

知识图谱视角下近十年气候变化经济影响研究进展和前沿

宋玉¹ 潘志华¹ 龙步菊¹ 伦飞² 黄娜¹ 王琦¹ 杨英达¹ 葛禹铭¹ 葛伊娟¹

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193)

摘要: 基于Web of Science (WOS) 核心合集中2010年以来发表的以“气候变化”“经济”和“影响”为主题词的文献, 从知识图谱视角对气候变化经济影响领域的研究主题、演进历程以及前沿热点进行分析。以期通过了解和把握该领域自2010年以来的研究脉络和热点演变, 明确发展趋势, 为促进我国气候变化经济影响研究的发展和 innovation 提供参考。结果显示, 2010年以来气候变化经济影响研究重点分为6个主题, 分别为减排和可持续发展、适应与风险管理、气候公平与发展、土地生态、渔业及生计、以及农业和水安全。近10年来该领域研究的发展主要包括研究对象的扩展以及方法方案的扩展这两条演进路径, 且自2017年起热点明显向后者迁移。近年研究前沿主要集中于研究方法和解决方案, 包括机器学习、经济技术分析, 基于自然的解决方案等。

关键词: 气候变化经济影响, 可视化分析, 研究进展, CiteSpace

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.06.010

Economic Impact of Climate Change: A Comprehensive Visualization Bibliometric Analysis for Research Progress and Frontiers since 2010

Song Yu¹, Pan Zhihua¹, Long Bujia¹, Lun Fei², Huang Na¹, Wang Qi¹, Yang Yingda¹, Ge Yuming¹, Ge Yijuan¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193;

2 College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract: Based on the literature with the key words of “climate change”, “economy” and “impact” published since 2010 in the core collection of Web of Science (WOS), this paper studies the research theme, evolution process and frontier hotspots in the field of economic impact of climate change from the perspective of visualization bibliometric analysis. It is aimed to understand and grasp the research context and hotspot evolution in this field since 2010, and to identify the development trend, so as to provide reference for promoting the development and innovation of the research on the economic impact of climate change in China. The results show that since 2010, the research on the economic impact of climate change can be mainly divided into 6 clusters based on keyword co-occurrence, which are emission reduction and sustainable development, adaptation and crisis management, climate fairness and equity, land and ecology, recreation and fishery, and agriculture and water security. The research progress in this field involves two phases, namely research themes with crossing fields (2011—2016) and technical methods & climate solutions (2017—2021). Since 2017, the research frontiers have been shifted toward the second phase. And the research frontiers in the recent years have focused on research methodology and solutions, including machine learning, techno-economic analysis and nature-based solution.

Keywords: economic impact of climate change, visualization bibliometric analysis, research progress, CiteSpace

0 引言

气候变暖带来的全球挑战不断加剧, 在减排前景

复杂的国际环境下, 评估气候变化造成的经济影响, 采取适合区域发展的适应措施以应对未来气候挑战, 一直以来是气候变化科学研究的热点^[1-3]。其中, 对气候变化影响的社会经济成本和气候变化适应路径成效 (Climate Change Costs and Adaptation Pathways) 的经济分析, 是气候变化研究的核心内容之一。

近10年来, 国内外对气候变化经济影响的内涵、过程、评估对象、体系、应对策略与实践等方面进行

收稿日期: 2021年8月31日; 修回日期: 2022年1月7日
第一作者: 宋玉 (1987—), Email: bh2019245624@cau.edu.cn
通信作者: 潘志华 (1969—), Email: panzhihua@cau.edu.cn
资助信息: 国家重点研发计划“全球变化及应对”专项 (2018YFA0606303)

了广泛的研究和探讨。以货币内涵角度划分的气候变化经济影响可以分为两个基本类别，直接经济损失和间接经济损失^[4-5]。直接经济损失一般指升温、气候事件带来的直接货币损失，包括市场损失如经济增长能力、资产、建筑物、货物和服务损失，以及非市场损失如健康受损、生命损失等^[6-7]。间接经济损失指受到直接经济损失影响，其他产业部门和经济整体由于货物、服务和业务中断等造成的经济损失^[8]。其中直接经济损失通过损失边际成本和损失函数等形式计算^[9]，间接经济损失则往往通过气候变化评估模型(IAMs)进行估算^[10]。以气候变化影响过程划分包括升温情景的经济预测^[11]和不同极端天气气候事件的经济影响评估，其中极端天气气候事件包括极端降水、高温热浪、和复合极端事件等^[12-13]。另外以评估对象进行划分，气候变化经济影响研究则广泛涵盖了农业、林、以及不同工业、服务业，劳动力分布等的经济影响^[14-16]。除此之外，根据研究体系和对应措施，气候变化经济影响研究涵盖了社会经济系统应对气候变化能力的一系列研究，主要包括风险管理、脆弱性、适应性、可持续发展等方面的研究^[17-18]。由此可见，气候变化经济影响研究领域涵盖的研究范围广泛，且与多学科存在交叉。

由于气候变化经济影响研究范围广泛，几十年来该领域积累了大量研究基础，因此使用文献计量方法梳理该领域发展脉络，分析研究热点，对我国寻求研究突破以加强气候变化领域的国际话语权尤为重要。刘丽等^[19]基于1995—2014年间该领域发表的10781文献对领域整体发展和各国发展概况进行了总体分析。由于该领域发表的文献量大，使用计量方法揭示领域发展规律存在一定挑战，在分析时需要通过选择合理的研究周期对文献的数量进行控制。近年来气候变化经济影响领域发文量的持续迅速增长，同时2015年气候变化大会《巴黎协定》对全球绿色、低碳、可持续发展的积极倡导，这使得近年来气候变化经济影响研究对象和潜在热点都可能产生了一定变化。因此，为避免与前人研究重复，同时把握近年来的研究趋势发展和热点演化，我们选取自2010年起气候变化经济影响领域发表于WOS的15981篇文献进行分析。在此背景下，为了更加全面地了解和把握国内外气候变化经济影响的研究现状和热点，本文运用知识图谱方法，对该领域的相关文献进行以定量分析为主、定性分析为辅的可视化文献计量研究。通过分析该领域文献的年代分布和主题分类，解析研究热点的动态演进和发展趋势。本研究为把握气候变化经济研究热点和脉络，明确发展趋势，促进我国气候变化经济影响评估

体系的建立及探索新的研究方向提供支持。

1 研究方法

1.1 数据来源

选取Web of Science (WOS)作为文献检索平台，在高级检索中选择Web of Science核心合集，专业检索式为：TS=(("climate change" OR "global warming") AND (impact OR damage OR loss OR influence) AND (economic))，检索时段设置为2010年1月1日—2021年5月29日，在剔除标题明显无关的文献后，得到15981篇与主题相关的文献作为研究样本，将所有文献导出为纯文本txt格式，以备后续分析。

1.2 数据处理

1.2.1 软件

目前用于知识图谱研究的软件较多，需根据研究目的选择合适的分析工具。本文结合多种文献计量软件，基于共词分析(Co-word analysis)，以关键词共现为基础对气候变化经济影响领域2010年以来发表于WOS核心合集的文献进行梳理，使用软件包括Co-Occurrence(简称COOC)，VOSviewer以及CiteSpace。其中COOC为学术点滴团队开发的文献计量综合分析软件，综合了数据清洗，共现矩阵分析、样本聚类等多种矩阵处理方法，具有功能多样、操作简便等一系列优点，在文献计量研究领域具有很高的应用前景^[20]。VOSviewer由荷兰莱顿大学发布^[21]，在共现聚类和图谱展示上具有一定优势，是文献计量可视化图谱的重要绘制工具之一，常与其他软件搭配使用^[22]。CiteSpace为美国德雷克塞大学陈超美博士开发的开放式可视化软件^[23]，在文献计量和知识图谱绘制研究中应用广泛，常用于识别和显示研究热点的演进和发展趋势，在研究时序演进可视化处理方面具有广泛的应用^[24-25]，与前面的两种软件形成了良好的互补。根据不同的数据处理需要，我们组合使用以上3种软件，共同完成本文的数据处理与可视化分析。

1.2.2 数据预处理

在对文献分析前，需要对文本进行预处理，完成文本的清洗和去重等工作。首先对文本进行数据清洗，如Climate Change在关键词的表述中包括Global Warming; Climate-Change; Climatic Change; Climate Changes; Global Climate Change等不同表述方式，导致存在诸如同义词、连字符连接或者单复数等同义但不同形式的词组单元。同义词会影响Climate Change这个共同语义的统计频次。因此需要对同义词进行筛选和合并。之后筛除无清晰语义指向词语，如Climate, Impacts等，完成文本的清洗。文本清洗

后对文本进行文献去重处理。文本清洗和去重使用 COOC6.725 完成。

1.2.3 数据分析

本文所使用的文献计量方法主要基于共词分析。词的共现 (Co-occurrence) 指在文档中同时出现的两个或多个词。共现反映了词之间的相似程度或固定搭配^[25]。基于假设论文的关键词经过作者精心挑选, 论文关键词能够揭示文献的研究内容, 反映文献的研究主题^[26]。以此为基础, 关键词的共现关系可以揭示研究领域内的关键研究主题和特征。因此后续数据分析主要针对论文的关键词。

主题聚类分析: 基于关键词的共现关系, 可通过聚类分析把关联密切的关键词聚集在一起形成不同的类别, 以此分析某一领域下的主题分类^[27]。本文使用 COOC 选取高频关键词, 选择样本内频次大于 50 的关键词 (共 102 个), 计算高频关键词间共现关系, 并绘制词云图。之后使用 VOSviewer 1.6.16 对高频关键词的共现矩阵进行 VOS 聚类分析^[28], 选取直线/模块化 (LinLog/modularity) 标准布局^[21], 采用网络连接图展示聚类结果, 对气候变化经济影响领域的重要研究主题进行分析。

热点演进分析: 时序图 (Timeline Plot) 以共现分析为基础, 通过研究热点间的联系及其时空分布, 展示热点的演进趋势^[25]。本文使用 CiteSpace 5.7.R2 分析关键词, 在 CiteSpace 操作界面中, 时间设置为 2010—2021 年, 时区间隔为 1。节点类型选择关键词, TopN 保持默认值 50。由于样本内文献数量多, 为了使可视化结果更加直观, 结构更清晰合理, 选取 pathfinder 和 sliced network 进行修剪。同时每种类别下设置展示的关键词数量为 1。通过关键词的时序图演进对领域内主题发展趋势展开分析。

前沿热点分析: 突显 (Burstness) 指一定时段内引用或关键词使用频次出现大幅变化的情况, 通过突显分析 (Burst Detection) 可观察共引或关键词的衰落或兴起, 探测领域内的新兴热点或者分析领域内较为分散出现的跃迁^[29]。CiteSpace 基于 Kleinberg 突变检测法, 提供了系统的突显分析工具, 可用于检索研究前沿的热点词汇^[30]。因此我们使用 CiteSpace 对气候变化经济影响研究中出现的突显词进行探测, 并选取突显强度最高的 20 个关键词对前沿热点进行分析。

2 结果

2.1 发文量时间分布

某一研究领域的发文数量与时间分布, 反映了该领域的研究进程和现状, 揭示其研究发展的总体趋

势^[31]。图 1 中统计了气候变化经济影响领域 2010 年以来的论文发表情况, 其中由于 2021 年只统计到当年的 5 月发文量, 因此未在图中显示。从图 1 中可以看出, 气候变化经济影响领域的发文量呈现比较稳定的逐年递增的趋势, 表明气候变化经济影响研究处于良性发展中, 持续吸引越来越多的研究关注。

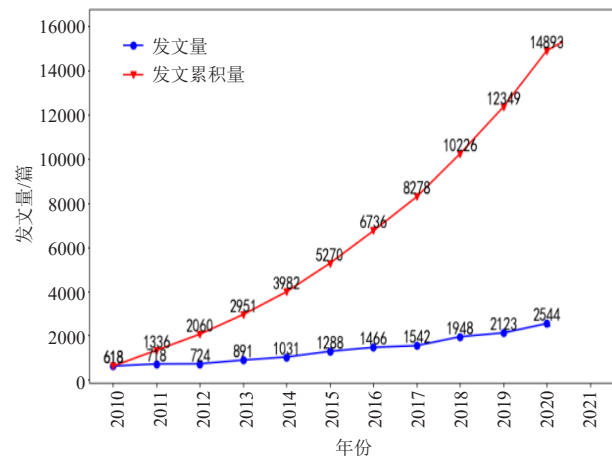


图1 气候变化经济影响领域2010—2020年年度发文量、发文累积量与年份分布

Fig. 1 Publication outputs and time trend 这个英文翻译和中文完全不对应

Fig. 1 The annual publication output, accumulated output and year distribution in the field of the economic impact of climate change of 2010–2020

2.2 研究主题聚类

关键词共现反映了关键词之间的相似程度或是固定搭配^[25], 可揭示研究领域的重要主题和研究特征。图 2 分别展示了高频关键词的分布图 (图 2a 词云图) 及基于关键词共现关系的主题聚类 (图 2b 聚类网络图)。图 2a 中不同字体大小代表该关键词的频次。

图 2b 根据关键词的共现关系, 将除 Climate Change 外的 101 个高频关键词按 VOS 聚类为 6 个不同主题。图 2b 中不同颜色代表了聚类的类别, 相同颜色表示同一主题, 节点的大小代表关键词的频次高低, 节点之间的连线粗细程度代表了关键词之间联系的强弱。表 1 中列出了各聚类主题下频率最高的 8 个关键词。根据各类别中关键词的语义联系, 结合文献内容, 气候变化经济影响中根据高频关键词共现聚类的 6 个重要研究主题归纳总结如下。

主题 1, 气候变化下减排和可持续发展 (Emissions and Sustainable Development). 该类别包含的研究内容比较宽泛, 主要包括空气污染、节能减排、循环经济、能源利用、环境评价, 以及城市化的经济影响, 还包括了减排和可持续发展的一些常用研究方法如一般均衡模型、综合评估模型、生命周期评估等。此外

表1 气候变化经济影响领域聚类主题前8高频关键词
Table 1 The top 8 high-frequency keywords for main topic clustering

主题1	主题2	主题3	主题4	主题5	主题6
减排和可持续发展	适应与风险管理	气候公平与发展	资源管理——土地利用、能源作物、林业与生态	资源管理——渔业及生计	资源管理——农业和水安全
生命周期评估Life Cycle Assessment (618)	适应Adaptation (966)	环境Environment (164)	减排Mitigation (334)	治理Governance (97)	农业Agriculture (343)
可持续性Sustainability (514)	脆弱性Vulnerability (391)	温度Temperature (110)	生态系统服务Ecosystem Services (306)	非洲Africa (87)	食品安全Food Security (258)
二氧化碳排放Carbon Emissions (381)	韧性Resilience (281)	印度India (90)	土地利用Land Use (270)	旅游Tourism (83)	水资源Water Resources (105)
中国China (281)	洪水Floods (223)	孟加拉国Bangladesh (87)	生物多样性Biodiversity (154)	气候变化性Climate Variability (81)	灌溉Irrigation (94)
可持续发展Sustainable Development (280)	干旱Drought (214)	健康Health (77)	政策Policy (108)	情景Scenarios (81)	水资源管理Water Management (76)
新能源Renewable Energy (266)	海平面Sea Level (161)	发展Development (73)	碳汇Carbon Sequestration (85)	渔业Fisheries (79)	水资源短缺Water Scarcity (57)
温室气体排放Greenhouse Gas Emissions (215)	不确定性Uncertainty (159)	热应激Heat Stress (64)	生物能源Bioenergy (82)	水Water (69)	经济分析Economic Analysis (55)
综合评估模型Integrated Assessment Models (185)	适应能力Adaptive Capacity (142)	贫困Poverty (63)	欧盟European Union (79)	水产养殖Aquaculture (56)	水质Water Quality (54)

注：()中表示的数字为关键词的使用频次。

水、干旱和其他自然灾害，以及海平面上升等。此外该主题下还包括了系统的脆弱性、适应能力以及不确定性的评估等。研究方法主要有危险评估、遥感和GIS、成本收益分析等。

主题3，气候变化下气候公平与发展（Climate Equity and Development）。主要包括发展中国家气候公平、贫困、健康与地区经济发展之间的关系，以及这些地区可持续发展目标的实现等研究。典型研究地区如印度、巴基斯坦。

主题4，气候变化下资源管理——土地利用、能源作物、林业与生态系统（Resources-Land Use, Forestry, Ecosystem and Global Change）。主要包括气候变化下土地利用、能源作物、林业、生物量、碳固存、生物多样性和物种分布等生态资源相关的经济影响和管理研究。典型的研究区域如欧洲。

主题5，气候变化下资源管理——渔业及生计（Resources-Fishery and Livelihoods）。主要包括气候变化对水产养殖业、渔业等自然资源的经济影响研究，以及对旅游业、生活模式和政府管理的影响研究等。

主题6，气候变化下资源管理——农业和水安全（Resources-Agriculture and Water）。主要包括气候变化对农业、食品加工工业，以及灌溉、地下水等用水资源的经济影响研究。

将2010年以来WOS核心合集中包含高频关键词的气候变化经济影响文献按以上6个研究主题进行划分时，主题1~主题6分别包含文献3229篇，2813篇，859篇，1600篇，846篇和921篇。不包含高频关键词

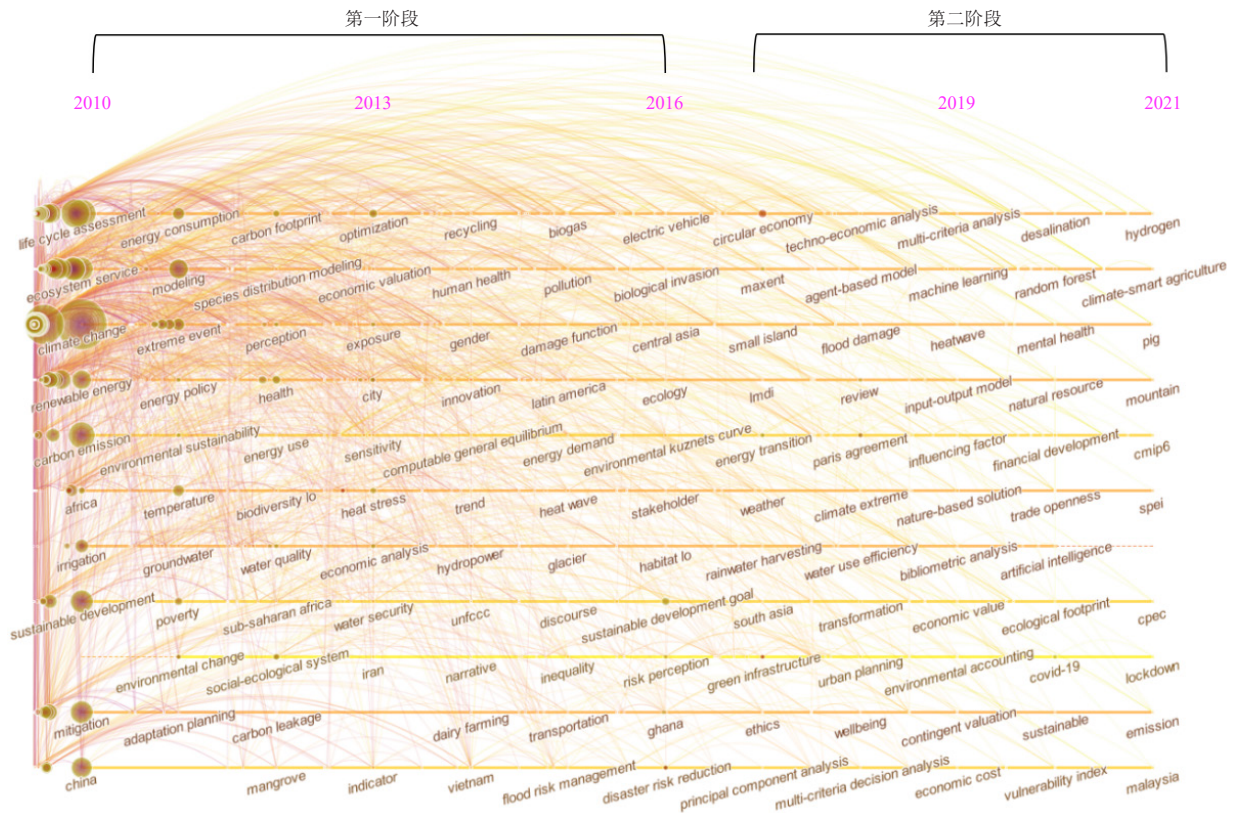
的文献未统计在此列表中。

2.3 热点演进趋势分析

时序图主要展示了节点（关键词）间的联系及其随时间的变化，显示了论文关键词间的相互影响和更新，展示了知识域随时间的演化过程^[32]。使用CiteSpace中的时序图揭示2010年以来WOS核心合集气候变化经济影响研究中共现关键词随时间的变化，以了解研究热点随时间的演进发展，结果如图3。图3中节点大小代表关键词出现的频次，连线表示关键词之间的联系。由于图中出现的热点关键词较多，结合2.2节中的主题聚类，根据关键词的主题和联系进行了分类和梳理。

CiteSpace以 Q 值（Modularity）和 S 值（Silhouette）作为评价网络结构和聚类效果的绘图标准。其中 $Q>0.3$ 表示社区结构显著， $S>0.5$ 表示聚类效果合理。本文中 $Q=0.4237$ ， $S=0.7154$ ，时序网络符合结构标准。

从图3中可以看出，2010年的重要关键词在后续年份的研究中都有良好发展，主题的延续性高，关键词间的交叉性和联系多。具体来看，自2010年起的本研究区间初始期，气候变化经济影响研究包括了高频次关键词生命周期评估（Life Cycle Assessment）、生态系统服务（Ecosystem Service）、新能源（Renewable Energy）、二氧化碳排放（Carbon Emission）、可持续发展（Sustainable Development）、减排（Mitigation）、中国（China）和模型（Modeling）。在2.2中主要属于主题1气候变化下减排和可持续发展中。2010年以后这些初始高频关键词的关联内容得到了迅速发展，在后



注: spei为the standardized precipitation evapotranspiration index缩写, cpec为China-Pakistan Economic Corridor缩写, lmdi为logarithmic mean divisia index缩写。

图3 气候变化经济影响领域基于关键词共现的研究热点时序演进

Fig. 3 A timeline visualization of the keywords co-occurrence network for hot spot migration

续研究与与这些关键词相关的主题有很好的延续。对2011年后关键词的类型分析显示,2011年后的研究热点演替主要呈现两条发展路径:研究对象的不断扩展以及研究方法或解决方案的不断探索,两者呈一定程度上的交叉交替发展趋势。根据两个方向占各年热点中的比重,可以2016年为分界,将该领域研究区分为2011—2016对象扩展期,2017—2021方法方案探索期两个研究阶段。其中2011—2016研究对象扩展期主要针对不同对象的气候变化经济影响及其需求与消费情况展开研究;而2017—2021方法方案探索期在研究热点上倾向跨学科多目标研究方法和评估方法的引入,以及气候变化经济影响缓解技术和解决方案的研究。下面结合热点关键词演进对两个阶段进行具体分析。

2011—2016对象扩展期。根据研究对象变化,其可分为两个阶段,2015年以前,气候变化经济影响研究重点关注碳排放(Carbon footprint2011\Carbon leakage2012)、能源(Energy consumption2011\Energy policy2011\Energy use2012\Hydropower2014\Energy demand2015\Boigas2015)和水资源(Groundwater2011\Water quality2012\Water security2013)等资源需求与消费的情况。但随着

2015年污染(Pollution2015)和冰川(Glacier2015)进入研究热点,此后气候变化经济影响研究中经济和环境可持续发展的相关热点不断增加。如生态环境(Environmental sustainability2011\Biodiversity2012\Mangrove2012\Biological invasion2016\Ecology2016\Environmental kuznets cruve2016\Habitat2016)、循环经济(Recycling2014)和可持续发展(Social-ecological system2012\Sustainable development goal2016)等在热点关键词中的比重不断增加。此阶段也包括研究对象向其他社会经济方面的扩展,如城市(City2013)、健康(Health2012)、交通(Transportation2015\Electric vehicle2016)、农业畜牧业(Dairy farming2014)等。还包括一些社会经济系统评价方法(Economic valuation2013\Economic analysis2013\CGE2014\Damage function2015)和其他评估对象或方法的研究(Exposure2013\Sensitivity2013\Indicator2013\Innovation2014\Trend2014\Narrative2014\Discourse2015)。

随着热点在研究对象上从碳排放等向经济环境可持续发展的转化,自2017年起,研究热点进一步转移到方法和方案上。2017—2021年进入研究方法和解

决方案的迅速扩展期，具体包括针对不同研究对象的气候变化经济影响缓解或适应方案，以及通过交叉学科引入气候变化经济影响的新评估方法或研究方法的探究。

首先在传统研究对象上，碳排放（Energy transition2017\Hydrogen2021）、水资源（Rainwater harvesting2017\Water use efficiency2018\Desalination2020）等从之前对资源的需求消费转向对相关解决方案的关注。农业（Climate smart agriculture2021\Pig2021）、城市（Green infrastructure2017\Urban planning2018）、健康（Mental health2020\Covid-19_2020\Lockdown2021）、循环经济（Circular economy2017）、环境和经济可持续发展（Transformation2018\Nature-based solution2019\Sustainable2020\Trade openness2020\Financial development2020\Ecological footprint2020\Nature resource2020\Mountain2021）在研究对象和解决方案上均得到进一步发展。

其次，在社会经济评估和研究方法上，原有经济评估进一步发展（Economic value2019\Economic cost2019）。同时跨学科的环境经济可持续评估（Environmental accounting2019\Input-output model2019\Contingent valuation2019\Vulnerability index2020）和多学科复合经济分析和技术方法得到极大发展（Maxent2017\LMDI2017\Principal component analysis2017\Agent-based model2018\Multi-criteria decision analysis2018\Techno-economic analysis2018）。此外，与新兴学科的交叉技术融合也得到重视（Bibliometric analysis2019\Machine learning2019\Random forest2020\Artificial intelligence2020）。

除按照研究对象和方法方案划分外，还有部分热点关键词由于在时间上发展连贯，不能按照以上原则进行划分。这些关键词主要包括在2.2中主题2气候变化下适应与风险管理和主题3气候变化下气候公平与发展中。相关研究热点分别为：灾害和极端天气（Extreme event2011\Heat stress2013\Heat wave2015\Flood risk management2015\Risk perception2016\Disaster risk reduction2016\Flood damage2018\SPEI2021），以及气候公平（Poverty2011\Perception2012\Gender2014\Inequality2015\Stakeholder2016\Small island2017\Ethics2017\Wellbeing2018）。

2.4 前沿热点分析

前沿热点研究中常用的研究方法为突显分析（Burst Detection）。突显分析主要根据一定时段内某一

关键词频次的较大变幅来反映研究中衍生的新兴热点或者研究中较为分散的内容跃迁^[28]。本文采用突显分析对2010年以来WOS核心合集气候变化经济影响领域相关文献的关键词衰落或兴起进行分析，以分析气候变化经济影响中的前沿变化。

从图4可以看到，突显强度最高的前20个关键词中，12个关键词出现在2017年以前，8个关键词出现在2017年以后，即2017年以后出现的前沿热点在较短时间内就呈现高强度的研究趋势。由此可以看出，气候变化经济影响研究领域目前发展迅速，研究活跃度高。

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2010 - 2021
biofuel	2010	12.94	2010	2013	
desertification	2010	5.63	2010	2015	
co2	2010	8.09	2011	2014	
water demand	2010	9.62	2012	2015	
water supply	2010	7.61	2012	2016	
transport	2010	5.89	2013	2017	
mexico	2010	5.49	2013	2016	
ecosystem	2010	6.18	2014	2017	
integrated assessment model	2010	5.59	2014	2015	
human health	2010	5.5	2014	2016	
latin america	2010	5.55	2015	2017	
disaster risk reduction	2010	6.24	2016	2018	
techno-economic analysis	2010	6.1	2018	2021	
paris agreement	2010	5.93	2018	2021	
urban planning	2010	5.83	2018	2021	
iran	2010	5.71	2018	2019	
circular economy	2010	9.83	2019	2021	
nature-based solution	2010	7.27	2019	2021	
machine learning	2010	6.64	2019	2021	
inequality	2010	5.52	2019	2021	

图4 气候变化经济影响领域前20突显词前沿热点
Fig. 4 Top 20 keywords with the strongest citation bursts for frontiers

近年来的新兴热点主要有技术经济分析（Techno-Economic Analysis, 2016—2021），巴黎协定（Paris Agreement, 2018—2021），城市规划（Urban Planning, 2018—2021），伊朗（Iran, 2018—2019），循环经济（Circular Economy, 2019—2021），基于自然的解决方案（Nature-Based Solution, 2019—2021），机器学习（Machine Learning, 2019—2021），不平等（Inequality, 2019—2021）。除Iran外，其他关键词在2021年均保持突显，是近年来的重要研究热点。从关键词的类型可以看出，目前新兴热点主要集中在气候变化经济影响的分析方法及解决方案上，这和2.3中观察到的近年研究演进趋势相一致。

3 结论

气候变化经济影响研究的热点和趋势分析对促进我国气候变化经济影响评估具有重要的意义。本文采用文献计量方法，通过对2010年以来发表于WOS核心合集的15981篇文献进行分析，对气候变化经济影响领域的研究热点进行聚类，并对热点演进和该领域内近年来的新兴热点进行了分析，结果以知识图谱形式

展示。

基于高频关键词共现的VOS聚类显示, 2010年以来气候变化经济影响研究领域可分为6个重要研究主题, 分为减排和可持续发展、适应与风险管理、气候公平与发展、资源管理——土地生态等、资源管理——渔业及生计等、资源管理——农业和水安全。各主题分别包括文献3229篇, 2813篇, 859篇, 1600篇, 846篇和921篇。

基于共词的时序图反映出该领域的研究发展主要包括两条演进路径, 分别为对气候变化经济影响研究对象的扩展, 以及对气候变化经济影响的研究方法和对策方案的探索, 两者存在一定程度上的交替交叉。但自2017年起, 该领域内的热点较明显向方法方案演进路径迁移。另外关键词的突显分析显示, 2017年以来前沿热点主要集中于方法方案上。近年前沿热点具体包括技术经济分析Techno-Economic Analysis, 巴黎协定Paris Agreement, 城市规划Urban Planning, 循环经济Circular Economy, 基于自然的解决方案Nature-Based Solution, 机器学习Machine Learning和不等平等Inequality。

通过分析气候变化经济影响领域自2010年以来的研究现状和前沿热点, 本研究为把握气候变化经济研究的热点和脉络, 明确发展趋势和研究热点, 促进我国气候变化经济影响研究提供了思路。

参考文献

- [1] Hallegatte S, Przulski V, Vogt-Schilb A. Building world narratives for climate change impact, adaptation and vulnerability analyses. *Nature Climate Change*, 2011, 1(3): 151-155.
- [2] Watts M. Commentary: cities spearhead climate action. *Nature Climate Change*, 2017, 7(8): 537-538.
- [3] Diaz D, Moore F. Quantifying the economic risks of climate change. *Nature Climate Change*, 2017, 7(11): 774-782.
- [4] Bosello F, Nicholls R J, Richards J, et al. Economic impacts of climate change in Europe: sea-level rise. *Climatic Change*, 2012, 112(1): 63-81.
- [5] Carrera L, Standardi G, Bosello F, et al. Assessing direct and indirect economic impacts of a flood event through the integration of spatial and Computable General Equilibrium modelling. *Environmental Modelling and Software* 2015, 63:109-122.
- [6] Meyer V, Becker N, Markantonis V, et al. Review article: assessing the costs of natural hazards—state of the art and knowledge gaps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2013, 13(5): 1351-1373.
- [7] Ma R, Zhong S, Morabito M, et al. Estimation of work-related injury and economic burden attributable to heat stress in Guangzhou, China. *Science of The Total Environment*, 2019, 666: 147-154.
- [8] Baghersad M, Zobel C W. Economic impact of production bottlenecks caused by disasters impacting interdependent industry sectors. *International Journal of Production Economics*, 2015, 168: 71-80.
- [9] Neumann J E, Willwerth J, Martinich J, et al. Climate damage functions for estimating the economic impacts of climate change in the United States. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2020, 14(1): 25-43.
- [10] Orlov A, Sillmann J, Aunan K, et al. Economic costs of heat-induced reductions in worker productivity due to global warming. *Global Environmental Change*, 2020, 63: 102087.
- [11] Burke M, Hsiang S M, Miguel E. Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 2015.
- [12] Geiger T, Frieler K, Levermann A. High-income does not protect against hurricane losses. *Environmental Research Letters*, 2016, 11(8): 084012.
- [13] Tan L, Yao W, Chen F, et al. Economic loss assessment of tropical cyclones based on bibliometric data analysis. *Tropical Conservation Science*, 2020, 13(1): 194008292097895.
- [14] Fisher A, Hanemann W M, Roberts M, et al. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment. *American Economic Review*, 2012.
- [15] Jaroszowski D, Hooper E, Chapman L. The impact of climate change on urban transport resilience in a changing world. *Progress in Physical Geography*, 2014, 38(4): 448-463.
- [16] 陈吉平, 向文筠. 新世纪以来我国绿色农业研究热点与前沿——基于CiteSpace的可视化分析. *云南农业大学学报: 社会科学*, 2021, (4): 1-9.
- [17] Lazo J K, Lawson M, Larsen P H, et al. U.S. economic sensitivity to weather variability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2011, 92(6): 709-720.
- [18] 王鑫鑫, 史兴民. 气候变化感知和适应行为研究的可视化计量分析. *气候变化研究进展*, 2021, 17(4): 466-475.
- [19] 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. *气候变化研究进展*, 2018, 14(3): 325-330.
- [20] 朱军文, 马银琦. 教育实证研究这五年:特征,趋势及展望. *华东师范大学学报: 教育科学版*, 2020, (9): 16-35.
- [21] van Eck N J, Waltman L, Dekker R, et al. a comparison of two techniques for bibliometric mapping: multidimensional scaling and VOS. *Journal of The American Society for Information Science and Technology*, 2010, 61(12): 2405-2416.
- [22] 宗乾进, 袁勤俭, 沈洪洲, 等. 知识图谱视角下的2010年我国情报学研究热点——基于知识图谱的当代学科发展动向研究之一. *情报杂志*, 2011, 30(12): 48-53.
- [23] Chen C. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359-377.
- [24] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, et al. CiteSpace知识图谱的方法论功能. *科学学研究*, 2015, 33(2): 242-253.
- [25] Han M, Yang F, Sun H. A bibliometric and visualized analysis of research progress and frontiers on health effects caused by PM 2.5. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021: 1-18.
- [26] 孙海生. 作者关键词共现网络及实证研究. *情报杂志*, 2012, (9): 63-67.
- [27] 朱伟珠, 李春发. 我国生态城市研究领域的热点与发展趋势. *城市问题*, 2013, (8): 26-31.
- [28] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 2004, 69 (2).
- [29] Chen C. CiteSpace: a practical guide for mapping scientific literature. *CiteSpace: A Practical Guide for Mapping Scientific Literature*, 2016.
- [30] 苏飞, 应蓉蓉, 曾佳苗. 可持续生计研究热点与前沿的可视化分析. *生态学报*, 2016, 36(7): 2091-2101.
- [31] 张鑫, 王丹, 陈则谦. 我国公共数字文化服务的研究进展. *图书馆*, 2017, 000(12): 93-99, 111.
- [32] Zhao Y. Study on hotspots and frontiers of urbanization in Guangxi based on CiteSpace and VOSviewer. 2019 4th International Social Science and Education Conference, Francis Academic Press, UK, 2019: 92-100.