

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.018

## 基于文献计量分析的生态系统碳汇现状研究

王应琼<sup>1</sup>, 温庆忠<sup>2</sup>, 王昌命<sup>1</sup>, 尹富鸿<sup>3</sup>

(1. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224; 2. 云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051;  
3. 珠江源省级自然保护区管护局, 云南 宣威 655400)

**摘要:** 为了解近年来生态系统碳汇研究领域的发展状况, 运用 CiteSpace 软件对 CNKI 和 WOS 数据库中 2005—2023 年生态系统碳汇研究领域的相关文献进行可视化分析。通过绘制高频关键词关系网络图谱、作者、机构合作网络图谱以及时间线图谱等, 对国内、国际该领域的演进路径、研究热点与发展态势进行阐述。深入分析不同时段的突现词, 归纳该领域的主流研究热点。结果表明, 该领域发文量国际国内整体上呈波动增长趋势, 相对于国内作者, 国外作者相互之间联系更加紧密, 研究热点上突显了森林在碳汇研究中的重要性, 碳中和与碳汇潜力正在成为新兴的研究热点。

**关键词:** 生态系统碳汇; 文献计量; 网络图谱; CiteSpace; 研究热点

中图分类号: S718.55; P461.7 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0098-10

引文格式: 王应琼, 温庆忠, 王昌命, 等. 基于文献计量分析的生态系统碳汇现状研究[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 98-107. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.018

WANG Yingqiong, WEN Qingzhong, WANG Changming, et al. Carbon Sequestration of Ecosystem Based on Bibliometric Analysis[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 98-107. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.018

## Carbon Sequestration of Ecosystem Based on Bibliometric Analysis

WANG Yingqiong<sup>1</sup>, WEN Qingzhong<sup>2</sup>, WANG Changming<sup>1</sup>, YIN Fuhong<sup>3</sup>

(1. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China; 3. Administration of Zhujiangyuan Provincial Nature Reserve, Xuanwei, Yunnan 655400, China)

**Abstract:** To understand the development status of ecosystem carbon sequestration research in recent years, CiteSpace software was used to visualize and analyze relevant literature in the field of ecosystem carbon sequestration research in CNKI and WOS databases from 2005 to 2023. By drawing high-frequency keyword relationship network maps, authors and institutional cooperation network maps and timeline maps, etc., this paper introduced the evolution path, research hotspots and development trends in this field at home and abroad, analyzed the keywords with strongest citations in different periods and summarized the mainstream research hotspots in this field. The results indicated that the number of publications in this field showed a fluctuating growth trend both domestically and internationally, and compared to domestic authors, foreign authors were more closely related to each other, highlighting the importance of forests in carbon sequestration research, with the emerging research hotspots of carbon neutrality and carbon sequestration potential.

**Key words:** ecosystem carbon sequestration; bibliometric; network map; CiteSpace; research hotspots

收稿日期: 2023-10-16; 修回日期: 2023-11-06.

基金项目: 云南省林业碳汇计量监测项目; 《云南植被志》研编及云南植林业碳汇计量监测项目(202101BC070002).

第一作者: 王应琼(1998-), 女, 云南双柏人, 硕士研究生. 从事森林培育研究. Email: 2095783916@qq.com

责任作者: 温庆忠(1968-), 男, 广东揭西人, 正高级工程师. 从事生态碳汇与生态修复相关研究. Email: wenqingzhong5@126.com

生态系统作为重要的碳汇,具有巨大的潜力,在国家“双碳”目标的实现中将发挥关键作用<sup>[1]</sup>。随着“双碳”目标的提出,国际学术界开始热切关注生态系统碳汇。目前,生态系统碳汇研究领域的综述文献主要涉及生态系统碳循环过程、固碳机制和增汇原理<sup>[2]</sup>、生态系统碳汇的估算方法<sup>[3]</sup>以及生态系统碳汇量及其影响因素<sup>[4]</sup>等。这些文献均是从生态系统碳汇的某个角度进行阐述,缺乏对国际国内生态系统碳汇研究的全面把握。文献计量方法作为一种定量分析手段,能客观地反映学术界对特定领域研究的动态和趋势,揭示研究的热点和前沿问题,评估学术贡献和影响力,同时发现潜在的研究空白和未来发展方向<sup>[5]</sup>。本文采用文献计量学方法,利用 CiteSpace 可视化软件,基于 Web of Science(WOS)和 CNKI 核心数据库 2005—2023 年发表的研究论文进行可视化分析。通过可视化分析,形象地展示国际国内生态系统碳汇研究的作者、机构、热点等内容,旨在帮助广大学者更深入地思考了解生态系统碳汇研究现状。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

利用中国知网(CNKI)作为中文文献数据源,采用主题词“生态系统碳汇”进行模糊搜索,时间跨度设定为 2005—2023 年,初步检索共得到 4 841 篇文献。为确保数据的全面性和准确性,通过人工判读标题和摘要的方式,剔除与主题无关的文献,例如无

作者的通讯、会议论文、报纸报道、成果总结、学术辑刊、特色期刊以及重复发表的论文,最终筛选出 824 篇有效文献。外文文献来源于 WOS(Web of Science)中的核心合集,检索条件为(TS=(Ecosystem)and TS=(carbon sink)),时间跨度为 2005—2023 年,文献类型限定为“Article”“Review Article”和“Proceeding Paper”。共检索出 7 049 篇文献,在逐条筛选后得到供分析的文献为 930 篇。

### 1.2 研究方法

利用 CiteSpace 软件对导入的数据进行分析,并对软件进行特定参数设置。时间切片设定为 2005—2023 年期间;节点类型包括关键词、作者、研究机构以及国家地区。网络修剪层级选择最小生成树算法(MST),这种算法具有预算简洁,且能够快速生成图谱的优点。在生成的图谱中,每个节点代表一位作者、一个研究机构或国家,节点的大小反映了其发表论文的数量,连接线代表了节点之间的合作情况,线的粗细表示合作强度<sup>[6]</sup>。节点内部颜色表示其对应的年份,有紫色外圈的节点代表具有较高内部中心性的关键节点,此类节点对研究领域具有关键性的影响<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 年度发文量分析

年度发文量可很好地反映出生态系统碳汇研究的趋势性及关注度,将相关文献进行时序数列对比<sup>[8]</sup>(图 1)。

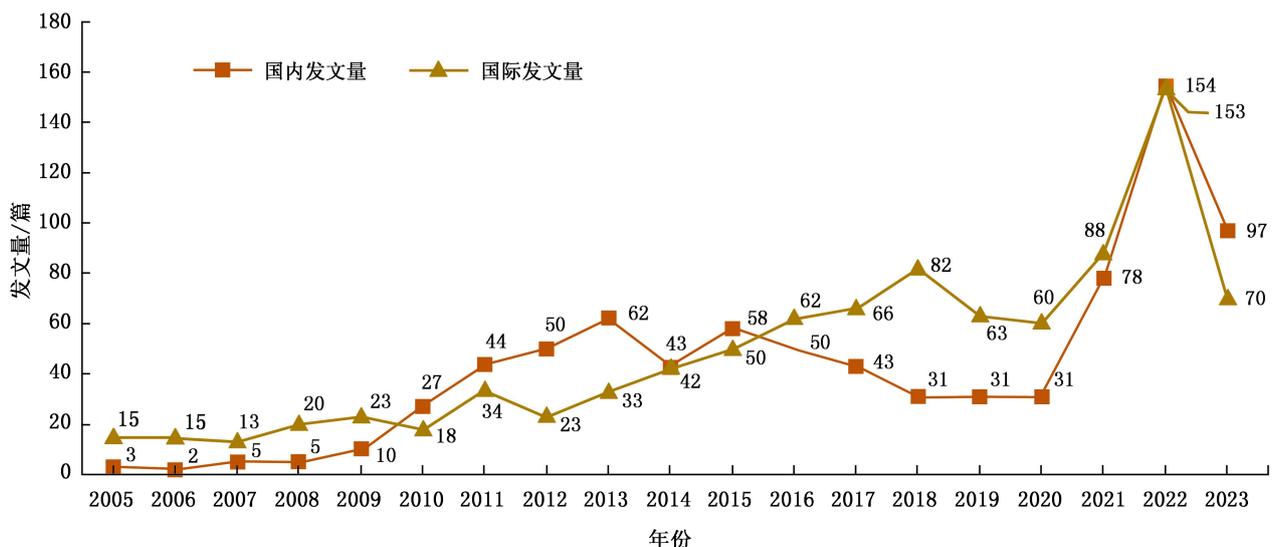


图 1 2005—2023 年生态系统碳汇研究领域发文量

Fig. 1 Number of publications in ecosystem carbon sequestration research from 2005 to 2023

从图 1 可以看出,在整个时间范围内,国际发文量普遍高于国内发文量,但两者的差距逐渐缩小。2022 年是发文量最高的年份,国内和国际发文量均达到较高水平,分别为 154 篇和 153 篇,表明生态系统碳汇研究在全球气候变化中的重要性日益凸显,同时人们对碳汇问题的关注不断增加。根据图 1 可将生态系统碳汇研究发展大致分为 3 个阶段:

**第一阶段:萌芽期(2005—2008 年)**,国内和国际发文量较低,但呈逐年上升趋势。这一时期的背景是国家林业局于 2005 年发布《关于印发 2005 年工作要点的通知》<sup>[9]</sup>,其中提出了强化国际林业碳汇研究的重要性。随后,2007 年成立了应对气候变化和节能减排工作领导小组<sup>[9]</sup>,拉开了碳汇研究工作的序幕。

**第二阶段:探索期(2009—2014 年)**,国内和国际发文量呈稳步增长态势,尤其是国内发文量增速明显,这一趋势得益于 2009 年国家林业局出台的《关于促进农民林业专业合作社发展的指导意见》<sup>[10]</sup>,旨在扩大农田和草地的碳汇潜力。进展到 2011 年,国家林业局发布了《林业应对气候变化“十二五”行动要点》,提出了建立全国林业碳汇计量监测体系,同时启动国内碳汇造林试点等关键措施<sup>[11]</sup>。在这一时期,林业碳汇建设工作得到全面推进,同时也开始探讨农田和草地碳汇等相关领域。

**第三阶段:成长期(2015—2023 年)**,国内和国际发文量呈高速增长趋势,特别是国际发文量有显著增长。这一发展趋势受到了多项政策和举措的推动,2015 年,国务院发布了《生态文明体制改革总体方案》,强调建立增加生态系统碳汇的机制<sup>[12]</sup>。2021 年,习近平总书记提出,要提高生态系统碳汇能力,充分发挥森林、草原、湿地、海洋、土壤以及冻土的作用<sup>[13]</sup>。2022 年党的二十大中习近平总书记再次明确提出要增强生态系统碳汇能力,并积极参与全球气候变化治理<sup>[14]</sup>。这一系列重要政策和发展表明,在该时期,生态系统碳汇已成为全球气候变化领域的热点问题。

## 2.2 研究作者及机构分析

### 2.2.1 研究作者分析

发文作者在科研中占有重要地位,通过分析发文作者及其合作网络结构特征,可以反映出该领域的核心作者群体及其合作关系<sup>[15]</sup>。本文采用普莱斯定律计算核心作者的最低发文量<sup>[16]</sup>。根据 CiteSpace 的统计结果,国际国内发文数量排名前 10

位的作者如表 1 所示。

表 1 国内外发文量排名前 10 位的作者  
Tab. 1 Top 10 authors in terms of domestic and international publication

序号	国际作者			国内作者		
	发文量/篇	首次发文年份	作者	发文量/篇	首次发文年份	作者
1	28	2011	Ciais, Philippe	7	2005	朴世龙
2	23	2011	Piao, Shilong	4	2009	于贵瑞
3	7	2011	Luo, Yiqi	4	2015	刘世荣
4	6	2018	Li, Wei	3	2005	方精云
5	6	2010	Yu, Guirui	3	2013	沈月琴
6	6	2010	Duarte, Carlos M	3	2013	华志芹
7	6	2017	Fisher, Joshua B	3	2023	朱建华
8	6	2018	Ju, Weimin	3	2010	王晓芳
9	5	2018	Friedlingstein, Pierre	3	2010	张颖
10	5	2017	Poulter, Benjamin	3	2012	杨帆

分别计算国内外核心作者的最低发文量阈值。在国内,发文量在 2 篇及以上的被认为是核心作者,共有 106 人满足这一条件。在国际上,发文量在 4 篇及以上的被认为是核心作者,共有 27 人满足这一条件。在国际研究者中,Ciais, Philippe 是最具影响力的研究者,其发文量远超其他研究者,显示其在生态系统碳汇研究领域的重要地位。在国内研究者中,朴世龙是最具影响力的研究者,其发文量也较其他国内研究者高,显示其在国内生态系统碳汇研究中的领导地位。国内生态系统碳汇研究者的发文量整体较国际研究者低,但随着时间的推移,国内研究者的发文量逐渐增加,呈稳步发展趋势。

国际国内作者发文量分析如图 2,图 3 所示。

图谱中每个节点表示一位作者,节点之间的连线反映了作者间的合作强度<sup>[17]</sup>。

从图 2 的 WOS 文献作者合作网络关系可以看出,大部分核心作者之间形成了稳定的合作关系。国际上排名前 10 位的作者中,除了来自中国的 5 名作者外,还有来自不同国家的学者。

图 3 的 CNKI 文献作者合作网络关系显示,国内生态系统碳汇研究者数量较多,但彼此之间的合作关系并不紧密,研究者分散在不同行业 and 部门,呈现小集中、大分散的特点,主要以朴世龙、于贵瑞、刘世荣、方精云和沈月琴等学者为主导力量,在生态系统碳汇研究领域取得了显著的学术进展。

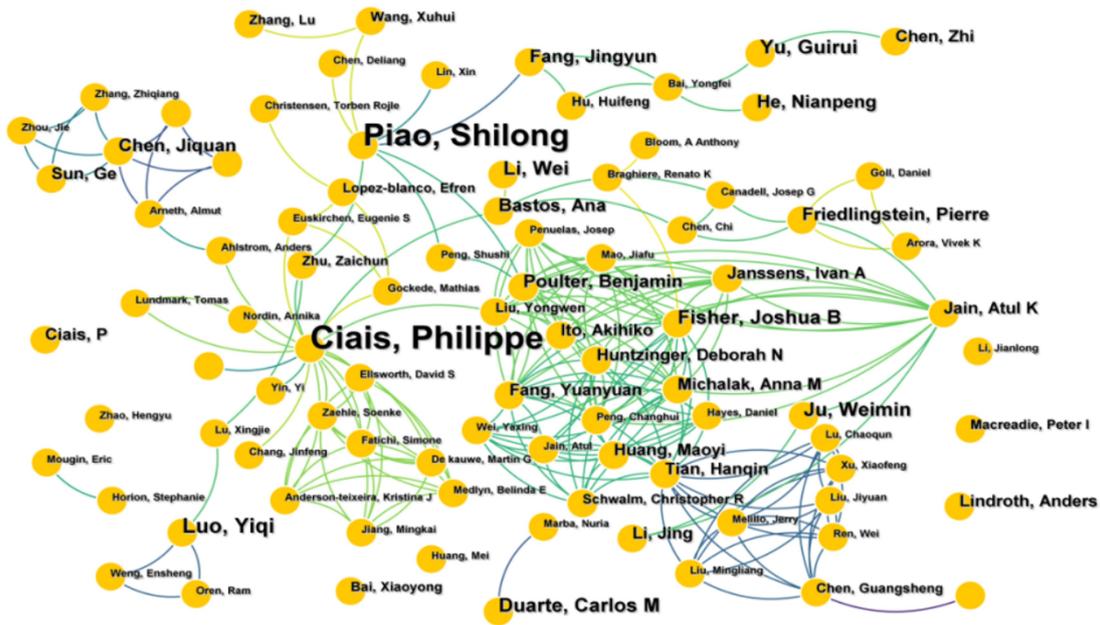


图 2 2005—2023 年生态系统碳汇研究 WOS 文献作者发文量分析及其合作关系

Fig. 2 Publications and cooperation relationships of WOS literature authors on ecosystem carbon sequestration research from 2005 to 2023

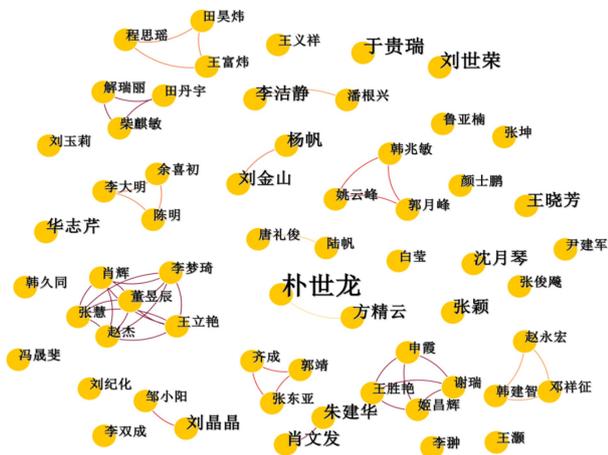


图 3 2005—2023 年生态系统碳汇研究 CNKI 文献作者发文量分析及其合作关系

Fig. 3 Publications and cooperation relationships of CNKI literature authors on ecosystem carbon sequestration research from 2005 to 2023

综合分析,在国际上,生态系统碳汇研究者之间形成了稳定的合作网络,涵盖了不同国家和地区的学者。在国内,虽然研究者数量较多,但合作关系相对分散。因此,加强国内外学者之间的合作交流,汇聚力量,形成更紧密的合作网络,对于推动生态系统碳汇研究领域的发展具有重要意义。

2.2.2 研究机构分析

科研机构肩负着国家战略需求和人才培养的双

重任务,因此对其进行分析很有必要<sup>[18]</sup>。表 2 列出了国内外关于生态系统碳汇研究发文量排名前 10 位的研究机构,在国际研究机构中,中国科学院和中国林业科学研究院是发文量最高的两个机构,分别发文 207 篇和 61 篇。在国内研究机构中,浙江农林大学和东北林业大学是发文量最高的两个机构,分别发表文 18 篇和 15 篇。中国科学院是国际和国内生态系统碳汇研究中发文量最高的机构,显示了其在该领域的研究实力和领导地位。通过数据分析可以看出,高校对生态系统碳汇的研究最多,研究院所次之。

通过对国际机构合作网络的分析可以看到该领域的科研力量分布(图 4)。

如图 4 所示,图中共有 251 个节点和 431 条连线,反映出各机构之间的合作关系较为紧密。特别是中国科学院、北京大学、中国林业科学研究院、隆德大学以及美国“橡树岭”国家实验室所组成的合作机构网络表现最为明显,其合作关系网络规模较大。除排名前 10 位的机构外,还有一些机构虽然未进入排名前列,但与其他机构之间有着密切合作关系。例如,加州理工学院(California Technology)和法国气候和环境科学研究院(CEA CNRS UVSQ)等机构也在该合作网络中发挥着重要作用。整体而言,国际各机构之间合作紧密,形成了一个相对稳固的合作网络结构。这种合作有助于推动生态系统碳汇研究进展,促进学术交流和知识共享。

表 2 国内外发文量排名前 10 位的研究机构

Tab. 2 Top 10 research institutions in terms of domestic and international publication

序号	国际			国内		
	机构名称	发文量/篇	首次发文年份	机构名称	发文量/篇	首次发文年份
1	中国科学院	207	2005	浙江农林大学	18	2012
2	中国科学院大学	61	2015	东北林业大学	15	2010
3	北京大学	46	2011	中南林业科技大学	14	2007
4	隆德大学	37	2007	中国科学院大学	13	2016
5	中国林业科学研究院	32	2005	北京林业大学经济管理学院	12	2008
6	北京师范大学	28	2010	北京林业大学	8	2012
7	美国亚利桑那大学	23	2012	中国海洋大学经济学院	6	2011
8	南京大学	22	2011	浙江农林大学经济管理学院	6	2011
9	赫尔辛基大学	18	2007	北京大学城市与环境学院	5	2022
10	美国橡树岭国家实验室	17	2011	中国科学院地理科学与资源研究所	5	2009

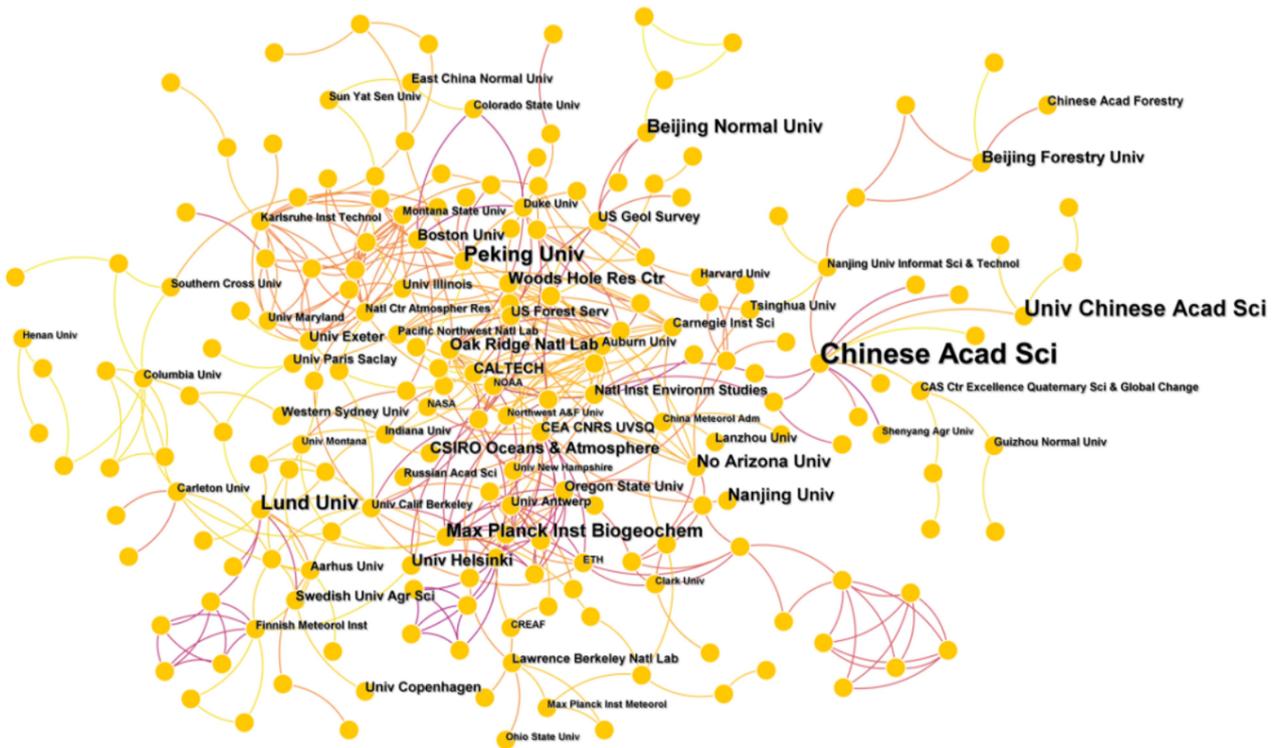


图 4 国际研究机构合作网络

Fig. 4 Cooperation network of international research institutions

国内机构合作网络图如图 5 所示,共有 190 个节点和 85 条连线。该网络密度为 0.004 7,由于密度值较低,表明国内生态系统碳汇研究的科研机构整体合作倾向较低。此外,图 5 显示的网络模块值为 0.817 5,表明该网络具有显著的小群体聚类特征。

在表 2 和图 5 的对比中可以发现,浙江农林大学、东北林业大学和 中南林业科技大学的发文量排

名前 3 位,但他们之间的合作较少为了促进学术交流与合作,为推动生态系统碳汇研究发展,有必要加强这些机构之间的合作。此外,通过对图谱中节点的观察可以发现,合作机构呈一定的跨学科性,不再局限于林业和林业高校,而涉及到财经、农业、工业、化学工程等学科机构,这种跨学科性有助于拓宽生态系统碳汇研究领域,推动该领域的进展。

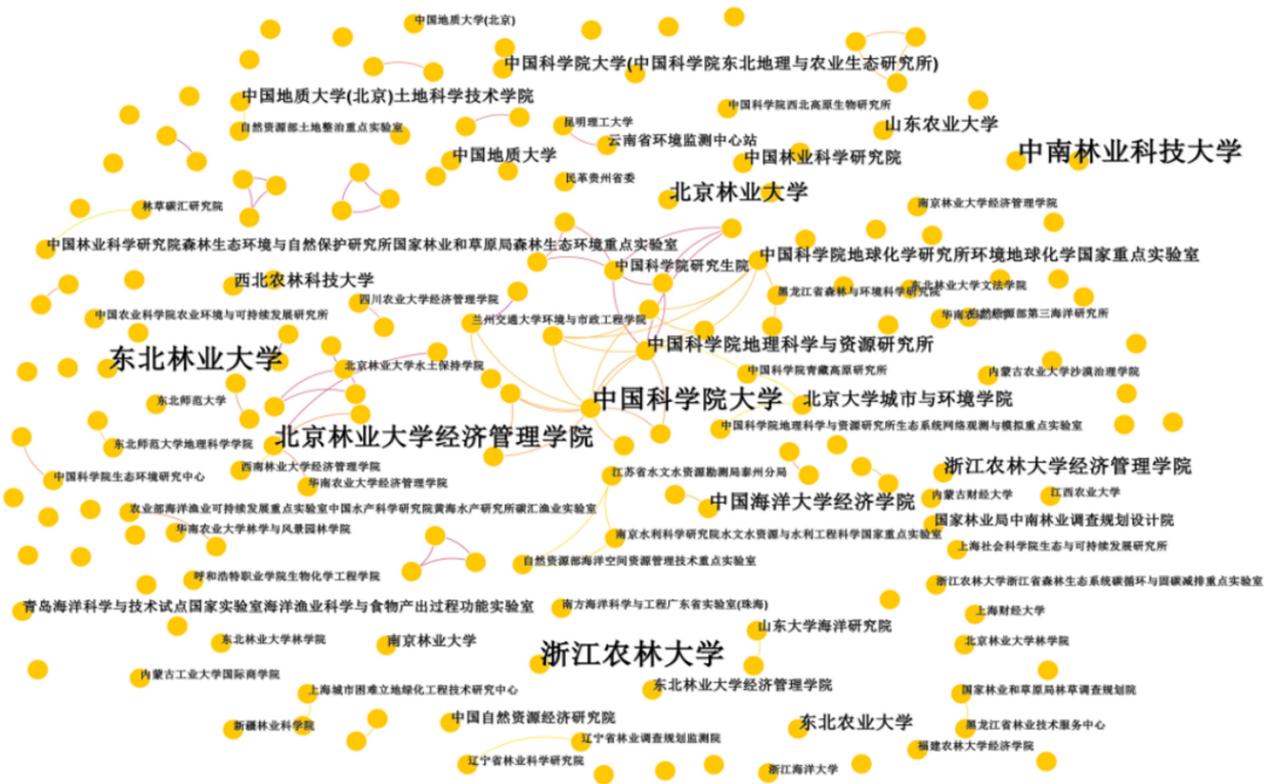


图 5 国内研究机构合作网络

Fig. 5 Cooperation network of domestic research institutions

### 2.3 研究热点与趋势分析

#### 2.3.1 关键词共现分析

关键词在一篇文献中代表其内容的核心和精华,出现频率较高的关键词通常反映了相关领域的研究热点<sup>[19]</sup>。图 6 和图 7 是由 CiteSpace 生成的国际和国内关键词共现图谱。

在图 6 中,有 188 个节点和 262 条连线,网络密度为 0.014 9。其中,“CO<sub>2</sub>”是最明显的关键词,其出现频率最高,紧随其后的是“climate change”“ecosystem”“carbon sink”和“dynamics”等,这表明国际上关于 CO<sub>2</sub> 排放与气候变化关系已成为研究热点。全球气候变化背景下碳循环和生态系统功能的重要性日益凸显。

在图 7 中,“碳汇”是最明显的关键词,其次是“森林碳汇”“碳储量”和“碳中和”,这一现象表明,国内对生态系统碳汇的研究重点集中于森林碳汇、森林碳储量和碳中和研究。

用 Microsoft Excel 2019 对国际国内生态系统碳汇研究关键词出现频率进行汇总,并将排名前 10 位的关键词从高到低进行排序(表 3)。

由表 3 可以看出,“碳汇”和“climate change”是研究中出现频率最高的关键词,“森林碳汇”“碳储

量”和“CO<sub>2</sub>”是热门关键词,显示了森林在碳汇研究中的重要性以及碳储量和二氧化碳在生态系统碳汇关注度上的突出地位。“碳中和”和“海洋碳汇”是近年来在生态系统碳汇研究中出现的新兴关键词,这可能反映了对碳中和技术和海洋生态系统在气候变化应对中的日益关注。关键词频数与中心性一般呈正相关,但不表示频数越大中心性就越强<sup>[20]</sup>,每个关键词的中心性指标存在差异<sup>[20]</sup>,如“CO<sub>2</sub>”和“森林碳汇”中心性高,但频数不是最高,这表明某些研究方向的成果集中在少数研究学者之中。

#### 2.3.2 热点研究主题分析

国际关键词聚类(图 8)的 Q 值为 0.721 7(大于 0.5),S 值为 0.862(大于 0.7),说明该聚类结构是显著的,并且具有较高的可信度。国内关键字聚类(图 9)的 Q 值和 S 值分别为 0.817 5 和 0.967 8,其聚类结果也是非常显著的。从国际生态系统碳汇关键词聚类图来看,国际对生态系统碳汇的研究主要是:(1)气候与生态系统碳汇关系:研究气候变化对生态系统碳汇的影响;(2)生态系统碳循环和碳交换:研究生态系统中碳的流动和交换过程,包括生态系统碳的吸收、释放、转移和储存等;(3)碳汇的年度变化研究:研究碳汇在不同年份、季节的变化情况,

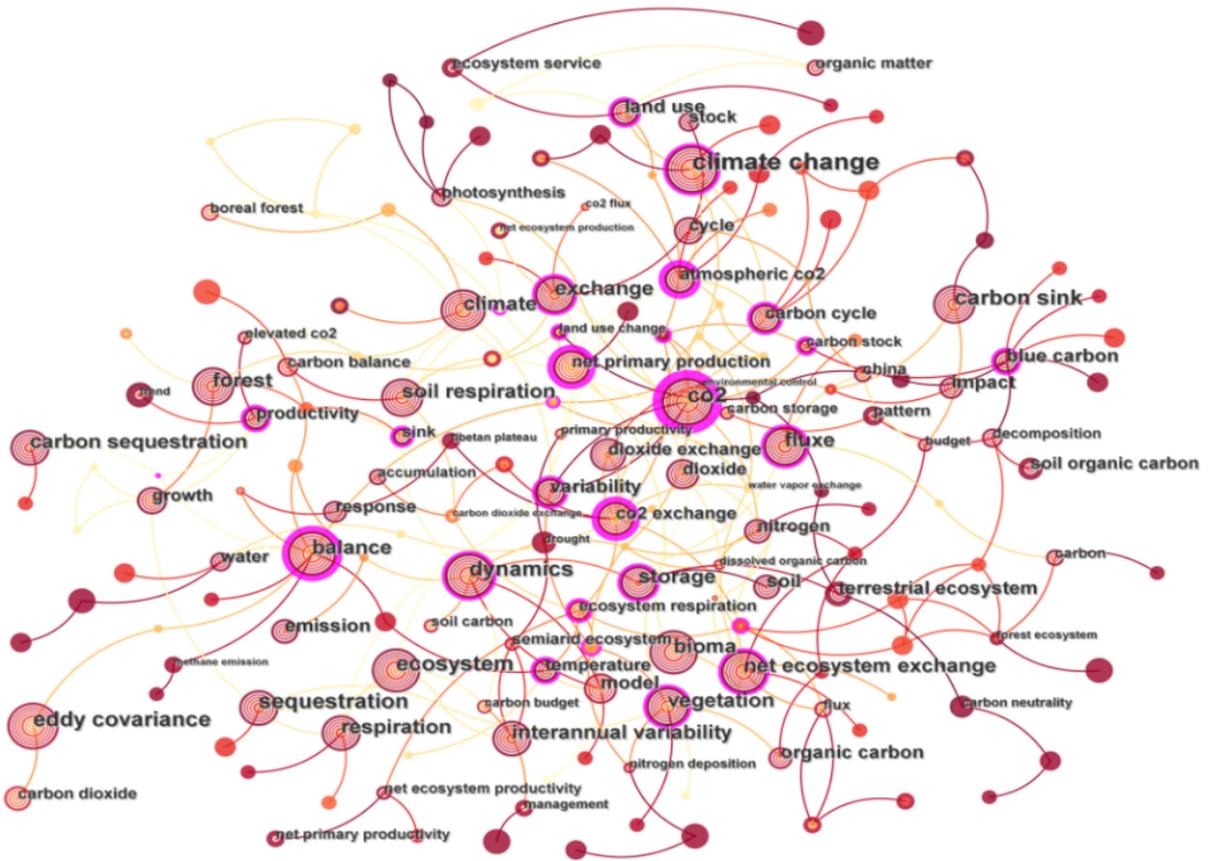


图 6 WOS 文献关键词共现图谱

Fig. 6 Keywords co-occurrence map of WOS literature

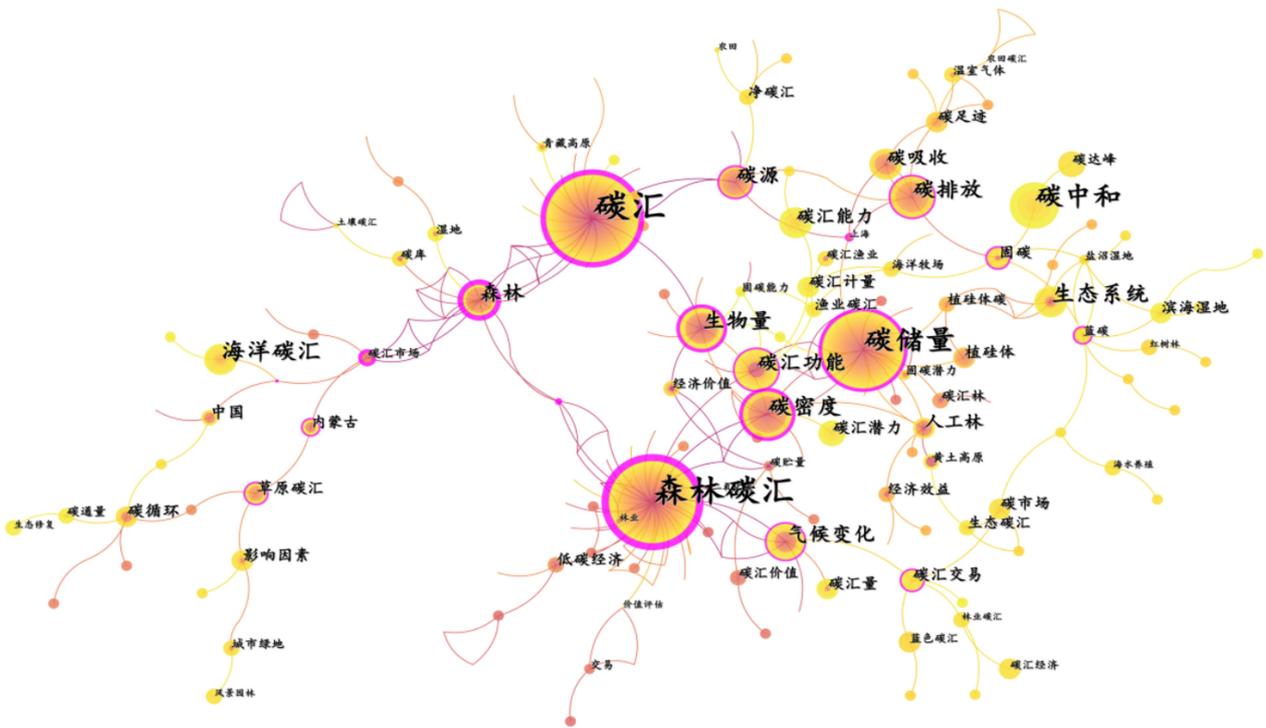


图 7 CNKI 文献关键词共现图谱

Fig. 7 Keywords co-occurrence map of CNKI literature

表 3 国际国内生态系统碳汇关键词出现频率

Tab. 3 Keywords frequency of ecosystem carbon sequestration in international and domestic research

序号	国际				国内			
	关键词	频数	中心性	起始年份	关键词	频数	中心性	起始年份
1	climate change	218	0.14	2005	碳汇	190	0.42	2005
2	ecosystem	114	0.07	2005	森林碳汇	159	0.65	2005
3	sequestration	106	0.07	2006	碳储量	73	0.27	2009
4	CO <sub>2</sub>	102	0.43	2005	碳中和	58	0.01	2021
5	dynamics	100	0.17	2006	海洋碳汇	29	0.01	2018
6	eddy covariance	98	0.02	2005	生态系统	27	0.01	2010
7	carbon sink	97	0.03	2009	碳密度	26	0.31	2005
8	respiration	86	0.05	2005	碳排放	24	0.16	2011
9	forest	85	0.04	2005	生物量	23	0.21	2007
10	fluxe	83	0.11	2007	森林	20	0.47	2006

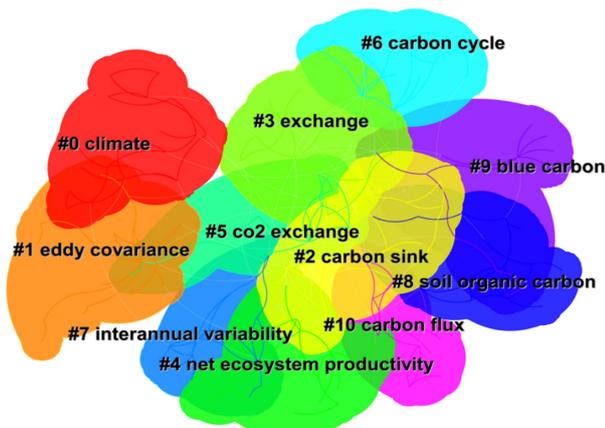


图 8 国际生态系统碳汇研究关键词聚类

Fig. 8 Keywords cluster of international ecosystem carbon sequestration research

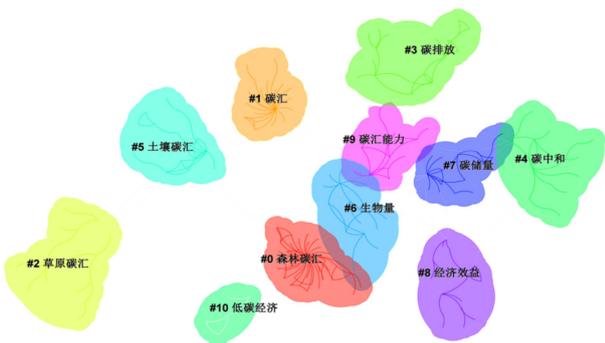


图 9 国内生态系统碳汇研究关键词聚类

Fig. 9 Keywords cluster of domestic ecosystem carbon sequestration research

探讨气候等因素对碳汇年际变化的影响。从国内生态系统碳汇关键词聚类图谱中可以发现,国内对生

态系统碳汇的研究主要是:(1)碳汇的定量评估:对不同类型生态系统(如森林、草原、湿地等)中的碳汇进行定量评估,了解其在吸收和储存碳方面的能力以及对全球碳循环的贡献;(2)碳中和与低碳经济:研究碳中和策略,即通过吸收或提高等方式应对碳排放,以及推动低碳经济发展,减少碳排放和碳汇的经济效益;(3)碳排放研究:除关注碳汇外,生态系统碳汇研究还探讨碳排放情况,即生态系统向大气中释放碳的过程,以全面了解生态系统对碳循环的贡献。

### 3 研究前沿分析

突现词是指在某个时间段内词频突然明显增多的关键词,能够反映相关领域的研究前沿动态<sup>[21]</sup>。图 10 为 WOS 数据库生态系统碳汇研究的关键词突现分析。

从图 10 中可以看出,早期的生态系统碳汇研究主要集中在 2005—2010 年间,关键词包括生产力、净初级生产力和水蒸气交换。主要关注生态系统碳通量的测量和净生产力的评估以及与水循环相关研究。2007—2015 年间,关键词“CO<sub>2</sub> 交换”和“平衡”突现,开始关注生态系统与大气之间的碳交换过程以及生态系统的碳平衡状况。反映了此前对生态系统在全球碳循环中的作用和碳平衡的关注。近年来的关键词突现了一些新兴的研究方向,例如,“蓝碳”的关键词出现于 2018—2020 年间,表明对海洋生态系统作为碳汇的研究越来越受到重视。从图 10 中关键词的变化趋势可以看出,生态系统碳汇研



图 10 国际生态系统碳汇研究关键词突现分析

Fig. 10 Keywords with strongest citations of international ecosystem carbon sequestration research

究正呈现出地理学、生态学、气候学等多个学科的交叉融合趋势,这将成为未来生态系统碳汇研究的发展方向,有助于更全面地理解生态系统碳循环

的复杂性。

图 11 为 CNKI 数据库生态系统碳汇研究的关键词突现分析。

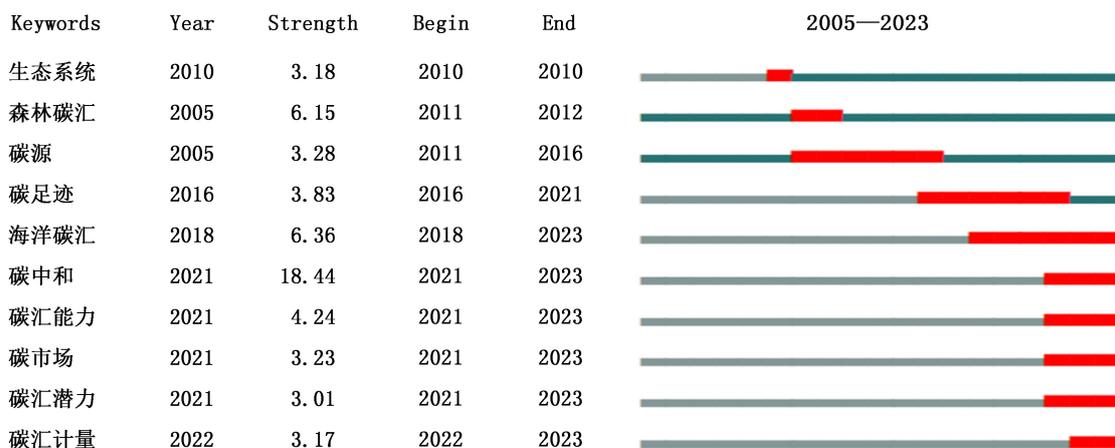


图 11 国内生态系统碳汇研究关键词突现分析

Fig. 11 Keywords with strongest citations of domestic ecosystem carbon sequestration research

从图 11 关键词的出现年份可以看出,生态系统和森林碳汇的研究相对较早,起始于 2005 年,而碳足迹、碳中和等关键词的研究则较晚,起始于 2016 年。说明过去的生态系统碳汇研究主要集中在森林碳汇和碳源方面;最近的研究重点似乎转向了海洋碳汇、碳中和、碳市场,这反映了对海洋生态系统和碳排放指标的关注。

#### 4 结 论

1) 从研究的基本特征来看,生态系统碳汇研究逐步成为当前研究热点,发文量国际国内整体上均呈波动增长趋势,并可划分为萌芽期、探索期、成长期 3 个阶段,其中 2022 年是该领域的发文高峰期,国际国内分别发文 163、154 篇,相较于国际而言,国内对

于生态系统碳汇的研究展示出更多的热情。

2)从研究作者和研究机构来看,我国的研究群体已初具规模,但只有少数作者构成了紧密的群体关系,国外作者相对于国内作者,相互之间联系更加紧密。国内外生态系统碳汇研究主要均是以高校为主导,但国内机构之间的联系较少,国外则呈现出相反的态势。这表明国内在该领域有很大的发展潜力,需要更多的学者和团队参与其中,加强跨学科、跨机构、跨领域合作,以推动该领域研究成果更好地应用于实践。

3)从研究进展与热点上看,生态系统碳汇研究的热点词集中在对森林碳汇、碳储量、CO<sub>2</sub> 以及海洋碳汇等关键词,突显了森林在碳汇研究中的重要性,海洋碳汇和碳中和正在成为新兴关键词,反映了应对气候变化挑战的紧迫性。国际研究主要关注气候与生态系统碳汇关系、生态系统循环与碳交换、碳汇的年际变化;国内研究主要关注碳汇的定量评估、碳中和、低碳经济策略及碳排放以及生态系统碳汇对碳循环的贡献。

4)从研究前沿看,碳中和与碳汇潜力正在成为新兴的研究热点,跨学科跨领域的综合研究和应用正在成为趋势,研究方向涉及技术、政策、市场等多个方面。同时,碳交易和碳汇经济将逐渐成为全球关注的焦点,碳中和与碳汇潜力研究将为全球应对气候变化问题提供重要支持和保障。

## 参考文献:

- [1] YU G,ZHU J,XU L,et al. Technological approaches to enhance ecosystem carbon sink in China:Nature-based solutions[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences (Chinese Version),2022,37(4):490-501.
- [2] 周子勋. 我国生态系统碳汇巨大 缓解气候变化大有可为[N]. 绿色低碳,2023-04-27(03).
- [3] 朴世龙,何悦,王旭辉,等. 中国陆地生态系统碳汇估算:方法、进展、展望[J]. 中国科学:地球科学,2022,52(6):1010-1020.
- [4] 石铁矛,王迪,汤煜,等. 城市生态系统碳汇固碳能力计算方法与影响因素研究进展[J]. 应用生态学报,2023,34(2):555-565.
- [5] 张哲,沈月琴,龙飞,等. 森林碳汇研究的知识图谱分析[J]. 浙江农林大学学报,2013,30(4):567-577.
- [6] 胡森,涂圣勇,方传奇,等. 基于 Citespace 的人工林碳汇研究知识图谱分析[J]. 江西科学,2022,40(4):677-682.
- [7] 杨莹博,易显凤,刘学录,等. 基于文献计量的草地恢复近 20 年研究态势分析[J]. 中国草地学报,2021,43(7):95-105.
- [8] 殷俊,邓昌昊,马平瑞. 我国老年人劳动供给的研究进展——基于 CiteSpace 的可视化计量分析[J]. 社会保障研究,2023(3):92-102.
- [9] 国务院. 国务院关于印发 2005 年工作要点的通知[EB/OL]. (2008-03-28). [https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content\\_1827.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2008-03/28/content_1827.htm).
- [10] 国家林业局. 国家林业局关于促进农民林业专业合作社发展的指导意见[EB/OL]. (2013-09-06). <http://www.forestry.gov.cn/c/www/gkgfxwj/300201.jhtml>.
- [11] 国家林业局网站. 林业局印发林业应对气候变化“十二五”行动要点[EB/OL]. (2012-02-01). [https://www.gov.cn/gzdt/2012-02/01/content\\_2055853.htm](https://www.gov.cn/gzdt/2012-02/01/content_2055853.htm).
- [12] 国务院. 中共中央 国务院印发《生态文明体制改革总体方案》[EB/OL]. (2015-09-21) [https://www.gov.cn/gongbao/content/2015/content\\_2941157.htm?eqid=c9c1041a000173ed00000006645866ec](https://www.gov.cn/gongbao/content/2015/content_2941157.htm?eqid=c9c1041a000173ed00000006645866ec).
- [13] 人民日报. 提升生态碳汇能力[EB/OL]. (2021-06-10). [http://www.china.com.cn/opinion/theory/2021-06/10/content\\_77559052.htm](http://www.china.com.cn/opinion/theory/2021-06/10/content_77559052.htm).
- [14] 经济日报. 积极稳妥推进碳达峰碳中和[EB/OL]. (2022-11-11). <http://cpc.people.com.cn/n1/2022/1111/c448544-32563758.html>.
- [15] 王成梁,戴坚,留伊丹,等. 人工智能辅助教育应用研究的全球知识图谱:发展路径与前沿动态——基于 CNKI 与 WOS 的文献计量分析[J]. 软件导刊,2023,22(1):38-45.
- [16] 刘章生,祝水武,刘桂海. 国内生态资本文献计量研究[J]. 生态学报,2021,41(4):1680-1691.
- [17] 吴胜男,王晓锋. 我国美丽乡村建设研究进展及热点演变——基于文献计量分析[J]. 绿色科技,2023,25(5):62-70.
- [18] 耿一睿,苗红,贾菲,等. 基于 CiteSpace 的旅游研究科研合作网络可视化分析[J]. 旅游研究,2019,11(5):14-24.
- [19] 陈宇,沈利娜,张强,等. 基于 CiteSpace 的国内外苦苣苔科植物文献计量分析研究[J]. 广西科学,2023,30(2):226-238.
- [20] 赵雅曼,邹朝晖. 生态系统碳汇空间占用补偿研究进展与展望——基于 CNKI 数据库的文献计量[J]. 中国国土资源经济,2023,36(8):80-89.
- [21] 潘思佩,陈万旭,梁加乐,等. 基于文献计量分析的国内外空间规划研究比较[J]. 中国农业资源与区划,2023,44(2):131-144.

责任编辑:许易琦