

# 基于文献计量分析的全球复合极端事件研究现状与展望

耿凌宇<sup>1</sup>, 陈思<sup>1,2\*</sup>, 刘嘉豪<sup>1</sup>, 武娇娇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>湖北大学资源环境学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年11月20日; 录用日期: 2025年1月10日; 发布日期: 2025年1月20日

## 摘要

在全球气候变化背景下, 复合极端事件的频率和强度显著增加, 对水资源、农业生产和生态系统构成了严重威胁, 成为学术界的研究热点。本文基于CiteSpace软件, 对2010至2023年间WOS数据库中939篇相关文献进行了文献计量分析, 构建了知识图谱以梳理研究热点和发展趋势。结果显示, 复合极端事件的研究主要集中在美国和中国, 研究热点包括“高温干旱”和“降水热浪”等复合事件。研究过程可以划分为三个阶段: 概念解析与驱动因素探索阶段(2010~2017年)、多学科交叉与模型构建阶段(2017~2020年)、以及应用转化阶段(2020~2023年), 涵盖灾害风险管理和城市规划等实践领域。未来研究应进一步整合多学科方法, 注意不同地区针对性研究, 发展先进预测模型以提升对复合极端事件的预测精度和管理效率, 从而为应对气候变化提供科学支持。

## 关键词

复合极端事件, CiteSpace, 知识图谱, 计量分析

# Global Research Status and Prospects of Compound Extreme Events Based on Bibliometric Analysis

Lingyu Geng<sup>1</sup>, Si Chen<sup>1,2\*</sup>, Jiahao Liu<sup>1</sup>, Jiaojiao Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Hubei University, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Wuhan Hubei

Received: Nov. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 10<sup>th</sup>, 2025; published: Jan. 20<sup>th</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 耿凌宇, 陈思, 刘嘉豪, 武娇娇. 基于文献计量分析的全球复合极端事件研究现状与展望[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(1): 74-84. DOI: 10.12677/ag.2025.151009

## Abstract

Against the backdrop of global climate change, the frequency and intensity of compound extreme events have significantly increased, posing severe threats to water resources, agricultural production, and ecosystems, thus becoming a research focus in the academic community. This study utilizes CiteSpace software to conduct a bibliometric analysis of 939 relevant articles from the WOS database published between 2010 and 2023, constructing knowledge maps to outline research hotspots and developmental trends. The results indicate that research on compound extreme events is mainly concentrated in the United States and China, with research hotspots including compound events such as “heat-drought” and “precipitation-heatwave.” The research process can be divided into three phases: the conceptual exploration and driving factor analysis phase (2010~2017), the multidisciplinary integration and model construction phase (2017~2020), and the application phase (2020~2023), covering practical fields such as disaster risk management and urban planning. Future research should further integrate multidisciplinary approaches. Pay attention to region-specific studies and develop advanced predictive models to improve the prediction accuracy and management efficiency of compound extreme events, thereby providing scientific support for addressing climate change.

## Keywords

Composite Extreme Events, CiteSpace, Knowledge Graph, Econometric Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

气候变化导致多种复合事件的频率和强度增加，对水资源供给、农业生产、公共卫生和基础设施等造成了前所未有的威胁[1]。在过去的几十年中，全球气候变化已导致极端天气和气候事件的频率和强度显著增加[2]。这些事件包括热浪、干旱、暴雨、风暴和洪水等，它们对人类社会和自然生态系统造成了巨大的影响[3]。尽管单一的极端事件研究已经取得了显著的进展，但越来越多的证据表明复合极端事件即多个极端事件的相互作用[4]，可能会导致更为严重的后果。这种相互作用不仅限于同一地理区域内的事件，也可能跨越不同的地理区域和时间尺度[5]。

复合极端事件是指由多个极端气候事件同时发生或顺序发生导致的复合效应[6]，这些事件通常会导致比单一事件更严重的社会经济或环境影响。随着全球气候变化的加剧，这类事件的研究逐渐受到科学界的广泛关注[7]，复合极端事件的研究不仅有助于更好地理解极端事件的相互作用机制，还对于灾害风险评估、城市规划和气候适应策略的制定具有重要意义[8]。随着全球气候变暖的加剧，复合极端事件在全球范围内的发生几率越来越大。据世界气象组织报告，1970~2019年，全球与天气、气候和水相关的极端事件造成的灾害超过1.1万起，累计死亡人数超过200万，经济损失达3.64万亿美元[9]，全球气候变化也改变了极端气候驱动因子之间的关系[10]，增加了极端事件同时发生或相继发生的可能性。

复合极端事件的产生与多种因素有关，包括自然因素(如气候变化、海平面上升等)和人为因素(如土地利用变化、城市化等)[8]。其形成机制也十分复杂，涉及到大气、水文、地质、生态等多个领域[11]。

深入探讨复合极端事件的形成机制,有助于更好地理解 and 预测其发生和发展。然而复合极端事件的复杂性和多样性使得其研究面临着重大挑战。首先,定义和量化复合极端事件的标准尚不统一,这增加了研究和比较的难度。其次,不同极端事件之间的相互作用机制复杂多变,既有可能是相互加强也有可能是相互抵消[12]-[14]。此外,复合极端事件的影响评估需要考虑到社会经济和自然生态系统的多重脆弱性和适应能力,这要求跨学科的合作和综合分析。

尽管面临挑战,但对复合极端事件的研究仍然具有重要的理论和实践价值。通过综合分析不同极端事件的相互作用及其对人类社会和自然生态系统的综合影响,可以为减轻气候变化影响、提高灾害风险管理能力以及制定有效的适应策略提供科学依据。为此,本文基于 WOS 利用 CiteSpace 对 2010~2023 (WOS 复合极端事件研究论文最早发表年份为 2010 年)的复合极端事件进行分析,总结此领域的主要特点、研究热点以及发展趋势。

## 2. 数据来源与研究方法

### 2.1. 数据来源

本文所使用的数据来源于 WOS 核心文集(包括 SCI-E 科学引文索引、SSCI 社会科学引文索引、CPCI 会议论文引文索引等数据库),数据采集时间为 2023 年 12 月 31 日。

从 WOS 核心集合选择数据,并进行了几次排查后,将检索式定为 TS = (Compound extreme event\* OR “Compo\* high temperature” OR “compo\* damp heat” OR “compo\* high temperature drought” OR “compo\* dry cold” OR “compo\* clammy cold” OR “combined storm” OR “compo\* drought” OR “compo\* drought\* flood\*” OR “compo\* high-temperature flood\*” OR “compo\* flood\*”), TS 为文献发表主题。设定的检索时间跨度为“2010-01-01-2023-12-31”,检索时间为 2023 年 12 月 31 日,文献类型为“Article” OR “Review Article” OR “Proceeding Paper”,语言为“English”,文献信息包括标题、作者、摘要、关键词和出版来源。通过文献筛选,剔除与研究主题不相关的文献及相同文献,通过对查询到的文献的去重和过滤后,得到了共 939 篇文献,并通过 CiteSpace 对文献进行可视化研究。

### 2.2. 研究方法

CiteSpace 是一款由美国雷德赛尔大学信息科学与技术学院的陈超美博士与大连理工大学 WISE 实验室联合开发的科学文献分析工具[15]。该工具是一个可以检测科学学科随着时间推移出现趋势变化并将其进行可视化的系统,主要用于特定领域文献的计量分析,以呈现某一学科领域的研究结构和发展趋势。CiteSpace 可以用来对文献进行基本分析,如分析引文与文献发表总数、重点学科和期刊、科研机构研究和合作情况、作者分析等,也可以进行聚类 and 突变分析,如分析关键词频数、关键词聚类以及时区图(突变分析) [16]。目前, CiteSpace 可以分析的主要数据库包括中国知网(CNKI)、中国社会科学引文索引(CSSCI)、世界专利索引(Derwent)和 Web of Science (WOS)。这些资源为研究提供了丰富的数据支持,基本可以涵盖学者研究阶段主要使用的数据库。本文将使用 CiteSpace 分析复合极端事件研究从 2010~2023 年的演化过程、研究热点和发展趋向,绘制出了关键词网络、关键词聚类、热点突显等图谱并开展多维度的动态网络分析。

在使用 CiteSpace 进行可视化分析的基础上,还采用了文献计量学的研究方法。它是综合数学、文献学和统计学对知识载体进行定量分析的交叉学科。以文献的体系以及文献的计量特征作为研究对象,通过分析文献数量关系和分布结构、变化规律等,探讨某一学科领域研究方向[17]。构建特征以及发展关键词聚类、关键词突显图等均通过 CiteSpace 软件绘制,对复合极端事件研究进行可视化分析。

3. 文献特征分析

3.1. 发文量分析

通过对 WOS、CNKI 和万方数据库所筛选出的文献进行年度发文统计，可以发现复合极端事件的相关研究在国内期刊与国外期刊发文数量、变化趋势上均有明显不同(图 1)。首先，发文数量上，国外期刊 WOS 中的发文数量要领先于国内期刊(CNKI 万方)其次，变化趋势上，WOS 发文量自 2017 年开始急剧上升并保持此态势，CNKI 和万方发文量在 2020 年前后也有小幅上升。但是万方 2023 年发文量有下降趋势，显然 WOS 对复合极端事件的研究发文比较活跃，所以本研究以 WOS 数据库的发文数据为主。根据 WOS 逐年发文量可以看出，2010~2017 年复合极端事件的研究处于萌芽发展阶段，2017~2020 年处于快速增长阶段，2020~2023 年处于蓬勃发展阶段。

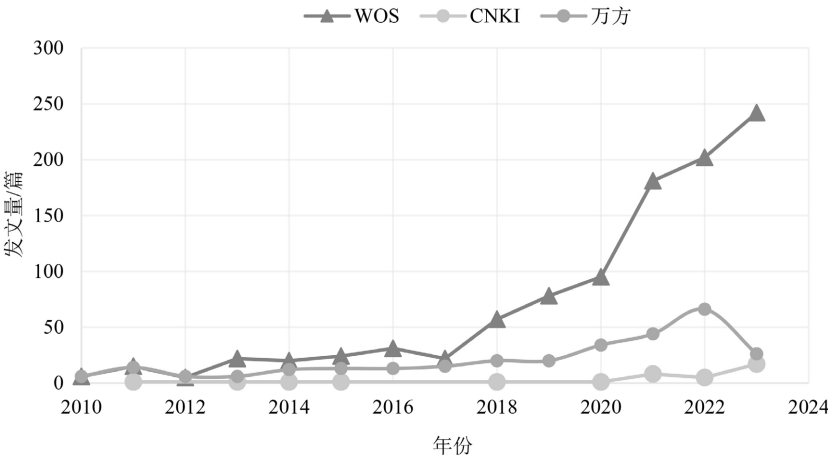


Figure 1. Line chart of publication volume  
图 1. 发文量折线图

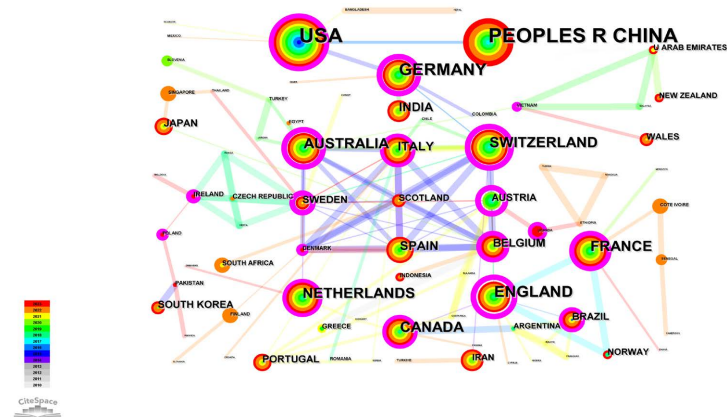
3.2. 主要研究力量分析

3.2.1. 主要研究国家

复合极端事件的研究是一个全球性的关注点，因为这类事件的影响跨越国界，并且对全球社会和经济系统都有深远的影响。不同国家根据自身的地理、气候条件以及科研能力，对复合极端事件的研究有着不同的侧重点和进展[18]。本节利用 CiteSpace 软件绘制了国家合作网络分析图谱，对发表 939 篇文献的代表国家进行了详细分析，分别为国家知识图谱(如图 2 所示)和国家发文量占比(如图 3 所示)。结果表明，共有 77 个国家参与了复合极端事件的相关研究。发文量排在首位的是美国(286 篇)，具有最早的初始发文年(2010 年)，与中国和德国合作比较密切，主要研究领域为气象学大气科学、环境科学生态学、地质学与水资源。其次为中国(226 篇)，与美国有较为紧密的合作关系和相似的研究领域。结合节点年轮宽度分布可以得知(图 2)，我国虽然普遍性研究开始较晚，但近年来发展迅速，在该领域具有明显的优势。

全球各国在复合极端天气事件的研究中各有侧重。美国主要关注气候变化对飓风、龙卷风和暴雨等极端天气频率和强度的影响，以及这些事件对经济、基础设施和社会稳定的长期冲击。以 2017 年飓风哈维登陆德克萨斯州引发的大规模洪灾为例，研究者探讨了城市化和气候变化如何加剧洪灾，并提出优化城市规划和强化基础设施建设的应对策略。中国的研究重点在于复合极端天气事件对农业生产和公共健康的影响。以 2019 年华北地区的高温干旱为例，干旱严重影响了农业生产和水资源供应。研究人员分析了大气环流异常导致的高温干旱特征，评估了对主要农作物产量的影响，探讨了粮食安全风险，并提出

优化水资源调度和保障供应的措施。澳大利亚聚焦于高温和干旱条件下森林火灾的机制及其对生物多样性和生态系统的长期影响。以 2019 至 2020 年高温干旱引发的大规模森林火灾为例，研究人员评估了火灾对生态系统、空气质量和人类健康的综合影响，提出了加强森林管理和制定气候适应性政策的建议。



注：黑色标签为国家名称。节点大小表示发文量，颜色越红代表发表事件越近。年轮宽度表示年度发文量。连线粗细表示国家间合作紧密程度。

Figure 2. National collaboration network map  
图 2. 国家合作网络图谱

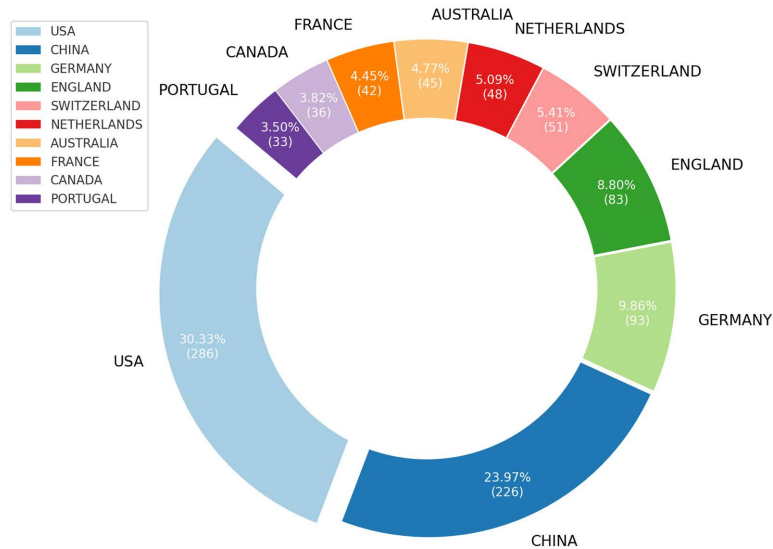


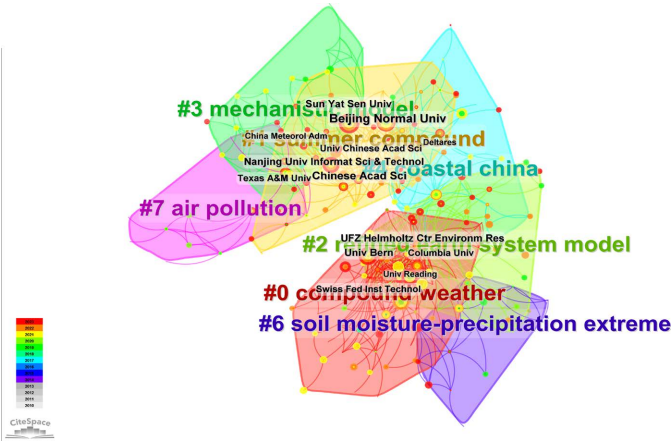
Figure 3. National publication volume proportion chart  
图 3. 国家发文量占比图

从基于 WOS 的国家地区发文量占比图谱来看，全球发文前两名国家分别为美国和中国，并且两国发文量之和占总发文量一半以上，说明美国和中国对该领域的研究比较完善，并且两国的初始发文年分别在 2010 与 2011 年，在全球处于领先地位。这些国家在复合极端事件的研究中通常采取多学科、跨部门的合作方式，结合气候科学、地理信息科学、社会科学和工程技术等领域的专业知识。此外，国际合作在推动全球范围内的复合极端事件研究中也发挥着关键作用，例如国际气候协议、全球气候监测网络和国际科研合作项目等。随着全球气候变化的挑战日益严峻，各国在这一领域的研究需要继续加强，以提高对极端事件的理解和应对能力。



3.2.2. 主要研究机构

本文运用 CiteSpace 的机构合作网络分析功能共统计有 380 个研究机构。得到主要机构发文量排名如表一所示和机构合作共现图谱如图 4 所示。



注：黑色标签为机构名称。节点大小表示出版数量，年轮颜色显示发文时间，宽度表示年度发文量。#标签为领域聚类结果，彩色区域标识聚类类别及其范围。

Figure 4. Institutional collaboration co-occurrence map  
图 4. 机构合作共现图谱

排除了乱码及重复的聚类结果后，共得到 10 条有效聚类集群(#0, #1, #2, #3, #4, #6, #7, #12, #14, #17)，为了使聚类结果可靠，再排除单一类别标签数量小于 10 的聚类(Size < 10)，最后得出最终聚类结果(#0, #1, #2, #3, #4, #6, #7)。聚类类别为 categorie。CiteSpace 设置：Node Types: Country, Selection Criteria: Top N 50 level，其他采用默认设置。Silhouette (聚类平均轮廓值)：0.882 (大于 0.7，聚类结果可信)。

Table 1. Publication status of the top 10 institutions in compound extreme events research

表 1. 复合极端事件研究前 10 名机构发文情况

排序	机构名称	国家	发文量/篇
1	北京师范大学	中国	49
2	中国科学院	中国	46
3	南京信息工程大学	中国	32
4	中山大学	中国	32
5	伯尔尼大学	瑞士	30
6	亥姆霍兹中心环境研究中心	德国	28
7	哥伦比亚大学	哥伦比亚	23
8	瑞士联邦储备技术研究院	瑞士	20
9	德州农工大学	美国	18
10	中国科学院大学	中国	18

从发文机构可以看到有关复合极端事件研究主要集中的高校和科研院所(表 1)，发文量前十机构的发文量占据了该主题下总发文量的 31.5%。反映了该主题下的学术研究主要由少数机构产生，存在一定的

集中性。通过机构合作网络图谱(图 4)，可以直观展示该领域在学术界合作关系和被开发程度。图谱揭示了不同机构在研究领域上存在显著差异，节点的大小和颜色表明各机构的发文总量和时间分布均有较大差异。发文量排在首位的机构为北京师范大学，发文总量为 49 篇，研究涉及气象学与大气科学、环境科学与生态学、水资源、地质学等多个领域，为该学科主题下的领军研究机构。北京师范大学与中国科学院、南京信息工程大学有较强的合作关系；中国科学院发文量处于第二位(46 篇)，研究主要集中于气象学与大气科学、环境科学与生态学。综上，该研究主题下各个机构的研究领域虽有重叠，但节点之间连线数量和密度较低(图 4)，结合总发文情况表明了发文量第一的美国的科研机构比较分散，相比之下发文量第二的中国的科研机构相对集中。

3.2.3. 关键作者及主要研究内容

通过对论文作者的合作网络进行分析，能够揭示该领域作者之间的协作关系与联系(图 5)。利用 CiteSpace 的作者合作网络分析功能，可以获取有关发表作者的基本信息(表 2)。根据统计前 10 名作者总发文量为 180 篇，占总发文量的 19%，其中发文量排在首位的是来自中国的学者郝增超。

Table 2. Publication status of the top 10 authors in compound extreme events research  
表 2. 复合极端事件研究前 10 位作者的发文情况

排序	作者	发文量	初始发文年
1	Hao, Zengchao	32	2018
2	Zscheischler, Jakob	28	2018
3	Zhang, Xuan	24	2018
4	Hao, Fanghua	24	2018
5	Feng, Sifang	16	2020
6	Bevacqua, Emanuele	15	2017
7	Wahl, Thomas	13	2018
8	Wu, Xinying	11	2019
9	Singh, Vijay P	9	2018
10	Chen, Yang	8	2017

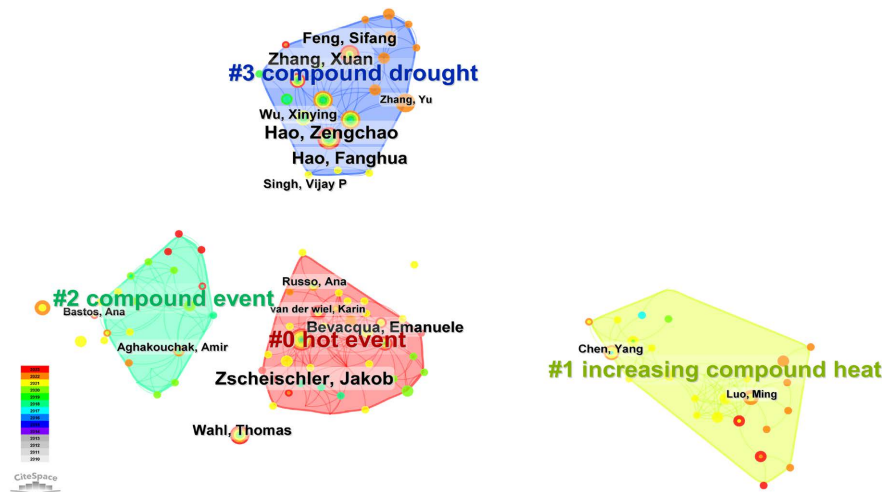


Figure 5. Knowledge map of collaborating authors  
图 5. 合作作者知识图谱

郝增超使用长时间序列气象观测数据对中国区域进行实证研究，分析了复合极端事件的时空分布特征。他发现自 20 世纪末以来，中国多地的复合极端事件(例如高温和干旱的叠加)出现频率显著增加，并预测未来这种趋势在全球变暖背景下将持续。Zscheischler, Jakob 将复合事件分为同时性复合事件和顺序性复合事件。例如，他在《Nature Climate Change》发表的论文中，详细定义了高温与干旱的复合事件，通过对欧洲和亚洲特定区域的气象数据分析，识别并分类了多种复合事件类型，如高温伴随干旱、高降水伴随洪水等，提供了具体的区域性分类实例[19]。

### 3.3. 研究主题发展路径分析

通过分析研究主题的发展路径,可以帮助学者识别研究热点和空白,了解某一领域的研究是如何随着时间的推移不断演变的,识别出该领域中的主要发展阶段和转折点。这对于掌握研究的历史脉络、理解当前研究状态及预测未来发展方向具有重要参考价值(图 6)。



**Figure 6.** Knowledge map of keywords

图 6. 关键词知识图谱

**Table 3.** Emerging terms in the keyword co-occurrence network

表 3. 关键词共现网络突现词

关键词	突现强度	起始年	截止年	时间(2010 年~2023 年)
气候变化	3.41	2011	2017	
散发(光、热、气等)	3.25	2012	2015	
极端气候事件	3.04	2012	2019	
响应	3.26	2014	2017	
树死亡率	3.76	2017	2019	
美国	3.02	2018	2020	
联合概率	2.84	2018	2019	
作物产量	3.09	2020	2021	
依赖性	2.76	2014	2019	
夏天	2.98	2018	2020	
极端降水	3.03	2020	2021	



黑色标签代表关键词聚类结果, 排除了乱码及重复的聚类结果后, 共有 11 条有效聚类集群, 聚类序号越小代表了研究的热度越高。

第一阶段: 2010~2017 年, 文献数量相对较少, 属于该类事件研究的萌芽阶段, 没有发现典型的具有突现性的词汇, 主要研究方向是环境科学生态学、气象学和大气科学、水资源、工程学。研究主要关注引发复合极端事件发生的气候变化, 对应#4 气候变化的聚类分析结果。

第二阶段: 2017~2020 年, 复合极端事件的相关研究开始真正进入高潮时期, 文献数量不断增加。各个方向、各类研究层出不穷, 主要着重环境科学和生态学、气象学和大气科学、地质等方向的研究。

第三阶段: 2020~2023 年, 这一时期发文数量显著增加, 增长速率加快, 研究进入蓬勃发展时期, 为发文量最多的阶段, 研究热点也逐渐关注实际问题, 例如关键词突现“作物产量”(表 3)。在此阶段, 中国 and 美国的发文量基本持平, 国内对此类事件的研究发表了诸多文章, 代表人物有郝增超、张璇、郝芳华, 并且研究集中在长江流域和高温干旱事件, 研究学科主要为气象学。

### 3.4. 主要研究方法

目前基于 WOS 的复合极端事件研究方法, 主要是通过对历史数据建立模型与分析, 还有对未来的预测与模拟, 这就要求方法设计在多维空间展开, 且需要更大的样本量。Copula 多元分布模型是多变量复合事件概率估计的较为常用方法[20]。利用联合概率分布(如 Copula 函数)将多种气象变量(高温、降水、风速等)有机结合, 评估同时或连续发生的极端情境及其重现期。在特定变量处于极端状态下(如持续高温), 分析另一变量(如低降水)的极值出现概率, 为复合风险定量化提供基础。

气候模型和模拟技术是理解复合极端事件未来趋势的关键工具。通过使用全球气候模型(GCMs)和区域气候模型(RCMs), 能够模拟和预测复合极端事件在不同气候情景下的行为。这些模型考虑了大气、海洋、陆地表面和冰冻圈之间的相互作用, 为复合极端事件提供了一个全面的理论框架。模型的校准和验证通常涉及与历史观测数据的比较, 以提高其预测的准确性[21]。也可以通过随机森林、神经网络等方法捕捉多气候因子间的非线性联系, 为风险预判与决策支持提供参考。

## 4. 结论与展望

本文基于 CiteSpace 软件对 2010~2023 年间全球复合极端事件的研究进行了文献计量分析, 揭示了研究热点及发展趋势。研究表明, 在全球气候变化背景下, 复合极端事件的频率和强度显著上升, 尤其是高温、干旱与热浪等事件将更加普遍。这些事件对水资源供给、农业生产、生态系统以及社会经济系统构成了巨大威胁, 且其影响存在明显的地域差异性, 受到地理条件、生态脆弱性和社会经济发展的共同作用。

复合极端事件的分布与气候、地理、社会经济条件密切相关。不同区域的研究关注重点应当如下。亚热带和热带地区: 高度关注台风、热带风暴与暴雨的叠加效应。例如东南亚的台风与洪涝风险, 巴西热带雨林的干旱与森林火灾问题。干旱和半干旱地区: 干旱与沙尘暴复合事件在非洲撒哈拉以南、中东等地区影响显著。农业与水资源的持续压力是研究重点。沿海区域: 海平面上升背景下, 风暴潮与强降雨的叠加效应引发严重洪涝。典型案例如美国墨西哥湾地区和中国东南沿海城市群。研究方向主要为城市基础设施对复合洪涝事件的韧性与适应。高纬度与寒区: 极端寒潮与暴风雪对能源、交通的复合影响。冰川融化引发的洪水与生态失衡。典型区域为北极圈国家、喜马拉雅山区。发达国家: 重点研究复合极端事件对高价值基础设施的冲击, 如美国和欧洲的能源系统适应。发展中国家: 更关注因经济脆弱性而加剧的社会经济风险, 如非洲地区的粮食安全问题。

未来的研究需要进一步加强多学科方法的整合, 借助先进的模型和技术手段提高对复合极端事件的

预测精度和应对措施。具体而言，应聚焦于以下几个方面：

1) 加强复合极端事件发生机制的深入研究，尤其是不同气候因子在多种情景下的非线性关系。深入理解复合极端事件的触发机制及其演变过程，为后续的应对措施提供科学依据。

2) 发展先进的预测模型与模拟工具，例如，结合区域气候模型(RCM)和全球气候模型(GCM)，建立多维的预测体系，提升对极端事件发生的提前预警能力。并结合可视化工具，使预测结果能够直观地呈现，帮助决策者和公众理解潜在风险。

3) 优化灾害管理与风险评估体系，重点关注区域特征，制定差异化的灾害应对策略。例如提高城市基础设施的适应性，增强农业生产系统的抗风险能力，制定有效的风险缓解和应对计划，以减少灾害对脆弱群体的影响。

4) 推动国际合作，推动建立全球复合极端事件数据库，统一数据标准和分析方法，以提高研究的可比性和参考价值。

5) 技术创新与政策支持的协同推进，技术创新和政策措施应协同推进，积极推动复合极端事件监测技术的发展，如遥感技术、物联网传感器网络等，为实时监测和应对提供技术保障。

## 基金项目

国家自然科学基金青年项目(42201089)。

## 参考文献

- [1] Zscheischler, J. and Lehner, F. (2022) Attributing Compound Events to Anthropogenic Climate Change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **103**, E936-E953. <https://doi.org/10.1175/bams-d-21-0116.1>
- [2] Hao, Z. and Singh, V.P. (2020) Compound Events under Global Warming: A Dependence Perspective. *Journal of Hydrologic Engineering*, **25**, Article ID: 03120001. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001991](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001991)
- [3] Wu, H., Su, X. and Singh, V.P. (2023) Increasing Risks of Future Compound Climate Extremes with Warming over Global Land Masses. *Earth's Future*, **11**, e2022EF003466. <https://doi.org/10.1029/2022ef003466>
- [4] Yu, R. and Zhai, P. (2020) Changes in Compound Drought and Hot Extreme Events in Summer over Populated Eastern China. *Weather and Climate Extremes*, **30**, Article ID: 100295. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100295>
- [5] Hao, Z. (2022) Compound Events and Associated Impacts in China. *iScience*, **25**, Article ID: 104689. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104689>
- [6] Velpuri, M., Das, J. and Umamahesh, N.V. (2023) Spatio-Temporal Compounding of Connected Extreme Events: Projection and Hotspot Identification. *Environmental Research*, **235**, Article ID: 116615. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116615>
- [7] Hao, Z., Singh, V.P. and Hao, F. (2018) Compound Extremes in Hydroclimatology: A Review. *Water*, **10**, Article No. 718. <https://doi.org/10.3390/w10060718>
- [8] Messmer, M. and Simmonds, I. (2021) Global Analysis of Cyclone-Induced Compound Precipitation and Wind Extreme Events. *Weather and Climate Extremes*, **32**, Article ID: 100324. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100324>
- [9] Qian, C., Ye, Y., Bevacqua, E. and Zscheischler, J. (2023) Human Influences on Spatially Compounding Flooding and Heatwave Events in China and Future Increasing Risks. *Weather and Climate Extremes*, **42**, Article ID: 100616. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100616>
- [10] Suarez-Gutierrez, L., Müller, W.A., Li, C. and Marotzke, J. (2020) Dynamical and Thermodynamical Drivers of Variability in European Summer Heat Extremes. *Climate Dynamics*, **54**, 4351-4366. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05233-2>
- [11] Garry, F.K., Bernie, D.J., Davie, J.C.S. and Pope, E.C.D. (2021) Future Climate Risk to UK Agriculture from Compound Events. *Climate Risk Management*, **32**, Article ID: 100282. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100282>
- [12] Hao, Z., Hao, F., Singh, V.P., Ouyang, W., Zhang, X. and Zhang, S. (2020) A Joint Extreme Index for Compound Droughts and Hot Extremes. *Theoretical and Applied Climatology*, **142**, 321-328. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03317-x>
- [13] Messori, G., Bevacqua, E., Caballero, R., Coumou, D., De Luca, P., Faranda, D., et al. (2021) Compound Climate Events and Extremes in the Midlatitudes: Dynamics, Simulation, and Statistical Characterization. *Bulletin of the American*

- Meteorological Society*, **102**, E774-E781. <https://doi.org/10.1175/bams-d-20-0289.1>
- [14] Swain, S.S., Mishra, A. and Chatterjee, C. (2024) Time-Varying Evaluation of Compound Drought and Hot Extremes in Machine Learning-Predicted Ensemble CMIP5 Future Climate: A Multivariate Multi-Index Approach. *Journal of Hydrologic Engineering*, **29**. <https://doi.org/10.1061/jhyeff.heeng-6026>
- [15] Cheng, Z., Xie, Y. and Wen, H. (2022) Visualization Analysis of Research on Climate Innovation on Citespace. *Frontiers in Environmental Science*, **10**, Article ID: 1025128. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1025128>
- [16] Li, W., Jiang, R., Zhao, Y., Xie, J., Zhu, J. and Cao, R. (2019) Water Ecological Environment Protection under Changing Environment: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. *Journal of Coastal Research*, **93**, 9. <https://doi.org/10.2112/si93-002.1>
- [17] Zhang, Y., Ni, X. and Wang, H. (2023) Visual Analysis of Greenhouse Gas Emissions from Sewage Treatment Plants Based on Citespace: From the Perspective of Bibliometrics. *Environmental Science and Pollution Research*, **30**, 45555-45569. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25582-9>
- [18] Zscheischler, J., Martius, O., Westra, S., Bevacqua, E., Raymond, C., Horton, R.M., *et al.* (2020) A Typology of Compound Weather and Climate Events. *Nature Reviews Earth & Environment*, **1**, 333-347. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z>
- [19] Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B.J.J.M., Seneviratne, S.I., Ward, P.J., Pitman, A., *et al.* (2018) Author Correction: Future Climate Risk from Compound Events. *Nature Climate Change*, **8**, 750. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0220-z>
- [20] Hao, Z., Hao, F., Singh, V.P., Ouyang, W., Zhang, X. and Zhang, S. (2020) A Joint Extreme Index for Compound Droughts and Hot Extremes. *Theoretical and Applied Climatology*, **142**, 321-328. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03317-x>
- [21] Beckage, B., Lacasse, K., Winter, J.M., Gross, L.J., Fefferman, N., Hoffman, F.M., *et al.* (2020) The Earth Has Humans, So Why Don't Our Climate Models? *Climatic Change*, **163**, 181-188. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02897-x>