

# 基于CiteSpace的文献计量分析数字贸易研究热点

韦灵灵<sup>1\*</sup>, 车丽萍<sup>1\*</sup>, 何嘉濠<sup>2</sup>

<sup>1</sup>上海理工大学管理学院, 上海

<sup>2</sup>上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海

收稿日期: 2025年5月7日; 录用日期: 2025年6月13日; 发布日期: 2025年6月20日

## 摘要

本研究运用CiteSpace软件对数字贸易相关文献进行计量分析, 基于中国知网(CNKI)和Web of Science数据库, 分别筛选出625篇中文文献与389篇外文文献作为样本。通过绘制发文量趋势图、关键词共现图等多种图谱, 发现数字贸易自2018年起受关注程度不断上升, 且国内外都对技术创新、电子商务、贸易等热点开展研究, 但是也有各自的研究侧重点, 国内主要从宏观视角来研究数字经济、数字技术等, 国外主要侧重于加密市场、保护动机理论等隐私保护的研究。此外, 通过关键词突现分析, 明晰了研究热点的动态变化, 数字治理、国内监管等或将成为未来研究热点。我国学者需加强合作, 并且深入开展数字贸易规则制定的研究, 以推进数字贸易领域研究不断深入。

## 关键词

数字贸易, CiteSpace, 文献计量, 研究热点

# Bibliometric Analysis of Digital Trade Research Hotspots Based on CiteSpace

Lingling Wei<sup>1\*</sup>, Liping Che<sup>1\*</sup>, Jiahao He<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

<sup>2</sup>School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: May 7<sup>th</sup>, 2025; accepted: Jun. 13<sup>th</sup>, 2025; published: Jun. 20<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

This study employs CiteSpace software to conduct a quantitative analysis of literature related to

\*共同一作。

文章引用: 韦灵灵, 车丽萍, 何嘉濠. 基于 CiteSpace 的文献计量分析数字贸易研究热点[J]. 运筹与模糊学, 2025, 15(3): 464-476. DOI: 10.12677/orf.2025.153177

digital trade. Based on the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science databases, 625 Chinese-language articles and 389 foreign-language articles were selected as samples. By drawing various graphs such as the trend chart of publication volume and the co-occurrence map of keywords, it was found that the attention to digital trade has been continuously increasing since 2018. Both domestic and foreign researchers have focused on hot topics such as technological innovation, e-commerce, and trade. However, there are differences in their research emphases. Domestic research mainly focuses on the macro perspective of the digital economy and digital technology, while foreign research mainly focuses on privacy protection in areas such as the encrypted market and protection motivation theory. Additionally, through the analysis of keyword bursts, the dynamic changes in research hotspots were clarified. Digital governance and domestic regulation may become future research hotspots. Chinese scholars need to enhance cooperation and conduct in-depth research on the formulation of digital trade rules to promote the continuous deepening of research in the field of digital trade.

## Keywords

Digital Trade, Citespace, Bibliometrics, Research Hotspots

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

数字贸易是一种由数字技术赋能传统贸易、贸易方式数字化和贸易对象数字化孕育形成的新兴贸易形态,是国际贸易创新发展的一次飞跃[1]。近年来,数字贸易日益成为各国参与全球经济的重要引擎,是国际经济与贸易领域的研究前沿和热点问题[2]。

关于数字贸易的定义,早在2010年Weber R.H.就提出了数字贸易是依赖于互联网等电子方式进行数字产品和服务的传输[2]。2014年,美国国际贸易委员会(USITC)扩展了数字贸易的含义,指出数字贸易是通过互联网进行的所有货物和服务交易。邵军(2024)认为数字贸易是指通过互联网订购且线上交付的贸易形态,即数字化交付贸易,数字化交付贸易更能反映出数字技术所驱动的国际贸易形态的结构性变革[3]。张春飞(2024)认为数字贸易主要包括两部分,分别以数字交付为主要形式的数字服务贸易和以数字订购为主要形式的货物贸易[1]。AzmeH (2020)将数字贸易定义为通过数字方式提供商品和服务。数字贸易的概念是不断发展与深化的,但其根本是通过数字信息技术来促进商品服务的全球跨境贸易[4],因此,本文认为数字贸易是通过数字平台或运用数字技术进行的货物和服务贸易。

现有研究大都是聚焦于数字贸易的经济价值来开展研究,马静等(2025)认为我国应该抓住数字贸易带来的市场机遇实现国际化发展[5]。谢向伟等(2025)基于中国272个城市的数据,利用动态面板系统GMM方法实证检验了城市数字贸易发展对共同富裕的影响及其作用机制,发现城市数字贸易发展通过生产率提升机制和产业结构升级机制对共同富裕有显著的促进作用[6]。郑佳宁等(2024)采用CRITIC-G1-Bonferroni算子测度数字贸易发展水平,进而利用固定效应模型、门槛效应模型、空间杜宾模型检验数字贸易对优化布局的影响与机制,研究发现数字贸易不仅直接促进新型城镇化优化布局,还对优化布局产生间接影响[7]。关于数字贸易规则方面的研究也慢慢出现在大家的视野中,周念利、陈寰琦(2020)认为美式数字贸易规则在贸易双方经济发展水平差距越大时,对于双边数字贸易流量的促进作用越大[8]。沈玉良等(2022)探讨了中国新一代贸易规则的导向[9]。从贾怀勤等(2021)开始初探数字贸易测度的方法[10],

到周娟美(2022)利用空间自相关、基尼系数、 $\beta$  收敛模型三个维度探究数字贸易发展水平[11], 数字贸易测度研究在不断深化。综上, 关于数字贸易的研究角度多样, 但是运用可视化分析软件计量分析研究国内外有关数字贸易的文献研究, 还比较鲜有。

本研究采用目前应用最为广泛的知识图谱分析软件 CiteSpace 对文献进行归纳整理和计量分析, 构建知识图谱, 展示出数字贸易研究的热点, 为该领域的研究者提供参考与建议。本研究旨在更好地理解数字贸易研究的现状和未来发展方向, 为研究者、企业、政策制定者们提供科学合理的研究指引和理论参考。

2. 数据获取与研究方法

本研究采用知识图谱分析软件 CiteSpace 对文献进行综合归纳, 以便用直观的方式呈现出数字贸易领域的研究热点和趋势。通过运用文献计量方法与 Cite Space 可视化工具, 绘制知识图谱以及聚类分析等, 梳理出数字贸易研究进展[12]。本研究以中国知网(CNKI)数据库为数据来源, 限定 CSSCI 期刊文献来源, 以“数字贸易”为主题进行中文文献检索, 并将 2014 年 1 月至 2025 年 3 月设置为搜索时间, 检索出结果文献为 1135 篇, 剔除与主题不符的文献, 最终获得 625 篇有效文献为样本。

本文通过检索 Web of Science 数据库中的 SSCI 核心期刊文献, 以 digital trad 为关键词, 检索出 3427 篇文献, 时间跨度设计为 2010 年 1 月至 2025 年 5 月, 再以 online 为主题进一步精练检索出 389 篇文献, 最终得到 389 篇文献作为计量样本。

3. 研究结果

3.1. 发文整体趋势

2014 年至 2024 年这十年间, 我国数字贸易研究文献数量呈动态变化趋势, 大致分为两个阶段见图 1: 第一个阶段(2014~2017)为沉寂期: 每年仅有 4 篇, 甚至在 2015 年仅有一份相关的文献。第二个阶段(2018~2024)为发展期: 由于时代的进步发展, 数字贸易逐渐成为学者们关注的焦点, 发文量逐年快速上升。2025 年的文献仅是检索至 3 月份, 也有 10 篇, 见图 1。由此可见, 数字贸易研究仍然是学者们所关注的热点。

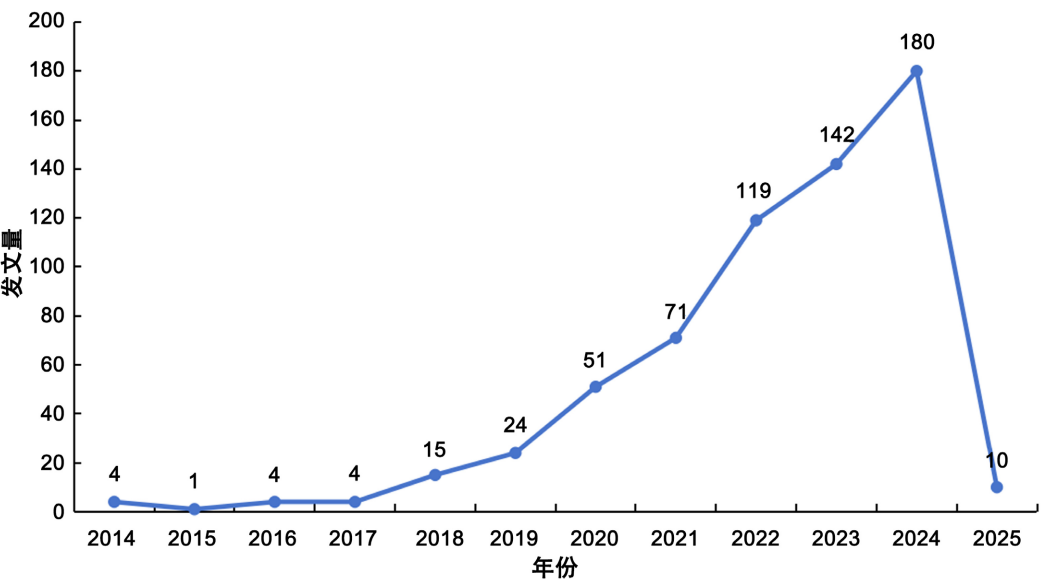


Figure 1. The number of published papers on digital trade-related research in the CNKI Database from 2014 to March 2025  
图 1. CNKI 数据库 2014 年~2025 年 3 月数字贸易相关研究发文量图

在检索出的外文期刊中, 数字贸易研究文献总体上是呈向上发展的趋势如图 2 所示, 大致上可以分为三个阶段[13]: 第一个阶段是初步发展期(2010~2017): 在这七年里, 在 2011 年的 6 篇小高峰之后, 数字贸易的发文数量是逐年增长的, 到 2017 年发文量为 20 篇。第二阶段是间断期(2018): 2018 年相比 2017 年的发文量是减少的, 但数量依然是多的。第三阶段是高速发展期(2019~2024): 数字贸易发文量以高速度逐年上升, 至 2023 年达到顶峰 60 篇, 虽然在 2024 年下降 59 篇, 但从整体来看, 对于研究数字贸易的趋势是上升的。截至目前, 2025 年有关数字贸易的相关外文文献有 31 篇。

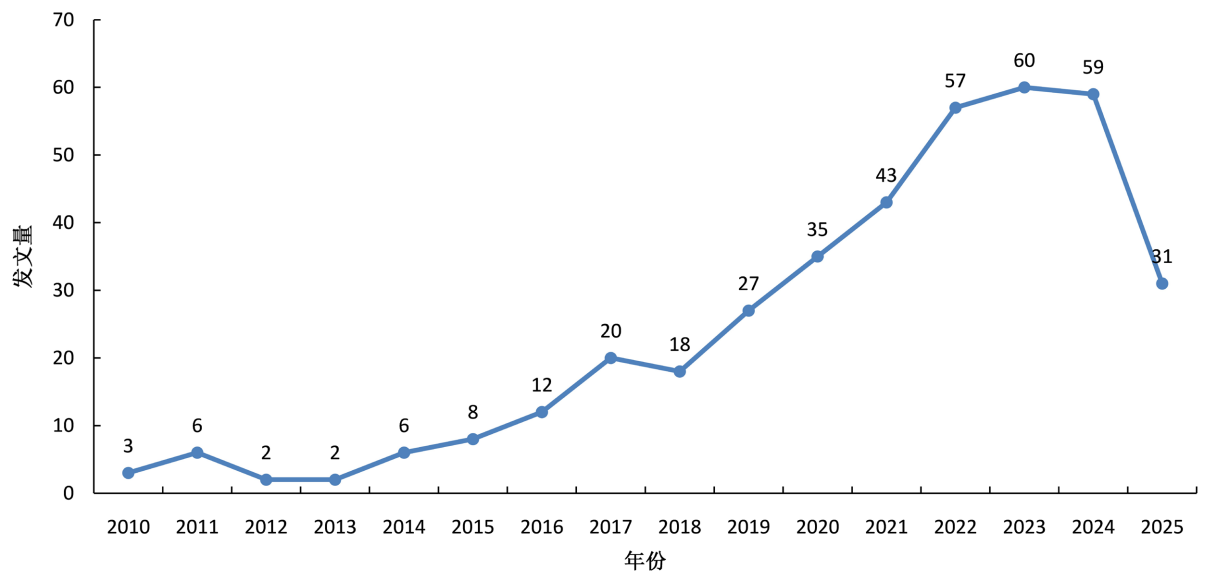


Figure 2. The number of published papers on digital trade-related research in the web of science database from 2014 to May 2025

图 2. Web of Science 数据库 2014~2025 年 5 月数字贸易相关研究发文量图

### 3.2. 作者及研究机构图谱分析

#### 3.2.1. 发文作者分析

基于 CiteSpace 对文献作者的可视化分析, 见图 3, 表现出作者之间的合作不频繁。其中, 最具影响力的学者为周念利和陈寰琦, 周念利与陈寰琦等作者有连线, 表明他们之间有更多的合作。其次为沈玉良、齐俊妍、马述忠、姚战琦等学者发文数量也较多, 为 7 篇。图谱中也有一些较小且孤立的节点, 这些学者可能在该领域的合作较少, 或者他们的研究较为独立。这张图谱通过可视化的方式展示了 2014~2025 年间数字贸易研究领域内学者的合作网络。核心学者在网络中扮演着重要角色, 形成了多个合作群体。

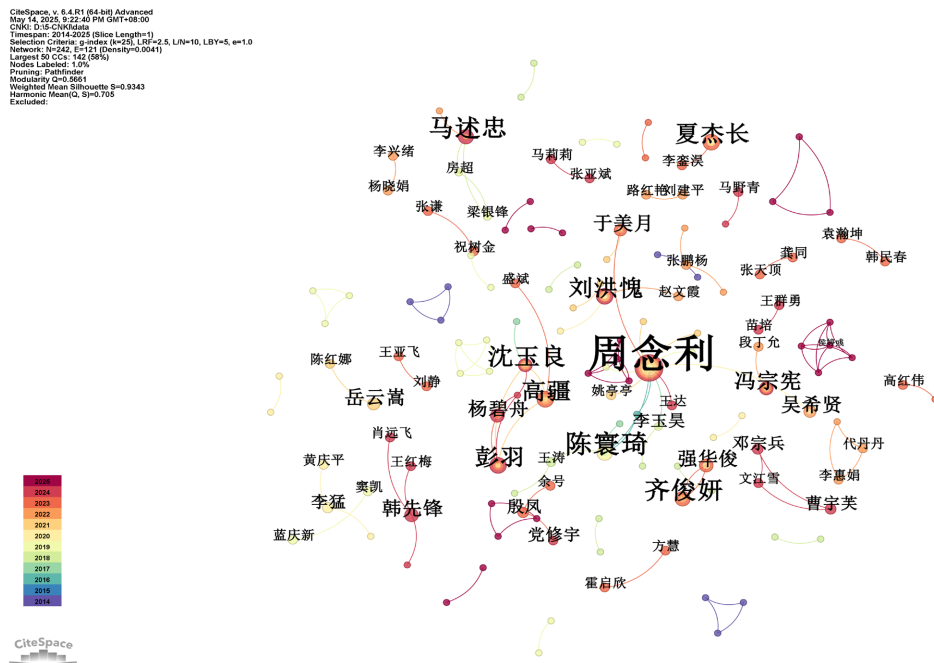
从检索出的数字贸易文献作者情况来看, 见图 4, 比较突出的 Barratt, Monica J, 表明他们的影响力较大。学者之间的合作在图中可以表示为节点与节点之间的连线, 图中有许多节点的连线比较多, 那么就表示他们合作越频繁, 图中许多作者都以 Barratt, Monica J 为核心形成一个网, 相比 CNKI 数据中检索出来的中文文献作者, 部分外文文献作者的交流合作是更密切的。

#### 3.2.2. 机构合作图谱分析

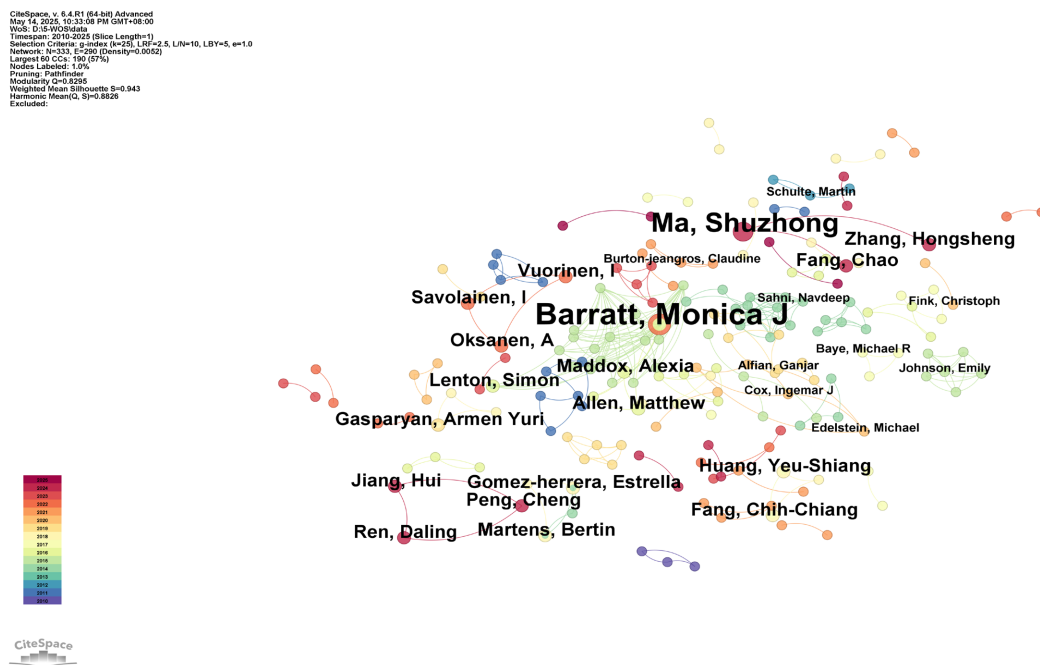
在 CiteSpace 软件中选择“机构”, 就得到数字贸易文献发文机构图, 见图 5, 图谱中的每个节点代表一个研究机构, 节点的大小表示该机构在网络中的重要性或影响力, 通常是基于其发表的论文数量或被引用次数。节点之间的连线同样表示机构之间的合作关系, 如图 5 所示在边缘还有一些节点是没有连



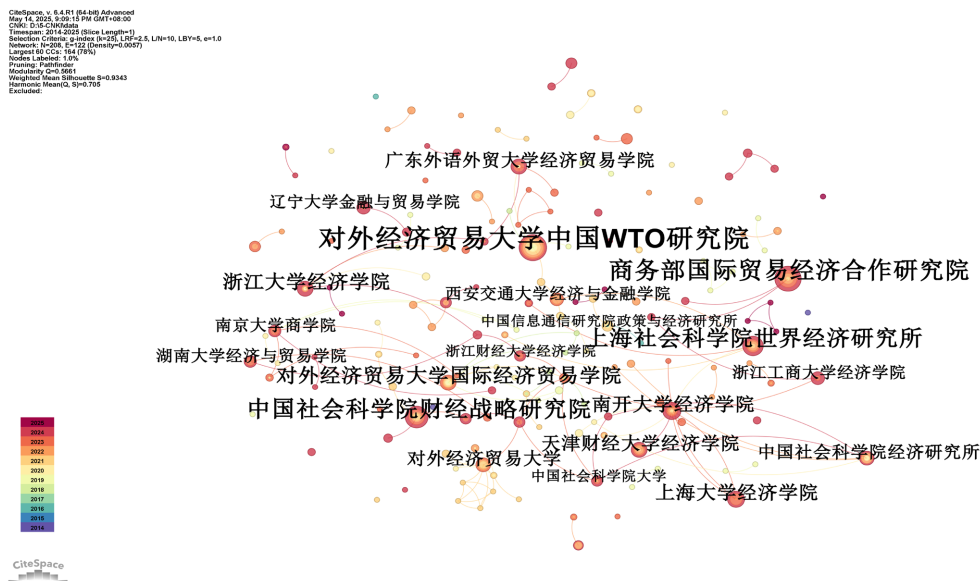
线数的, 这反映出国内研究数字贸易的机构之间合作较少。其中, 对外经济贸易大学中国 WTO 研究院、商务部国际贸易经济合作研究院等位于图谱的核心位置, 表明它们是数字贸易领域的核心机构, 也随之形成多个合作群体。



**Figure 3.** Analysis of the authors of Chinese literature related to digital trade  
**图 3.** 数字贸易相关中文文献作者情况分析

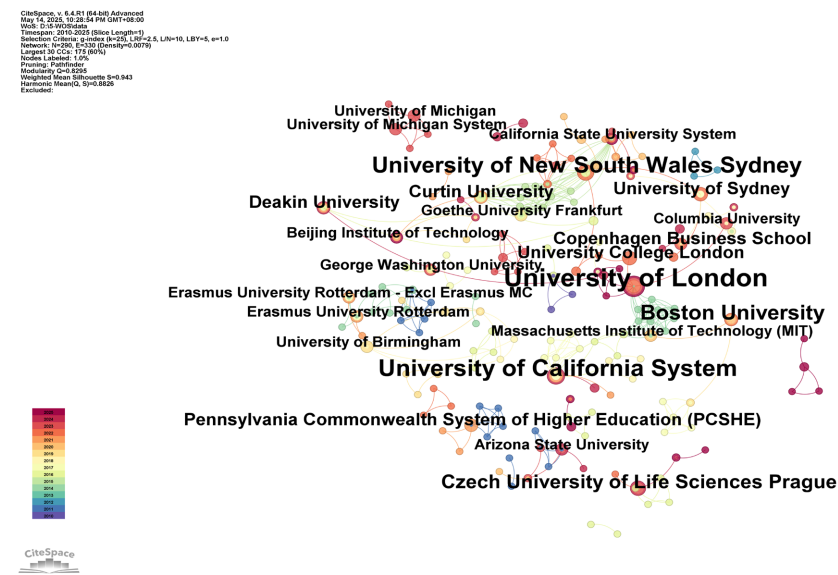


**Figure 4.** Analysis of the authors of foreign literature related to digital trade  
**图 4.** 数字贸易相关外文文献作者情况分析



**Figure 5.** Distribution of publishing institutions in digital trade research  
**图 5.** 数字贸易发文机构分布

从 SSCI 核心期刊检索出的文献来看其机构合作共现图谱, 见图 6, University of London 等具有较大影响力, 图中的多个国内外知名大学和机构在数字贸易研究领域较为活跃。



**Figure 6.** Distribution of foreign publishing institutions in digital trade research  
**图 6.** 外文数字贸易发文机构分布

## 4. 数字贸易研究热点与趋势的图谱分析

### 4.1. 关键词共现分析

#### 4.1.1. 中文关键词共现分析

将从 CNKI 数据库以 Refworks 格式导出的 625 篇精炼样本文献, 导入 CiteSpace 软件, 再利用软件

的数据转换功能, 把文件转为 CiteSpace 可识别的格式。随后, 确定关键词作为节点类型, 以年为时间切片, 设置节点筛选 K 值为 25, 生成关键词共现图。N = 285, E = 310, Density = 0.0077, 说明在图中有 285 个连接节点如图 7 所示, 310 个连线数, 密度为 0.0077, 节点表示的是关键词出现的频次。关键词具有高度概括文章主题内容的作用, 频繁出现的关键词就可以视为该领域的研究热点[13][14]。从表 1 可以看出数字贸易频次高达 249 次, 其次是数字经济为 102 次, 两者以较大差距领先其他关键词。数字技术、贸易规则和中介效应的频次都在 10 以上, 近年来电子商务的发展, 也使得其成为研究热点, 电子商务的频次在 9 次, 高于服务贸易等。这些高频词揭示出数字贸易领域的研究方向。

Table 1. Frequency table of keywords in Chinese literature  
表 1. 中文文献关键词频次表

序号	关键词	频次	中心性	首次出现年份	序号	关键词	频次	中心性	首次出现年份
1	数字贸易	249	0.96	2014	15	贸易强国	7	0	2018
2	数字经济	102	0.32	2014	16	中国方案	6	0	2021
3	数字技术	26	0.04	2020	17	异质性	6	0	2022
4	贸易规则	10	0	2020	18	美式模板	5	0.04	2017
5	中介效应	10	0	2021	19	统计测度	5	0	2021
6	电子商务	9	0	2017	20	数据流动	5	0	2019
7	数字产品	9	0.03	2017	21	数字治理	5	0	2023
8	制造业	9	0	2022	22	门槛效应	5	0	2022
9	国际贸易	8	0.03	2016	23	中国	4	0.01	2021
10	跨境电商	8	0.02	2018	24	二元边际	4	0	2022
11	贸易壁垒	8	0.02	2018	25	创新能力	4	0	2022
12	技术创新	8	0.04	2023	26	引力模型	4	0.01	2020
13	服务贸易	7	0.01	2020	27	贸易成本	4	0.01	2022
14	数字化	7	0.01	2019	28	数据要素	4	0.01	2024

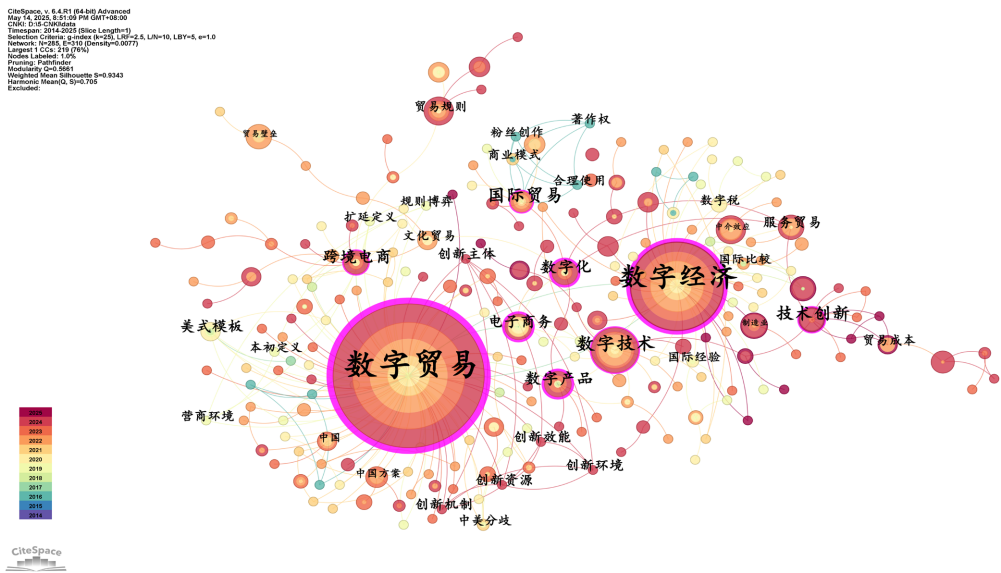


Figure 7. Co-word analysis of Chinese academic publications  
图 7. 中文文献关键词共现图



## 4.2. 关键词聚类分析

### 4.2.1. 中文文献关键词聚类分析

聚类分析图谱中不同颜色区域代表不同聚类, 标签如#0 数字经济、#1 中介效应、#2 数字技术等。这些聚类是通过算法对相关关键词进行聚合, 反映研究主题的不同类别。从图 9 中文文献关键词聚类分析可以看出, 数字经济处于图谱的中心位置, 说明在研究数字贸易的领域中, 数字经济是核心的研究主题, 其他的数字技术、跨境电商、电子商务等也是重要研究热点。

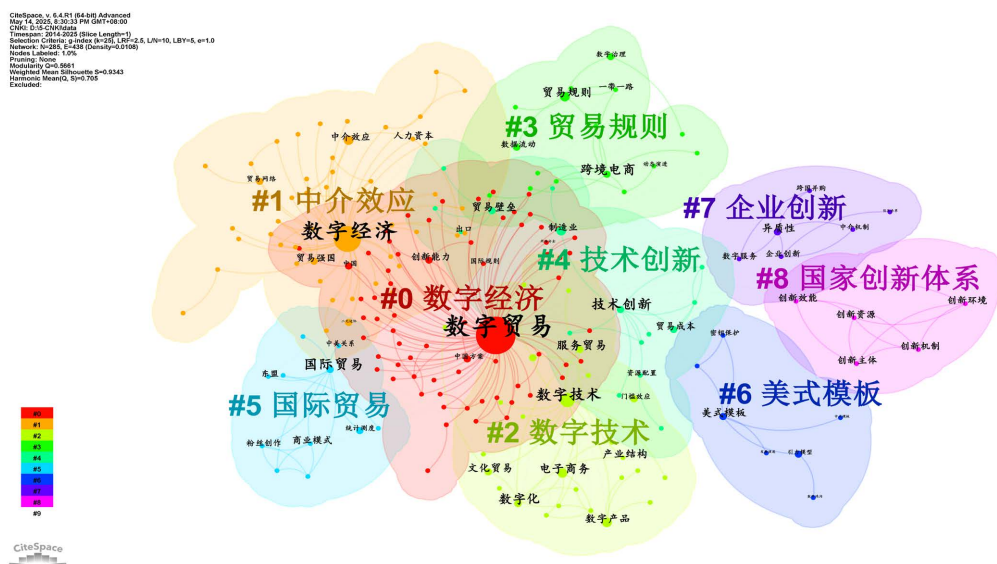


Figure 9. Cluster analysis of keywords in Chinese literatures  
图 9. 中文文献关键词聚类分析

### 4.2.2. 英文文献关键词聚类分析

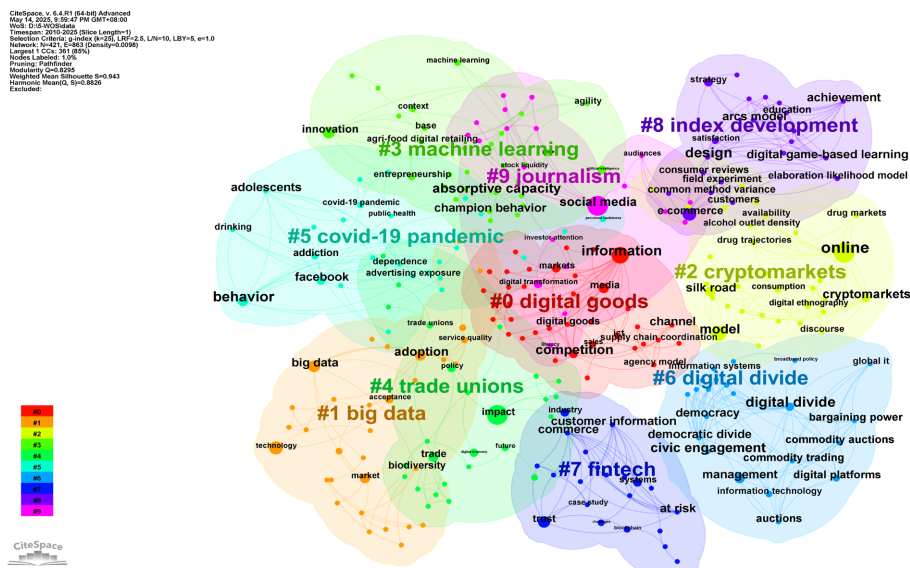


Figure 10. Cluster analysis of keywords in foreign literatures  
图 10. 英文文献关键词聚类分析



从图 10 中可以看出，该聚类图结构比较稳定合理，把外文有关数字贸易研究的关键词类别划为 10 个，分别“digital goods”、“big data”等。图 10 展现出外文数字贸易研究的多样化维度，涵盖商业应用与数字技术等多个层面，可以为数字贸易研究领域提供直观的参考。

5. 数字贸易的研究主题变迁

5.1. 中文文献突现词分析

关键词突现度能够揭示特定时段内具有较高影响力的研究领域。借助查询与剖析关键词突现度的动态变化，可对新研究领域的萌生及其发展脉络进行探究[13]。关键词突现图揭示了一些研究关键词从出现到收敛的时间线，本文对中国知网数据库中数字贸易相关文献的关键词展开分析，能够获取 24 个突现词。

Top 24 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2014 - 2025
互联网	2016	0.95	2016	2020	
美式模板	2017	2.45	2017	2020	
电子商务	2017	1.95	2017	2021	
数字产品	2017	1.11	2017	2018	
数字税	2019	1.57	2019	2020	
数据流动	2019	1.22	2019	2020	
国际经验	2019	1.04	2019	2020	
发展趋势	2019	0.87	2019	2020	
中美分歧	2019	0.8	2019	2021	
发展路径	2020	0.49	2020	2022	
贸易壁垒	2018	2.24	2021	2022	
统计测度	2021	1.83	2021	2022	
中介效应	2021	1.57	2021	2022	
动态演进	2021	0.73	2021	2022	
亚太地区	2021	0.54	2021	2023	
中国方案	2021	1.12	2022	2023	
国际规则	2022	0.9	2022	2023	
地区差异	2022	0.6	2022	2023	
数字治理	2023	1.39	2023	2025	
促进机制	2023	0.55	2023	2025	
东盟	2023	0.55	2023	2025	
企业创新	2023	0.55	2023	2025	
国内监管	2023	0.55	2023	2025	
数字化	2019	0.55	2023	2025	

Figure 11. Keyword burst in Chinese literature  
图 11. 中文文献关键词突现

从 2017 年开始出现了“互联网”、“美式模板”、“电子商务”、“数字产品”、“数字税”、“数

据流动”、“国际经验”等热点关键词如图 11 所示,但是在当时国际形势背景下,“贸易壁垒”、“中美分歧”就替代了前面的关键词,成为新的研究热门。在 2020 年到 2022 年期间,由于突发公共卫生事件的影响,许多研究者开始关注“统计测度”、“中介效应”、“中国方案”、“数字产业”等研究热点。自 2022 年之后,研究热点就为“企业创新”、“数字治理”、“国内监管”、“地区差异”等,表现出目前对数字技术应用于企业、社区治理等方面的关注。值得注意的是,在国际形势的压力下“数字化”目前或未来仍是学者们所高度关注的研究热点。

5.2. 英文文献关键词突现分析

Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts

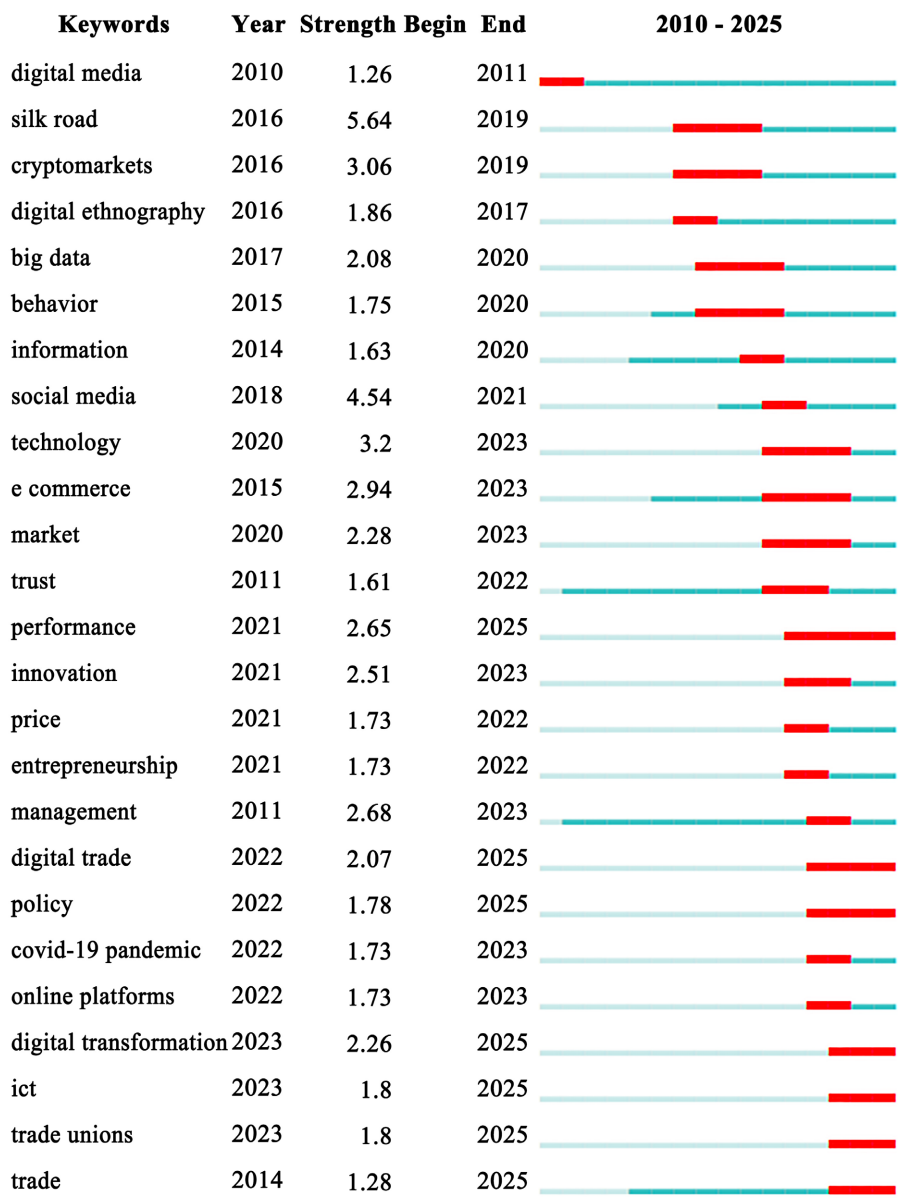


Figure 12. Keyword burst in foreign literature  
图 12. 英文文献关键词突现

如图 12 所示, 2010 年到 2016 年期间, “digital media” 最先出现, 随后 “trade”、“e commerce”、“silk road” 等是热点关键词, 但随后逐渐被 “silk road”、“cryptomarkets”、“availability”、“consumption” 等研究热点替代。2017 年到 2022 年, 这一时期研究热点呈多样性, 主要有 “big data”、“behavior”、“information” 等, 从 2022 年至 2025 年乃至未来, 研究热点可能仍关于在 “technology”、“innovation”、“online platforms”、“digital trade”、“policy” 等方面。其中, “trade” 从 2014 年开始一直是备受关注的。

纵观 2010 年到 2025 年的外文文献突现词, 可以发现这期间研究的热点虽然多样, 但是总体上离不开对于数字信息技术这一个核心, 即研究热点都与数字化相关。近年来也出现像低空经济、绿色贸易等关键词, 这反映出国内外的研究开始关注于社会新发展要求, 促进全球可持续发展。

## 6. 总结与未来展望

### 6.1. 研究总结

本文基于 CNKI 和 Web of science 数据库整理出的 615 篇中文文献和 345 篇外文文献, 通过 CiteSpace 的文献计量可视化工具, 梳理及分析数字贸易领域的研究热点。利用发文量趋势图、关键词共现图、作者及机构合作图谱、文献关键词频次表、关键词聚类分析图、关键词突现图等来展示出国内外数字贸易研究的总体趋势、国内外的主要研究热点、以及未来国内外关于数字贸易可能研究的方向。

研究发现: (1) 数字贸易自 2018 年逐渐受到关注, 2022 年发文量最多。(2) 相比国外, 国内数字贸易研究者和机构之间的合作较少。(3) 关键词共现图分析其核心研究方向, 国内研究主要在于数字经济、数字产品、电子商务等; 国外的研究则关注于竞争、创新、大数据, 互联网、电子商务等, 两者都有共同研究的技术创新、电子商务、贸易等热点。(4) 关键词聚类分析揭示国内外研究各有侧重, 国内研究有数字经济、数字技术、电子商务等多类聚类; 国外的研究则关注于较为微观的加密市场、大数据、数字鸿沟、机器学习等方面, 体现出国外更侧重于数字贸易的数据隐私保护的研究。(5) 关键词突现分析能直观反映出数字贸易在 2014 年至 2025 年期间的研究热点变化, 以及预测未来的研究热点方向, 早期学者主要研究 “美式模板” “数字产品” “电子商务” 等, 但在 2019 年至 2022 年转为研究 “贸易壁垒” “发展路径” “统计测度” 等, 从 2023 年开始, “数字治理” “东盟” “国内监管” 等成为研究热点。总之, 数字贸易的研究仍是热门话题, 面对人工智能时代的到来, 研究领域必须跟上时代的步伐。

### 6.2. 未来展望

通过对国内外数字贸易领域研究热点的系统分析, 我国数字贸易研究若要实现质的突破, 可从以下维度进行探索: 首先, 发文作者们之间与机构之间应加强合作。数字贸易具有发展迅速且不断演变的特点, 与技术迭代、市场变化等复杂因素息息相关, 不同学者依据专长的领域, 就能汇聚各方专业知识, 能从多个维度深入剖析数字贸易问题, 有效跟上时代发展的步伐。其次, 数字贸易发展迅猛, 已经成为国际贸易经济新增长点, 但是数字贸易规则制定相对滞后, 加强对数字贸易的研究, 有利于为数字贸易的发展提供理论支撑。最后, 数字贸易的研究应宏观与微观视角相结合。结合本文的研究发现, 国内的研究更侧重于宏观视角, 大都围绕数字贸易相关的环境与价值, 国外的研究则侧重于微观视角的研究, 所以国内的研究应增加微观视角下的数字贸易研究。结合时代背景, 未来数字贸易研究将是多维度探索, 无论是人工智能技术、量子计算等前沿技术, 还是贸易规则的标准制定, 都将在数字贸易研究中成为焦点, 相关的研究或应用将不断出现。

## 参考文献

- [1] 张春飞. 中国数字贸易高质量发展策略研究[J]. 人民论坛·学术前沿, 2024(24): 64-71.

- 
- [2] 潘若兰. 数字贸易对中国对外直接投资的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2024.
  - [3] 邵军. 我国数字贸易的发展成效、现实挑战与推进策略[J]. 人民论坛·学术前沿, 2024(24): 26-35.
  - [4] Azmeh, S., Foster, C. and Echavarri, J. (2019) The International Trade Regime and the Quest for Free Digital Trade. *International Studies Review*, **22**, 671-692. <https://doi.org/10.1093/isr/viz033>
  - [5] 马静, 刘永强. 数字贸易背景下中小企业国际化路径[J]. 山西财经大学学报, 2025, 47(S1): 145-147.
  - [6] 谢向伟, 张莉沙, 张应良. 数字贸易发展对共同富裕的影响——来自中国城市的经验证据[J]. 国际经贸探索, 2025, 41(3): 75-90.
  - [7] 郑佳宁, 聂昀秋, 马晓君. 数字贸易对新型城镇化优化布局的影响与机制[J]. 中国流通经济, 2025, 39(2): 60-72.
  - [8] 周念利, 陈寰琦. RTAs 框架下美式数字贸易规则的数字贸易效应研究[J]. 世界经济, 2020, 43(10): 28-51.
  - [9] 沈玉良, 彭羽, 高疆, 等. 是数字贸易规则, 还是数字经济规则?——新一代贸易规则的中国取向[J]. 管理世界, 2022, 38(8): 67-83.
  - [10] 贾怀勤, 高晓雨, 许晓娟, 等. 数字贸易测度的概念架构、指标体系和测度方法初探[J]. 统计研究, 2021, 38(12): 30-41.
  - [11] 周娟美, 崔粉芳. 中国数字贸易发展测度及时空演变特征研究[J]. 金融发展研究, 2022(11): 58-68.
  - [12] 刘新航, 姜子奇, 王梓鑫. 基于 CiteSpace 的文献计量分析碳计量研究热点[J]. 品牌与标准化, 2025(3): 160-162.
  - [13] 张沁茹. 我国人工智能英语教学研究动态及展望——基于 CiteSpace 的可视化分析[J]. 海外英语, 2024(24): 185-188.
  - [14] Chen, C. and Song, M. (2019) Visualizing a Field of Research: A Methodology of Systematic Scientometric Reviews. *PLOS ONE*, **14**, e0223994. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223994>