

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.02.046.

万兆凯, 宋庆臣, 万普强, 等. 东北黑土区沟蚀研究进展与热点——基于 CiteSpace 计量分析[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 454-463.

Wan Zhaokai, Song Qingchen, Wan Puqiang, et al. Research Progress and Hotspots of Gully Erosion in the Black Soil Region of Northeast: Bibliometric Analysis Based on CiteSpace[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 454-463.

# 东北黑土区沟蚀研究进展与热点 ——基于 CiteSpace 计量分析

万兆凯<sup>1,2</sup>, 宋庆臣<sup>3</sup>, 万普强<sup>4</sup>, 郭明明<sup>2</sup>, 张兴义<sup>2</sup>, 刘欣<sup>2,5</sup>

(1.吉林农业大学 资源与环境学院, 长春 130118; 2.中国科学院

东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态院重点实验室, 哈尔滨 150081; 3.阿荣旗市水利局,

内蒙古 阿荣旗 162750; 4.扎兰屯市水利局, 内蒙古 扎兰屯 162650; 5.中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** [目的]直观把握东北黑土区沟蚀研究进展与热点, 推进东北黑土区沟蚀研究领域的发展。 [方法]以 CNKI 与 Web of Science 数据库中 245 篇相关文献为对象, 利用文献计量的方法, 使用 CiteSpace 软件绘制东北黑土区沟蚀研究知识图谱。 [结果]结果表明: (1) 黑土区沟蚀研究起步较晚, 近十年发文量显著增加, 但国际期刊发表成果较少, 仅占 26%。 (2) 该领域研究力量主要分布在我国东北, 其中水利部松辽流域委员会、北京师范大学、中国科学院东北地理与农业生态研究所、东北农业大学、沈阳农业大学等机构贡献突出、影响较大; 张树文是该领域中文发文量最多的学者, 刘宝元和伍永秋是英文发文量最多的学者。 (3) 关键词共现表明, 目前对东北黑土区沟蚀的关注重点主要集中在侵蚀沟发育特征、影响因素和沟蚀防治措施等方面。 [结论] 东北黑土区沟蚀尚未形成完整的研究框架和全面的认识, 在未来的研究中, 需进一步注重东北黑土区沟蚀形成和发育过程及机理研究, 并深入分析地质、地形、水文、人类活动等因素的影响。

**关键词:** 东北黑土区; 沟蚀; 热点; 文献计量学; CiteSpace

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)02-0454-10

## Research Progress and Hotspots of Gully Erosion in the Black Soil Region of Northeast — Bibliometric Analysis Based on CiteSpace

Wan Zhaokai<sup>1,2</sup>, Song Qingchen<sup>3</sup>, Wan Puqiang<sup>4</sup>, Guo Mingming<sup>2</sup>, Zhang Xingyi<sup>2</sup>, Liu Xin<sup>2,5</sup>

(1.College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2.Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China;

3.Arongqi Water Resources Bureau, Arongqi, Inner Mongolia 162750, China; 4.Zhalantun City Water Resources Bureau,

Zhalantun, Inner Mongolia 162650, China; 5.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** [Objective]. The aims of this article are to intuitively grasp the progress and hotspots in the field of research of gully erosion in the northeast of China black soil region, advance the development of research in gully erosion in the black soil region of northeast China. [Methods] 245 papers in CNKI and Web of Science databases were used to create a knowledge map of gully erosion in the black soil region of northeast using the bibliometric method and CiteSpace software. [Results] (1) Research on gully erosion in black soil area started late, and the number of published papers has increased significantly in the past 10 years, but the results published in international journals are few, accounting for only 26%. (2) The research institutions in

收稿日期: 2023-07-05

修回日期: 2023-07-19

资助项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1500800); 国家自然科学基金项目(42107356); 博士后科学资助项目(2021T140663, 2020M681062); 黑龙江省自然科学基金资助项目(YQ2021C036)

第一作者: 万兆凯(1996—), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持与沟道侵蚀。E-mail: 20221709@mails.jlau.edu.cn

通信作者: 郭明明(1991—), 男, 安徽省阜阳市人, 博士, 副研究员, 主要从事沟道侵蚀机理与防控研究。E-mail: guomingming@iga.ac.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

this field mainly distribute in northeastern China, of which several institutions include Songliao Basin Committee of Ministry of Water Resources, Beijing Normal University, Northeast Institute of Geography and Agroecology of Chinese Academy of Sciences, Northeast Agricultural University, and Shenyang Agricultural University have made the outstanding contributions and shown the great influence in the field; Prof. Zhang Shuwen is the scholar with the most publications in Chinese, and Prof. Liu Baoyuan and Wu Yongqiu are the scholars with the most publications in English in this field. (3) The co-occurrence of keywords between the published literatures indicates that the current focus of attention on gully erosion in the black soil area of northeast China is mainly on the development characteristics, influencing factors and prevention and control measures of gully erosion. [Conclusion] The comprehensive research framework and a full understanding on gully erosion in the black soil region of northeastern China have not yet been established. In future research, there is a need to further emphasize the study of the formation and development processes and mechanisms of gully erosion in the black soil region of Northeastern China, and to conduct in-depth analyses of the influences of geological, topographical, hydrological, and human activities, among other factors.

**Keywords:** black soil region of northeastern China; gully erosion; hotspot; bibliometrics; CiteSpace

东北黑土区总面积达 109 万  $\text{km}^2$ , 约占全球黑土总面积的 12%, 该区粮食总产量占全国总量的 1/4, 粮食调出量占全国总量的 1/3, 是我国重要的商品粮基地, 由于其土地肥沃、地域辽阔、人口相对较少, 被誉为“耕地中的大熊猫”<sup>[1-3]</sup>。近几十年来, 由于人类活动和自然因素的影响, 黑土区的水土流失日益加剧, 其中以沟道侵蚀最为严重。据全国第 1 次水利普查侵蚀沟专项调查, 东北黑土区是我国除黄土高原外, 沟道侵蚀程度最为严重的区域, 现有 >100 m 侵蚀沟 29.6 万条<sup>[4]</sup>。另据调查, 尚有相近数量 <100 m 的侵蚀沟, 侵蚀沟总数量高达 60 万条, 仅侵蚀沟自身就损毁土地 5 000  $\text{km}^2$  以上<sup>[5-6]</sup>。沟道侵蚀不仅导致珍贵的黑土层“变瘦、变硬、变薄”, 还使作物显著减产, 生态功能退化, 严重威胁国家粮食安全和生态安全<sup>[7]</sup>。

近年来, 围绕黑土地保护和利用的问题, 土壤侵蚀和水土保持领域的学者们在沟道侵蚀的过程与机理、侵蚀沟的时空变化、分布特征、影响因素以及防治对策等方面取得了一定的研究成果<sup>[8-12]</sup>。然而, 关于该领域研究主题的演化、研究方向和发展趋势等方面的定量化可视化梳理的研究成果相对较少, 难以直观地把握该领域的研究动态和未来研究需求。

因此, 本文利用文献计量学和科学知识图谱的方法, 运用 CiteSpace 等软件, 对中国知网(CNKI)数据库中的东北黑土区沟道侵蚀中文文献以及 Web of Science 核心数据中的英文文献进行定量化和可视化分析。旨在深入探究文献所包含的深层次知识, 揭示该领域的研究发展历程, 分析不同时期的研究热点和发展趋势, 并直观地展示研究主题领域的发展状况。为进一步推进东北黑土区沟道侵蚀研究领域的发展以及黑土区侵蚀沟的防治提供参考和借鉴。

## 1 材料与方法

数据源于 Web of Science (WOS) 核心合集和中国知网(CNKI)数据库, 检索日期截至 2023 年 4 月 30 日。WOS 数据库以“black soil or mollisol”“gully erosion or gully”“the Northeast of China”组合检索, CNKI 数据库以“东北”“东北黑土区”“黑土”“沟道”“沟蚀”“侵蚀沟”“沟道侵蚀”组合检索, 再对所获文献剔除重复文献、会议论文后, 最终筛选文献共计 245 篇, 其中 CNKI 数据库文献 181 篇, Web of Science 数据库文献 64 篇。

基于 CNKI 和 WOS 核心数据集, 利用 CiteSpace 软件进行关键词(标题、摘要和关键词)分析, 关键词出现频率可用于衡量关注度, 以揭示某一领域的热点问题。通过研究热门关键词并运用突现图的可视化展示, 能更清晰地显示这些热点问题, 呈现东北黑土区沟蚀研究领域的当前研究热点以及未来的潜在研究热点。

中介中心性是用来表征节点在网络中重要性的指标, 并以此来发现和衡量文献的重要程度。中介中心性的计算公式(1)如下:

$$BC_i = \sum_{s \neq i \neq t} \frac{n_{st}^i}{g_{st}} \quad (1)$$

式中:  $g_{st}$  为节点  $s$  到节点  $t$  的最短路径数目;  $n_{st}^i$  为从节点  $s$  到节点  $t$  的  $g_{st}$  条最短路径中经过节点  $i$  的最短路径数目<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 东北黑土区沟蚀主题发文数量及时间特征

中文和英文文献发文数量统计结果显示(图 1),

中文文献数量远大于英文文献,而中文发文量呈波动变化,英文发文量呈逐步增长的趋势。中文文献发文量可分为两个阶段:20世纪90年代中期至21世纪初,我国开始对东北黑土区的沟蚀进行了探索性研究,1996年发表了第一篇文献,自至2003年开始,才陆续有论文发表。该阶段的学者主要以沟道治理以及沟道动态变化为研究重点。2012年开始,随着国家颁发了一系列黑土地保护政策,投入了大量资金,推动了黑土区沟蚀防治工作,该时期科研成果

突出。在2012年至今的10年间,中文发文量呈现显著上升趋势。英文文献发表起步较晚,但后期发展趋势较好,第一篇论文为胡刚在Catena发表的“Short-term gully retreat rates over rolling hill areas in black soil of Northeast China”。2007—2017年发展缓慢,但在2018年后发文量明显增加,2021年发文量高达15篇。中文文献和英文文献发文量均在近五年内增高,表明东北黑土区沟蚀的关注度和研究热度在不断升高。

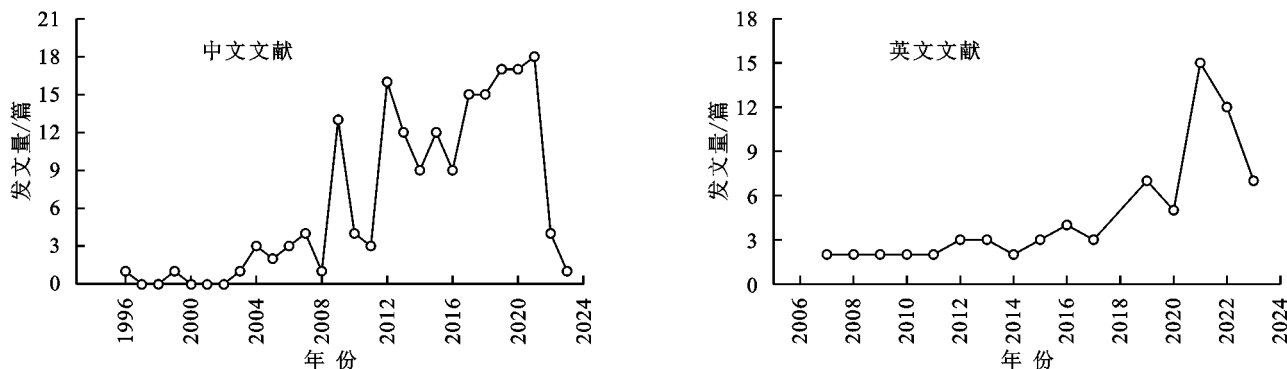


图1 中英文文献发文时间及数量

Fig. 1 Time and number of the published articles in English and Chinese

## 2.2 机构发文量分析

图2中的每个节点表示一个研究机构,节点间的连线反映着不同机构之间的合作关系。其中,中文文献发文机构为150个,连线为155条,连线多于节点,密度较高,这表明我国在该研究领域具有紧密的合作关系,且交流程度较高。同时,为确保数据的准确性,避免文献出现交叉统计的情况,在整理和统计数据时只保留文献的第一发文机构。

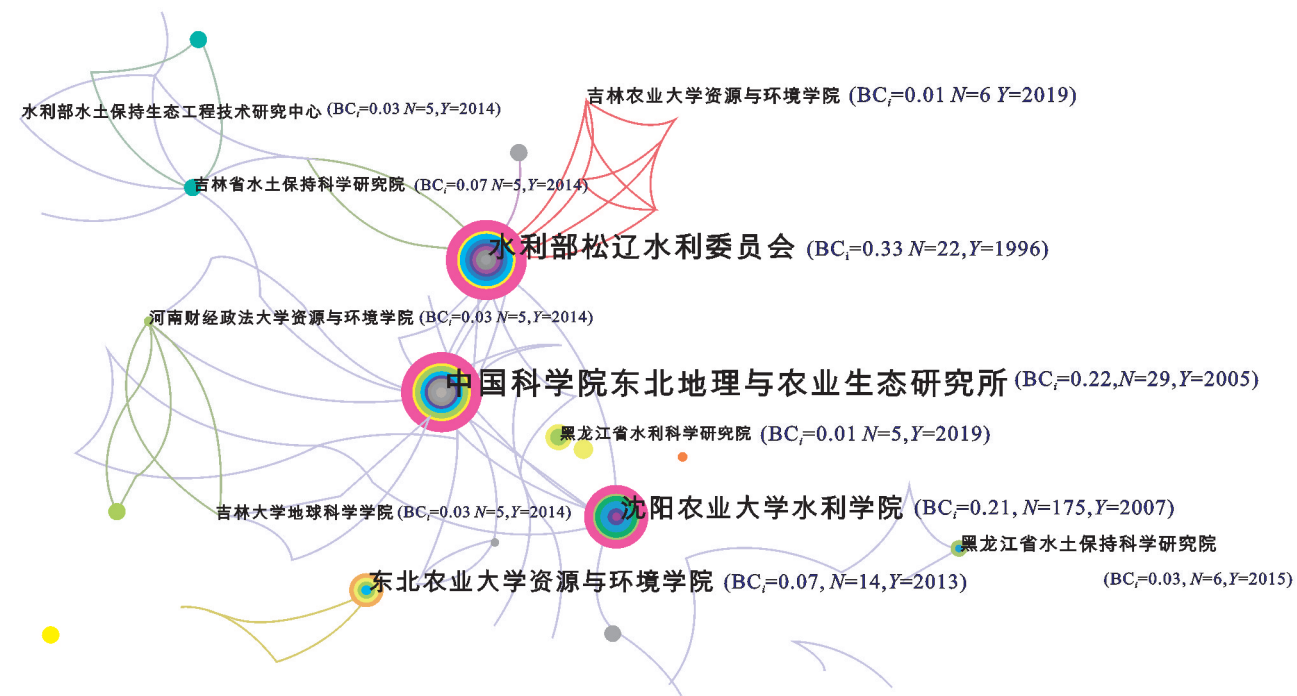
由图2可知,东北黑土区沟蚀的研究机构较少,且发文层次及研究力度差别较大,发文量在10篇以上的机构仅有4个,其余均在6篇以下。总体来看,仅有少数机构对东北黑土区沟蚀研究进行深入的探讨和研究,而多数机构的研究相对较单一。图谱以水利部松辽水利委员会(中心性0.33)为中心,表明了政府部门在研究中的重要性和主导地位,并在资源、资金和政策方面具有重要的支持和引导作用,能够推动相关研究的开展和治理措施的实施。此外,政府还可以促进学术界、科研机构和社会各界的合作,形成多方参与的研究格局。

英文文献发文机构共52个,连线75条,相对于中文文献发文机构较少,这表明了东北黑土区沟蚀问题在国际学术界的关注度较低,一方面是由于黑土区沟蚀过程与机理研究起步较晚导致发文量较少;另一方面可能是因为该问题在全球范围内并不普遍存在,仅限于特定地理区域,国际学术界的关注点可能更多地集中在全球

性的环境和土地退化问题上。图谱以Beijing Normal University(北京师范大学)为中心(中介中心性1.02),表明了北京师范大学在世界范围内具有较强的影响力,而Chinese Academy of Sciences(中国科学院)、Institute of Soil & Water Conservation(中国科学院水利部水土保持研究所)、Northeast Institute of Geography & Agroecology Chinese Academy of Agricultural Sciences(中国科学院与东北地理与农业生态研究所)、University of Chinese Academy of Sciences(中国科学院大学)中介中心性分别为0.77, 0.63, 0.37, 0.27, 0.22。以上机构均属于中国科学院,这些机构反映了在东北黑土区沟蚀研究中的紧密联系和协作,推动了该领域沟蚀研究的发展和创新。

## 2.3 作者发文分析

参与中文文献发表的学者共309位,其中张树文发文最多,共计18篇。参与英文文献发表的作者共196位,其中刘宝元与伍永秋发文最多,均为9篇。利用CiteSpace软件构建作者合作网络(图4,5),节点的大小表示发文量的多少,节点越大代表发文量越多;节点之间的连线越多代表作者之间的联系越紧密。中文文献发文量前五的学者分别是张树文、张兴义、范昊明、王文娟、李浩,英文文献发文量前五的作者分别是刘宝元、伍永秋、张树文、张兴义、范昊明、胡刚(并列)。从图4,5中可知,国内外对该领域有重要贡献的学者具有较为紧密的合作关系,且交流程度较高。



注:图中  $BC_i$  为中介中心性; $N$  为发文数量; $Y$  为发文年份,下同。

图 2 中文文献发文机构  
Fig. 2 Institutions publishing the literatures in Chinese

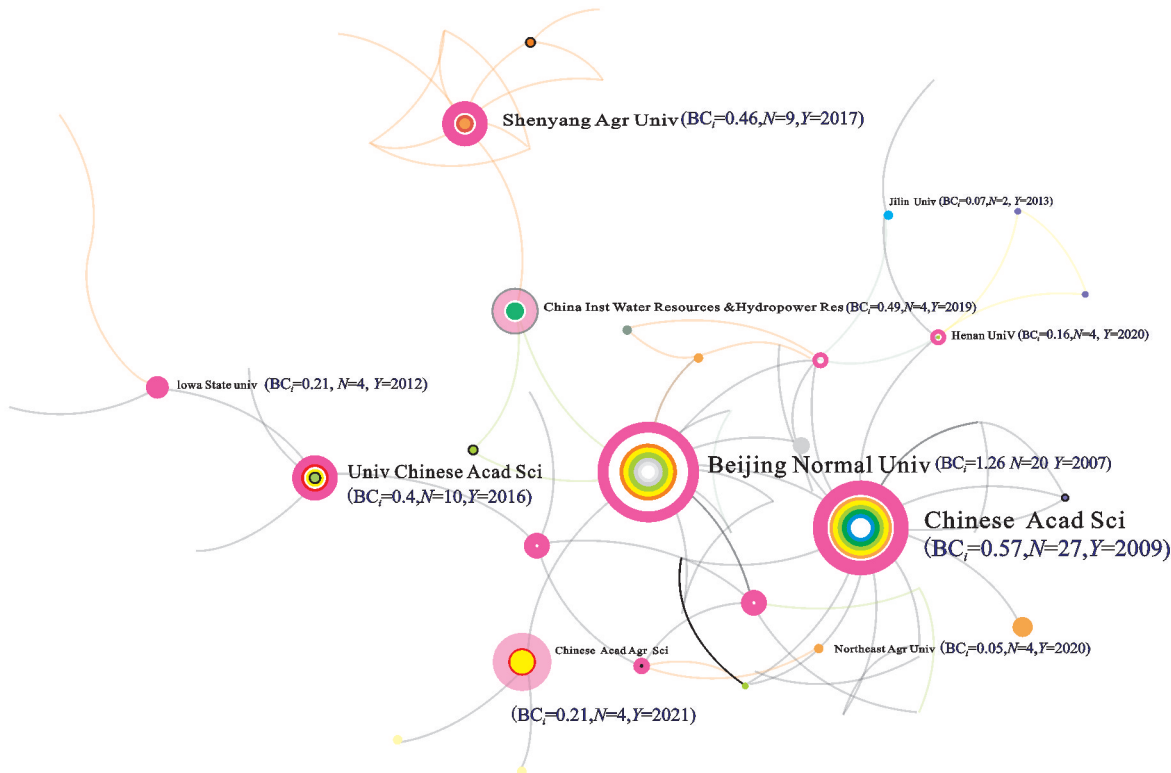


图 3 英文文献发文机构  
Fig. 3 Institutions publishing the literatures in English

2.4 东北黑土区沟蚀主题研究高频关键词分析

关键词是作者用于概括论文主题的精炼词汇,它们承载着作者在特定研究领域的学术思想、研究主题和内容的高度概括和提炼。因此,关键词不仅是分析研究主题的一种途径和方法,也是了解和掌握特定领域研

究动态的重要手段。通过考察该领域中关键词的频率出现,可以了解该领域的研究热点,判断该领域研究内容的更新速度以及学科研究的活力水平<sup>[14]</sup>。通过 CiteSpace 软件进行关键词共现分析,得到以下图(图 6, 7),其中除主题词外,中文关键词“水土流失”“土壤侵蚀”



“遥感”的出现频次高于其他关键词,英文关键词“soil erosion”“area”“retreat rates”“catchment”出现频次高于其他关键词。目前对于东北黑土区沟蚀的关注重

点主要集中在水土流失以及土壤侵蚀机理的探究。然而,尽管已经取得了一定的研究成果,但对于该领域的研究还没有形成完整的框架和全面的认识。

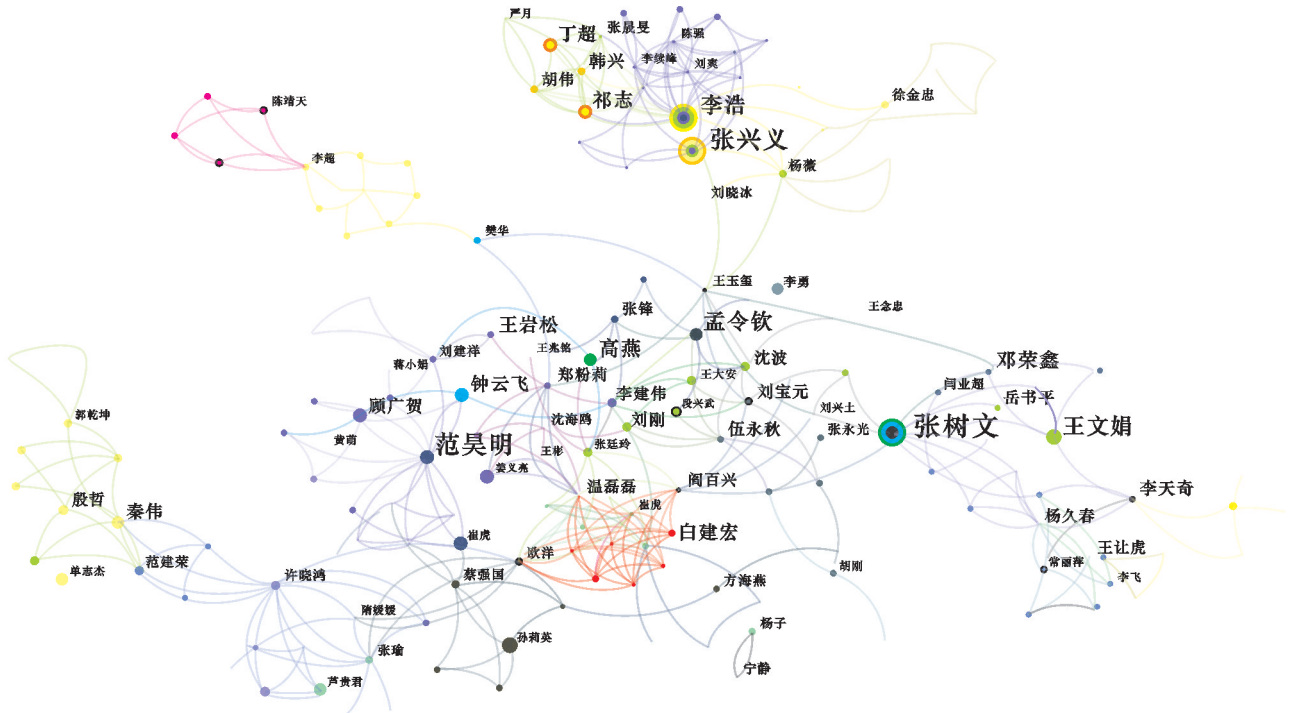


图4 中文作者合作网络

Fig. 4 Collaboration network between Chinese authors



图5 英文作者合作网络

Fig. 5 Collaboration network between English authors



**Fig. 7** Keywords co-occurrence from literatures in English

## 2.5 东北黑土区沟蚀主题关键词聚类分析

关键词聚类分析是使用 CiteSpace 对提取的所有关键词进行分类,一般认为当聚类当平均轮廓值(S 值) $>0.7$  时,聚类是高效率且令人信服的<sup>[15]</sup>。将中英文文献分别导入 CiteSpace 软件进行分析,共得到中文文献关键词聚类 12 个,英文文献关键词聚类 8 个(图 8,9,表 1,2),聚类编号越小,则表示聚类范围越大。选取中英文前 4 个聚类分析。

聚类 0:以侵蚀沟为中心,主要关键词为成活率、治理对策、水土流失、东北黑土区等,通过提高柳桩、灌木等成活率和采取相应的治理对策,可以有效减缓水土流失速率,保护土壤资源,维护生态平衡<sup>[16]</sup>。这些研究为东北黑土区侵蚀沟治理提供了重要的参考和支持。

聚类 1:以黑土区为中心,主要关键词为治理、工程措施、植被措施、发育等。针对黑土区的治理,学者们提出了一系列的工程措施。其中包括但不限于梯田建设、水土保持工程、水资源管理等。通过修建梯田,可以有效减缓水流速度,延缓沟道发育。水土保持工程的建设,如构筑护坡、设置排水系统等,可以减少沟道侵蚀,保护耕地资源。除了工程措施,植被措施在黑土区治理中也起到重要作用。学者们研究发现,适当选择并种植具有固土、抗旱的植被物种,可以有效地减缓沟道侵蚀速率。通过建立植被覆盖系统,增加植被的根系和地上部分,可以提高土壤的结构稳定性,防止沟道侵蚀的发生。

聚类 2:以临界条件为中心,主要关键词为沟道侵蚀、遥感解译等。学者们通过研究发现,沟道侵蚀的临界条件包括降雨、地形、土壤性质等因素<sup>[17]</sup>。为了监测和评估沟道侵蚀的情况,学者们采用了遥感解译技术。遥感解译能够获取大范围的地表信息,包括沟道的形态特征、植被覆盖度等<sup>[18]</sup>。通过分析遥感图像和提取沟道特征参数,学者们能够量化地评估沟道侵蚀的程度,并为沟道侵蚀的防治提供科学依据。

聚类 3:以水土保持为中心,主要关键词为比较、水土流失治理、趋势等。学者们通过比较不同沟蚀治理措施的实施效果,评估其对水土保持和沟道侵蚀的控制。评估其对水土保持和沟道侵蚀的控制效果,并关注治理后效益分析<sup>[19]</sup>。这些研究成果为深入了解侵蚀沟治理的效果提供了重要的科学依据,为保护土壤资源、实现可持续发展提供了有益的支持。

聚类 0 以 black soil 为中心,关键词为 critical water content, root mass density, soil collapse 等。学者们关注黑土中的临界含水量,对植物生长和土壤保持起着重要作用。他们通过实地采样和研究,深入

分析其对土壤水分调控和植物生长的影响。通过野外调查和试验测定,学者们对在黑土中的根系质量密度进行了研究,以评估其对土壤结构的影响和保持能力<sup>[20]</sup>。另外,学者们还关注黑土沟道崩塌问题,通过对土壤物理性质和水分变化的监测,学者们探讨了黑土的沟道崩塌机制和相应的保护措施<sup>[21]</sup>。

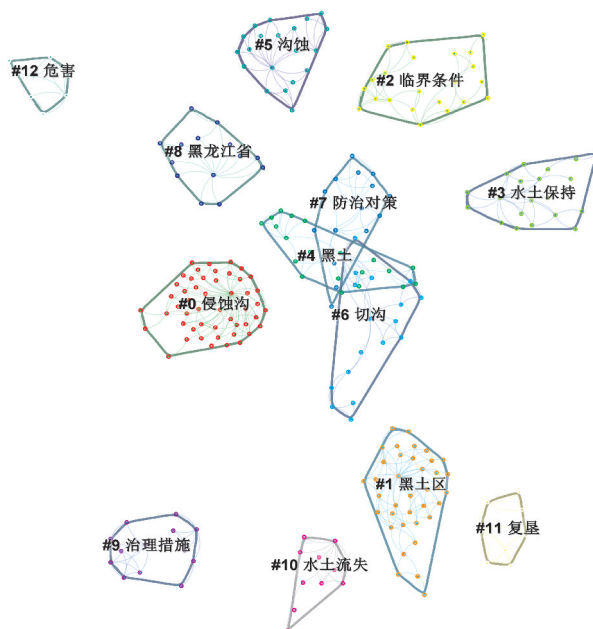


图 8 中文文献关键词聚类

Fig. 8 Keywords clustering from Chinese literatures

聚类 1 以 slope gradient 为中心,关键词为 aspect and shape, crop yield, slope-gully system 等。学者们的研究揭示了坡度与坡向对于沟道发育的重要性<sup>[22]</sup>。通过深入分析坡向和坡形的影响机制,提出了相应的水土保持和管理策略,以减少沟道侵蚀发生的风险。聚类 2 以 global positioning system 为中心,关键词为 digital terrain model, black soil region-northeastern China 等,学者们通过 GPS 和 DTM 的应用,能够测量和描述沟道侵蚀的特征和演变趋势,为东北黑土区的沟道侵蚀治理提供科学依据<sup>[23]</sup>。聚类 3 以 land degradation 为中心,关键词为 topographical variation, rainfall erosivity, climate change 等。不同地形的坡度、坡向和地貌形态会影响水分的分布和径流流动路径,进而影响沟道侵蚀的程度<sup>[24]</sup>。同时,降雨和气候变化也是沟道发育的重要条件之一<sup>[25]</sup>。

## 2.6 国内研究前沿分析

研究前沿作为研究领域中最活跃的部分,有助于把握学科领域未来的研究方向和发展趋势,促进学术研究的理论升华。研究前沿是相对于特定研究领域、特定时间来说的,具体指某一领域中被科学家们积极引用的文献所表征的研究主题,关键词突现是指某研究领域在某一特定时期内对某种主题关注程度的变



化情况<sup>[26]</sup>。使用 CiteSpace 软件提取中文文献中 Strength(突现强度)前 15 个突现关键词,按照突现开始的年代由远到近排列,分析结果如下:

由图 10 可知,突现强度较高的关键词有“水土保持”“水土流失”“黑土区”“综合治理”等,说明这些关键词在其所对应的时间段里都是学者们较为关注的前沿主题。从突现持续时间的跨度来看,持续时间较长的有“水土保持”(16 a)、“水土流失”(5 a)、“坡耕地”(5 a),说明这些关键词在很长一段时间内都是学者们关注的焦点。按照时间划分,总体可分为两个阶段:1996—2012 年,90 年代末爆发了特大洪灾,归因于极端天气和人类乱砍滥伐,引起了水利部的重视,因此学者们更多注重于水土保持、水土流失及侵蚀沟的治理。2011 年我国进行了全国第一次水利普查,2013 年水利部松辽流域委员会利用遥感影像在东北黑土区解译出了共 29.6 万条侵蚀沟,引起了学术界的

广泛关注,而基础研究无法满足侵蚀沟治理的需求,缺乏基础研究支撑,因此在 2013 年后,学者们更多注重于沟道侵蚀机理等基础研究。

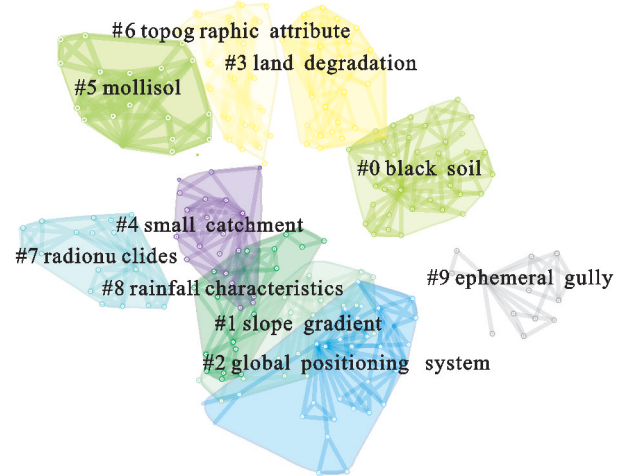


图 9 英文文献关键词聚类

Fig. 9 Keywords clustering from literatures in English

表 1 中文文献关键词聚类

Table 1 Keywords clustering from Chinese literatures			
聚类	S 值	平均年份	关键词
0	0.942	2017	侵蚀沟;成活率;治理对策;水土流失;东北黑土区
1	0.958	2012	黑土区;治理;工程措施;植物措施;发育
2	0.964	2016	临界条件;辽宁省;沟道侵蚀;遥感解译
3	0.928	2011	水土保持;比较;中国东北;水土流失治理;趋势
4	0.945	2014	黑土;空间格局;演变过程;格局;遥感
5	0.906	2013	沟蚀;耕作垄向;侵蚀沟;无人机遥感;团聚体流失
6	0.962	2014	切沟;浅沟;人类活动;地貌临界;降雨侵蚀
7	0.871	2011	防治对策;土壤侵蚀;拜泉县;穆棱市;克东县
8	0.889	2014	黑龙江省;竣工验收;降水特征参数;成因;耕地保护
9	0.834	2011	治理措施;三岔河流域;效益评价;分类分级;坡耕地侵蚀沟
10	0.995	2012	水土流失;治理模式;治理成果;开源;水土保持措施
11	0.992	2020	复垦;腐解;导排水;秸秆;黑土区
12	0.912	2017	危害;专项治理;分布;发展现状;辽宁

表 2 英文文献关键词聚类

Table 2 Keywords clustering from literatures in English			
聚类	S 值	平均年份	关键词
0	0.868	2017	black soil; critical water content; cs-137; root mass density; soil collapse
1	0.822	2013	slope gradient; aspect and shape; crop yield; slope-gully system; black soil region of northeastern China
2	0.916	2012	global positioning system; digital terrain model; black soil region-northeastern China; root density; runoff and sediment
3	0.858	2018	land degradation; topographical variation; rainfall erosivity; 10-fold cross validation; climate change
4	0.868	2015	small catchment; spatial configuration; soil conservation measure; sediment delivery ratio
5	0.88	2014	molisol; soil loss; organic matter; erosion control strategies; agricultural sustainability
6	0.91	2019	topographic attribute; machine learning methods; northeast China; snowmelt erosion; google earth images
7	0.903	2016	radionuclides; temporal variation; sediment deposit; catchment; cs-137-time mark
8	0.887	2016	rainfall characteristics; black soil; Kebai region-China; reconstructing catchment response; crack dynamics
9	0.959	2013	ephemeral gully; soil nutrients; gully filling; soil conservation; classical gully



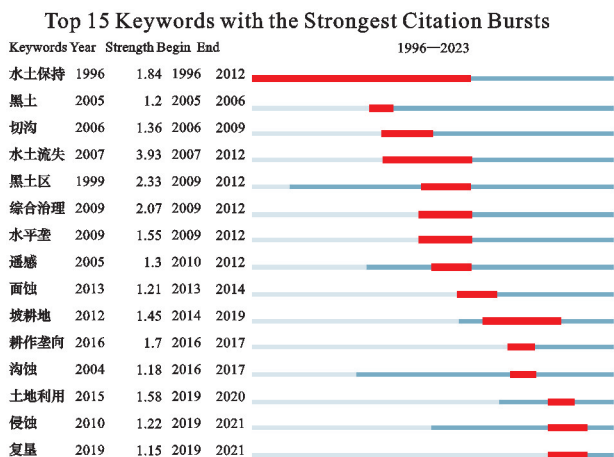


图 10 中文文献突现关键词

Fig. 10 Keywords with the strongest citation bursts in literatures in Chinese

### 3 结论

(1) “东北黑土区沟蚀”主题文献随着时间的变化总体呈上升趋势,中文发文量从 2012 年快速增长,其中最大年发文量是 2021 年的 18 篇,英文发文量起步较晚,后期发展趋势较好,2021 年发文达 15 篇。

(2) 该领域研究力量主要分布在我国东北部,水利部松辽流域委员会、北京师范大学、中国科学院东北地理与农业生态研究所、东北农业大学、沈阳农业大学等机构贡献突出、影响较大;张树文是该领域中文发文量最多的学者,刘宝元和伍永秋是英文发文量最多的学者。

(3) 文献关键词共现表明,东北黑土区沟蚀的关注重点主要集中在侵蚀沟分布、发育特征、影响因素、沟蚀防治措施等方面,但对于该领域的研究还没有形成完整的框架和全面的认识。

(4) 在未来的研究中,要进一步注重于东北黑土区沟蚀的过程和机理研究,深入分析地质、地形、水文和人类活动等因素的影响,并揭示其在沟蚀形成和发展中的作用机制。同时,结合遥感技术和地理信息系统分析,定量监测和评估沟蚀的时空演化规律。最终,结合沟蚀治理技术的研发和应用,为侵蚀沟的治理提供更加全面的解决方案。

#### 参考文献 (References):

- [1] 张兴义,刘晓冰.东北黑土区沟道侵蚀现状及其防治对策[J].农业工程学报,2021,37(3):320-326.  
Zhang X Y, Liu X B. Current scenario of gully erosion and its control strategy in Mollisols areas of Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(3):320-326.
- [2] 张晓平,梁爱珍,申艳,等.东北黑土水土流失特点[J].地理科学,2006,26(6):687-692.

- Zhang X P, Liang A Z, Shen Y, et al. Erosion characteristics of black soils in Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2006,26(6):687-692.
- [3] 范建荣,潘庆宾.东北典型黑土区水土流失危害及防治措施[J].水土保持科技情报,2002(5):36-38.  
Fan J, Pan Q. Hazards of soil erosion and control measures in typical black soil areas of Northeast China[J]. Soil and Water Conservation Technology Intelligence, 2002(5):36-38.
- [4] 中华人民共和国水利部.第一次全国水利普查水土保持情况公报[J].中国水土保持,2013,34(10):2-3.  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China Bulletin on soil and water conservation of the first national water conservancy census[J]. Soil and Water Conservation in China, 2013,34(10):2-3.
- [5] 张兴义,祁志,张晟旻,等.东北黑土区农田侵蚀沟填埋复垦工程技术[J].中国水土保持科学,2019,17(5):128-135.  
Zhang X Y, Qi Z, Zhang S M, et al. Rehabilitation engineering of gully filling in the Mollisols farmland of Northeast China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2019,17(5):128-135.
- [6] 李智广,王岩松,刘宪春,等.我国东北黑土区侵蚀沟道的普查方法与成果[J].中国水土保持科学,2013,11(5):9-13.  
Li Z G, Wang Y S, Liu X C, et al. Survey methods and results of erosion gullies in black soil areas of northeastern China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2013,11(5):9-13.
- [7] 刘宝元,阎百兴,沈波,等.东北黑土区农地水土流失现状与综合治理对策[J].中国水土保持科学,2008,6(1):1-8.  
Liu B Y, Yan B X, Shen B, et al. Current status and comprehensive control strategies of soil erosion for cultivated land in the Northeastern black soil area of China [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2008,6(1):1-8.
- [8] 孟令钦,李勇.东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J].水土保持学报,2009,23(1):7-11.  
Meng L Q, Li Y. The Mechanism of Gully Development on sloping farmland in black soil area, Northeast China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009,23(1):7-11.
- [9] 闫业超,张树文,岳书平.近 40 年黑土典型区坡沟侵蚀动态变化[J].农业工程学报,2010,26(2):109-115.  
Yan Y C, Zhang S W, Yue S P. Dynamic change of hill slope and gully erosion in typical area of black soil region during the past 40 years[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the Csa e), 2010,26(2):109-115.

- [10] 王岩松,王念忠,钟云飞,等.东北黑土区侵蚀沟省际分布特征[J].中国水土保持,2013(10):67-69  
Wang Y, Wang N, Zhong Y, et al. Characteristics of interprovincial distribution of gullies in the black soil region of Northeast China[J]. Soil and Water Conservation in China, 2013(10):67-69.
- [11] 姜芸,王军,张莉.东北典型黑土区侵蚀沟形态及分布特征[J].农业工程学报,2020,36(7):157-165.  
Jiang Y, Wang J, Zhang L. Morphology and distribution characteristics of erosion gully in the typical black soil region of Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(7):157-165.
- [12] 闫业超,张树文,岳书平.基于 Corona 和 Spot 影像的近40年黑土典型区侵蚀沟动态变化[J].资源科学,2006,28(6):154-160.  
Yan Y C, Zhang S W, Yue S P. Application of Corona and Spot Imagery on erosion gully research in typical black soil regions of Northeast China[J]. Resources Science, 2006(6):154-160.
- [13] 史方颖,张凤宝,杨明义.基于文献计量分析的土壤有机碳矿化研究进展与热点[J].土壤学报,2022,59(2):381-392.  
Shi F Y, Zhang F B, Yang M Y. Research hotspots and progress of soil organic carbon mineralization based on bibliometrics method[J]. Acta Pedologica Sinica, 2022,59(2):381-392.
- [14] 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.  
Chen Y, Chen C M, Liu Z Y, et al. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains[J]. Studies in Science of Science, 2015,33(2):242-253.
- [15] 钟伟金,李佳,杨兴菊.共词分析法研究(三):共词聚类分析法的原理与特点[J].情报杂志,2008,27(7):118-120.  
Zhong W J, Li J, Yang X J. The research of co-word analysis(3):The principle and characteristics of the co-word cluster analysis[J]. Journal of Intelligence, 2008, 27(7):118-120.
- [16] 秦伟,左长清,范建荣,等.东北黑土区侵蚀沟治理对策[J].中国水利,2014(20):37-41.  
Qin W, Zuo C Q, Fan J R, et al. Control measures for gully erosion in black soil areas of Northeast China[J]. China Water Resources, 2014(20):37-41.
- [17] 王计磊,李子忠.东北黑土区水力侵蚀研究进展[J].农业资源与环境学报,2018,35(5):389-397.  
Wang J L, Li Z Z. Research progress on water erosion in the black soil region of northeast China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018,35(5):389-397.
- [18] 李镇,秦伟,齐志国,等.东北漫川漫岗和山地丘陵黑土区侵蚀沟形态特征遥感分析[J].农业工程学报,2019,35(14):133-140.  
Li Z, Qin W, Qi Z, et al. Remote sensing analysis on gully morphology and spatial distribution in rolling hilly region and mountainous and hilly region of Northeast China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(14):133-140.
- [19] 严尔梅,欧阳力,赵方义,等.黑土区侵蚀沟治理及效益研究:以“哈尔滨市道外区赵安屯侵蚀沟”为例[J].水土保持应用技术,2015(1):35-36.  
Yan E M, Ouyang L, Zhao F Y, et al. Study on the management and benefits of gullies in the black soil area-Taking ‘Zhaoantun gullies in Daowai District, Harbin City’ as an Example[J]. Technology of Soil and Water Conservation, 2015(1):35-36.
- [20] Zhang X Y, Qi J R, Xu J Z, et al. Root distribution and soil properties of gully heads and their effects on headcut migration in the mollisols region of northeast China[J]. Land, 2022,11(2):184.
- [21] Dong Y F, Wu Y Q, Yin J Y, et al. Investigation of soil shear-strength parameters and prediction of the collapse of gully walls in the black soil region of northeastern China[J]. Physical Geography, 2011, 32(2):161-178.
- [22] Wang D C, Fan H M, Fan X G. Distributions of recent gullies on hillslopes with different slopes and aspects in the Black Soil Region of Northeast China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2017,189:1-15.
- [23] Hu G, Wu Y Q, Liu B Y, et al. Short-term gully retreat rates over rolling hill areas in black soil of Northeast China[J]. Catena, 2007,71(2):321-329.
- [24] Tang J, Liu G, Xie Y, et al. Effect of topographic variations and tillage methods on gully erosion in the black soil region: A case-study from Northeast China[J]. Land Degradation & Development, 2022, 33(18):3786-3800.
- [25] Zhang Y G, Nearing M A, Zhang X C, et al. Projected rainfall erosivity changes under climate change from multimodel and multiscenario projections in Northeast China[J]. Journal of hydrology, 2010,384(1/2):97-106.
- [26] 郑彦宁,许晓阳,刘志辉.基于关键词共现的研究前沿识别方法研究[J].图书情报工作,2016,60(4):85-92.  
Zheng Y N, Xu X Y, Liu, et al. Study on the method of identifying research fronts based on keywords co-occurrence[J]. Library and Information Service, 2016,60(4):85-92.