将经济学方法进一步应用到气候变化影响评估中。

3.1.2　2007 年之后研究热点的时间演变足迹

图 1 结果显示,2007 年随着 IPCC 第四次评估报告和斯特恩报告出现之后,文献数量激增。本节进一步利用高频次被引文献建立可视化图谱,关注 2007 年之后研究热点时间演变足迹。

在图 3 中,横轴代表时间(年),纵轴代表研究热点排序(#黑色文字);圆点表示被引文献,点越大,该文献被引频次越高,由内向外颜色变化反映了该时间段内文献被引频次的时间变化,颜色变化越多,被引时间越长,文章影响力越大;其中,具有紫色环的较大圆点具有更重要的价值。连线表示共被引关系;圆点按照时间顺序排列并与不同的彩色线连接,反映了被引文献及共被引关系出现时间的早晚,由蓝色过渡到橘红色反映了时间由早到晚。每一个横轴上的被引文献反映的是同一研究热点。

图 3 显示,研究热点主要集中在气候变化经济学(#3)、与气候变化相关的经济贸易(#7)、生物能源(#1)、脆弱性(#0)等主题上。在气候变化经济学(#3)上,其对应的文献是 2007 年以 Solomon 为代表的 IPCC 第四次评估报告第一工作组,该文献圆点最大,被引频次最高(308 次),且圆点颜色由中心的青到外围的桔黄色,引用时间很长,文章影响力大,在整个文献中占重要地位。同时,在 2013 年又出现被引高峰(77 次),其对应的被引文献 WGI AR5。2 次报告都指出,由于经济快速发展带来需求与资源、能源矛盾日益突出,化石燃料的排放和土地利用变化导致的 CO_2 排放相对于工业化前增加约 40%[23,24]。此外,该研究热点所对应的 2007 年出版的 Stern[4] 的报告,使用预测气候变化经济影响的综合评估模型,预测 22 世纪初温室气体造成的全球损失占 GDP 的 5%~20%。近年来,经济贸易(#7)也成为最新研究热点之一。其对应的文献 WGI AR5[24] 指出经济和贸易快速发展带来碳排放的增加(被引 88 次),且有相关研究表明,贸易活动将碳排放污染由从发达国家转移到欠发达国家[7,25]。此外,IPCC 第五次评估报告第二工作组[26] 也指出气候变化给全球的经济贸易带来一定影响。可见,气候变化经济学与经济贸易成为最聚焦的研究热点。

3.2　高频次突现词显示的研究热点的空间分布足迹

关键词是论文主题的精炼表达,能够表达出该文章的核心观点,其与正文的关联性一定程度上可以揭示学科领域中知识的内在联系,突现词是指关

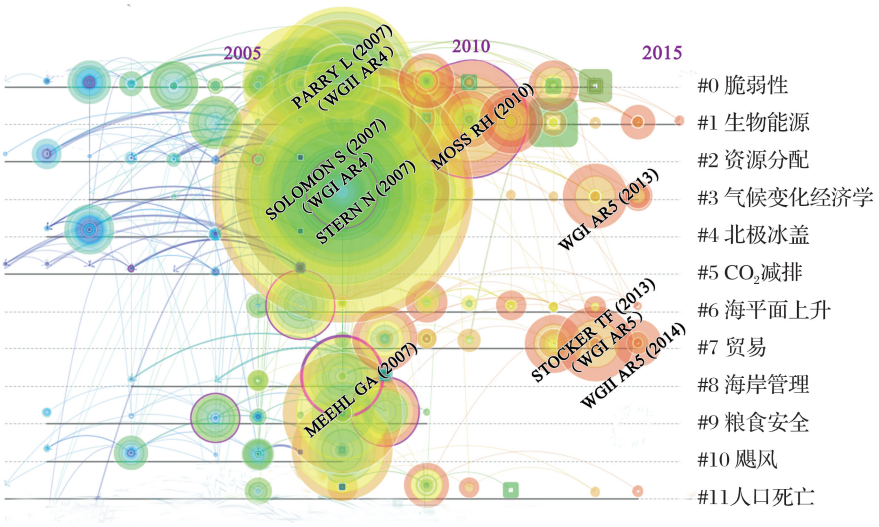

图 3 高频次被引文献显示的 2007 年之后研究热点的时间演变足迹

Fig.3 Temporal trends of research hotspots showed by high frequency cited references after 2007

键词共现频次变化率高的词[27]。

为了可视化效果最佳,本文提取 1970—2016 年每年发表文献数量最多的 50 个国家,并从文献关键词中抽取突现词 561 个,聚类生成突现词共现网络图谱(图 4)。通过可视化网络图谱分析,寻找高频出现的突现词,揭示研究热点的空间分布足迹,并清晰显示研究热点与国家间的联系。

图 4 中,红圆点表示突现词高频出现的国家,名称用黑色文字表示;浅绿色正方形表示突现词共现频次,正方形越大,贡献频次越多;每一个不规则黄色多边形表示从突现词中聚类出的研究热点,用红色文字表示聚类标签码和热点名称;红圆点与不规则黄色多边形中绿色正方形之间连线,表示该国学者所研究的热点。

该网络图谱比较直观地展示了研究热点的空间分布足迹。其中,最热的研究是气候变化(#0)及风

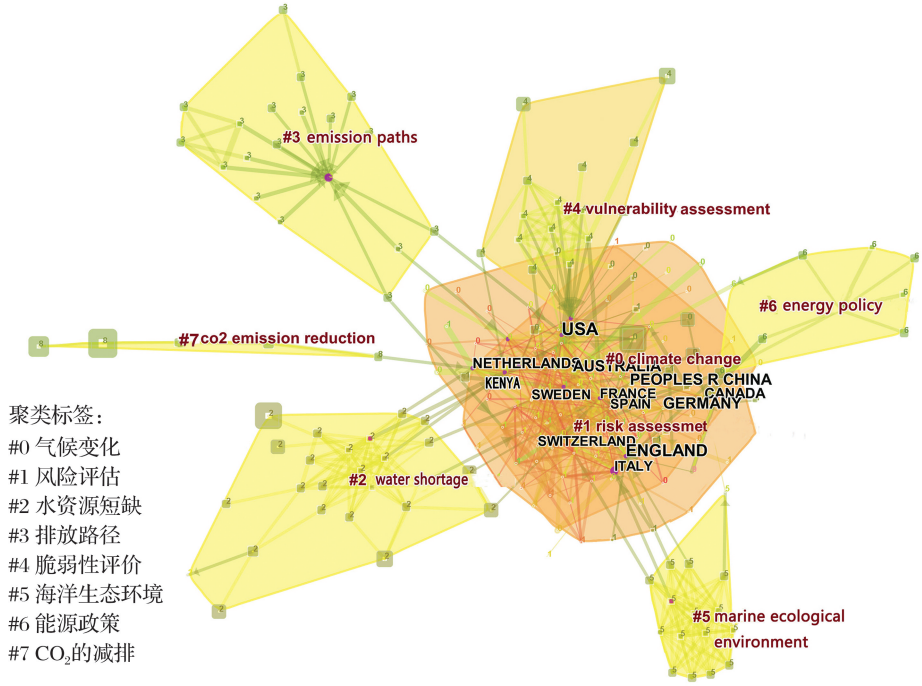

图 4 高频次突现词显示的研究热点空间分布足迹(1970—2016 年)

Fig.4 Spatial distribution of research hotspots showed by high frequency burst keywords from 1970 to 2016

险评估(#1),发文主要分布在美国、加拿大、英国、法国、德国、意大利、荷兰、澳大利亚、中国等国家,与发表文献数量靠前的国家相一致。而且,美国也是关注气候变化的碳排放路径问题(#3)和脆弱性评估(#4)等主题较多的国家,英国和意大利也注重海洋生态环境(#5)等问题,中国、加拿大等国也关注能源政策(#6),荷兰关注 CO_2 减排(#7),肯尼亚关注水资源短缺(#2)等问题。

表 2 显示,中国在气候变化经济影响领域的发文数量位居世界第 4,且相关研究表明,中国发文数量呈明显上升趋势,尤其是 2005 年之后,增速快于美国、英国、德国发达国家,在气候变化经济影响领域具有越来越重要的地位[28]。图 4 显示,中国关注的研究热点主要集中在气候变化(#0)及风险评估(#1)上,且 IPCC 评估报告作为国际社会参与气候变化评估的重要平台,在本研究中是反映热点的核心文献。因此,IPCC 评估报告的学者参与情况也在一定程度上反映出各国在该领域的发展水平。

表 2　世界主要发达国家在气候变化经济影响领域的发文数量

Table 2　The major developed countries´ number of publications on climate change and economic impact

国家	发文数量/篇	国家	发文数量/篇	国家	发文数量/篇
美国	4 152	加拿大	923	瑞士	433
英国	1 862	荷兰	812	瑞典	422
澳大利亚	1 360	法国	634	印度	368
中国	1 348	意大利	628	奥地利	330
德国	1 235	西班牙	592	日本	321

在历次 IPCC 评估报告中,中国专家数量由第一次评估报告的 15 人增加到第五次评估报告的 60 人,尤其是主要作者的数量增加趋势明显[29]。在第一次评估报告第一工作组中,中国学者丁一汇成为联合主席,首次实现零的突破;在之后的第四次和第五次评估报告第一工作组中,中国学者秦大河担任 2 届联合主席,此外,秦大河还参与了 IPCC 特别报告《管理极端事件和灾害风险以推进气候变化适应》的撰写,这都在一定程度上体现了国际学者对中国在气候变化经济影响方面研究的认可,扩大了中国在该领域的影响力。但与美国相比,中国的发文数量仍处于弱势,相关研究还显示,中国参与 IPCC 评估报告的专家数量与美国存在较大差距,尤其是在作者召集人和贡献作者上[29]。通过中国学者参与 IPCC 评估报告的情况发现,中国学者的研究主要集中在气候变化的自然科学层面,即气候系统变化的观测、模拟及归因分析等方面,在气候变化影响、适应、经济和社会等方面仍需扩大影响力。

4　结　论

通过可视化结果分析得到以下结论。

(1)1970—2016 年全球气候变化经济影响研究的文献数量随时间呈指数上升趋势,2007 年以后的增速明显加快。研究热点足迹由 2007 年以前主要集中在气候变化的归因分析及对自然生态系统和社会经济系统的影响,并使用经济学的成本效益方法对其进行评估等主题上,逐渐向未来气候变化情景、如何应对和减缓气候变化等的关注演变。2007 年以后随着 IPCC 第四次评估报告及斯特恩报告的出台,研究热点不仅关注气候变化的归因分析和影响研究,也加强了气候变化经济影响评估、脆弱性及生物能源等,聚焦气候变化经济学及经济贸易。

(2)研究热点的发文主要来自美国、加拿大、西欧国家(英国、法国、德国、意大利、荷兰等国)、澳大利亚和中国等国家。其中,美国对气候变化的碳排放路径问题和脆弱性评估关注较多,英国和意大利也注重海洋生态环境,中国、加拿大、荷兰、肯尼亚也更关注能源政策、CO_2 减排、水资源短缺等问题。

(3)中国在气候变化经济影响研究方面取得了巨大进步,发文数量位居世界第 4,研究热点主要集中在气候变化和风险评估上,紧跟国际研究的热潮。但中国学者的研究主要表现在气候变化的自然科学层面,即气候系统变化的观测、模拟及归因分析等方面,在气候变化影响、适应、经济和社会等方面仍需扩大影响力。

(4)网络可视化分析具有充分整合 WoS 数据的功能。期望本文的研究结果有助于中国学者借鉴这些研究热点的综合变化特点,开展进一步目标更明确的创新与技术进步的研究。此外,本文对气候变化经济影响的可视化分析,主要基于 WoS 数据库的基础文献,但是对于中国而言,中国科学引文数据库(Chinese Science Citation Database, CSCD)也发表了大量关于气候变化与经济影响相关的文献。因此,在未来工作中,会考虑发挥 CSCD 基础文献数据库的功能,对中国学者在气候变化经济影响方面的研究进行进一步可视化分析。

参考文献(References):

[1]　McG Tegart W J, Sheldon G W, Griffiths D C. Climate Change:

The IPCC Impacts Assessment. Contribution of Working Group II to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chang[M]. Camberra: Australian Government Publishing Service, 1990.

[2] Cline W. The Economics of Global Warming[M]. Washington: Institute for International Economics, 1992.

[3] Nordhaus W D. Rolling the DICE: An optimal transition path for controlling greenhouse gases[J]. *Resource and Energy Economics*, 1993, 15(1): 27-50.

[4] Stern N. The Economics of Climate Change: The Stern Review [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[5] Meng J, Liu J F, Xu Y, *et al*. Globalization and pollution teleconnecting local primary $PM_{2.5}$ emissions to global consumption [J]. *Proceedings Mathematical Physical & Engineerin*, 2016, 472 (2 195):1-17.

[6] Searchinger T, Heimlich R, Houghton R A, *et al*. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change[J]. *Science*, 2008, 319(5 867): 1 238-1 240.

[7] Oita A, Malik A, Kanemoto K, *et al*. Substantial nitrogen pollution embedded in international trade [J]. *Nature Geoscience*, 2016, 9(2): 111-115.

[8] Chen Yue, Chen Chaomei, Liu Zeyuan, *et al*. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253.[陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.]

[9] Hou Jianhua. Visual Analysis of Evolution and Research Fronts of Business Management[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009.[侯剑华. 工商管理学科演进与前沿热点的可视化分析[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.]

[10] Fan Shuaibang, Guo Qi, He Canfei. A review of policy analysis in economic geography based on CiteSpace II[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(5): 15-24.[范帅邦, 郭琪, 贺灿飞. 西方经济地理学的政策研究综述——基于 CiteSpace 的知识图谱分析[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 15-24.]

[11] Li Qiang. Research hotspots of karst in 2016 based on bibliometrics analysis[J]. *Advances in Earth Science*, 2017, 32(5): 535-545.[李强. 基于文献计量学分析 2016 年度岩溶学研究热点[J]. 地球科学进展, 2017, 32(5): 535-545.]

[12] Zhang Yan, He Aiping, Zhao Renjie. Biliometric analysis on the status and trends of disaster economy research in China[J]. *Journal of Catastrophology*, 2016, 31(4): 150-156.[张艳, 何爱平, 赵仁杰. 我国灾害经济研究现状特征与发展趋势的文献计量分析[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 150-156.]

[13] Watson R T, Zinyowera M Z, Moss R H. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses: Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chang[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

[14] Core Writing Team, Pachauri R K, Reisinger A, *et al*. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Geneva, Switzerland, 2007.

[15] Chen C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 2006, 57 (3): 359-377.

[16] Houghton J H, Jenkins G J, Epheaums J J. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment: Contribution of Working Group I to the First Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chang[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

[17] Houghton J H, Ding Y, Griggs D J, *et al*. Climate Change 2001: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

[18] Mccarthy J J, Canziani O F, Leary N A, *et al*. Climate change 2001: Impacts, Adaptations and Mitigation: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

[19] Nakicenovic N, Alcamo J, Grubler A, *et al*. Special Report on Emissions Scenarios (SRES), A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

[20] Adger W N. Vulnerability[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 268-281.

[21] Parry M, Canziani O, Palutikof J, *et al*. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chang[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[22] Lobell D B, Burke M B, Tebaldi C, *et al*. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030[J]. *Science*, 2008, 319(5 863): 607-610.

[23] Solomon S, Qin D H, Manning M, *et al*. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[24] Stocker T F, Qin D H, Plattner G K, *et al*. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[25] Lin J T, Tong D, Davis S, *et al*. Global climate forcing of aerosols embodied in international trade[J]. *Nature Geoscience*, 2016, 9(10): 790-794.

[26] Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, *et al*. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the In-

tergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

[27] Qin Xiaonan, Lu Xiaoli, Wu Chunyou. The knowledge mapping of domestic ecological security research: Bibliometric analysis based on Citespace[J].*Acta Ecologica Sinica*, 2014,34(13): 3 693-3 702.[秦晓楠, 卢小丽, 武春友. 国内生态安全研究知识图谱——基于 CiteSpace 的计量分析[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3 693-3 702.]

[28] Liu Li, Li Ning, Zhang Zhengtao, *et al*. Bibliometric analysis of scientific publications in climate change and economic research between china and major developed countries based on the index of publications relative output and impact[J]. *Climate Change Research*, 2018, 14 (3): 325-330.[刘丽, 李宁, 张正涛, 等. 中国与主要发达国家对气候变化与经济领域科研论文贡献的文献计量分析——基于论文相对产出与影响指标[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(3): 325-330.]

[29] Xiao Lanlan. The IPCC assessment process: China´s participation, impacts, and follow-up measures[J]. *Global Review*, 2016, 8(2): 59-77,154.[肖兰兰.中国对 IPCC 评估报告的参与、影响及后续作为[J]. 国际展望, 2016, 8(2): 59-77, 154.]

Visualization of Climate Change and Economic Research Hotspots: Integrating Cited References and Burst Keywords*

Li Ning, Liu Li, Zhang Zhengtao, Feng Jieling, Chen Xi, Bai Kou

(1.*Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster*, *Ministry of Education*, *Beijing Normal University*, *Beijing* 100875, *China*; 2.*Academy of Disaster Reduction and Emergency Management*, *Ministry of Civil Affairs and Ministry of Education*, *Beijing Normal University*, *Beijing* 100875, *China*)

Abstract: The study of the economic impact of climate change has received extensive attention from governments and scholars around the world. This paper based on 14 796 literatures that related to climate change and economic from the core database of Web of Science. Integrating the method of co-citation network and burst keywords co-occurrence network to analyze the temporal and spatial changes of research hotspots on climate change and economic impact. The results show that the global literature´s number keep a exponential growth trend, rapidly after 2007. Before 2007, the research hotspots primarily centered on the climate change attribution analysis (increased CO_2 emissions from fossil fuels, land use changes, *etc.*), the impact on natural ecosystems (agricultural production, food security, Arctic ice caps, coastal zones, *etc.*) and socio-economic System (human health, energy, industry, *etc.*), and the assessment of economic impac and then focused on the future scenarios of climate change and CO_2 abatement and how to adapt and mitigate the climate change. After 2007, with the introduction of IPCC AR4 and Stern report, further strengthened the research on cost-effective assessment of climate change impact, vulnerability, bioenergy and so on. The research hotspots focus on economics of climate change and trade. In space, the literatures of research hotspots were mainly come from the United States, Canada, Western European countries (UK, France, Germany, Italy, Netherlands), Australia and China.

Key words: Climate change; Economic impact; Research hotspots; Temporal-spatial changes; Visualization analysis.

* **Fundation item**: Project supported by the National Key R & D Program of China-Global Change and Mitigation Project "Global change risk of population and economic system: Mechanism and assessment"(No.2016YFA0602403); The National Natural Science Foundation of China "Research on the theory and method of the return period of dust storms is estimated to be longer"(No.41775103).

First author: Li Ning(1958-), female, Zhenjiang City, Jiangsu Province, Professor. Research areas include natural disaster and risk management research. **E-mail**: ningli@bnu.edu.cn