

侯红阳,袁紫仪,王 琰,等. 基于 Web of Science 文献计量的畜禽粪便和碳中和研究态势分析[J]. 江苏农业学报,2024,40(4):652-660.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.04.009

## 基于 Web of Science 文献计量的畜禽粪便和碳中和研究态势分析

侯红阳, 袁紫仪, 王 琰, 吕娜娜, 操一凡, 沈宗专, 李 荣

(江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室/作物免疫学重点实验室/江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心/南京农业大学资源与环境科学学院,江苏 南京 210095)

**摘要:** 为了解畜禽粪便和碳中和领域的最新热点和发展趋势,通过 Web of Science 核心合集数据库,以“畜禽粪便和碳中和”为主题进行高级检索,选取1994–2022年全球学者发表的1 812篇英文文献,利用可视化分析软件VOSviewer、HistCite、CiteSpace等,主要对年发文量、学科分布、期刊分布、研究国家、研究机构、研究作者、研究热点与发展趋势等指标进行计量分析。结果表明:1994–2022年,国际上畜禽粪便和碳中和领域文献量整体呈上升趋势,其中中国发文量最高且呈现较快发展状态,其次是美国,说明中美两国对该领域研究较为重视。环境学是所涉及的主要学科,占论文总数的27.7%。发文量位列前三的学术期刊为 *Agriculture Ecosystems & Environment*、*Science of the Total Environment*、*Soil & Tillage Research*。总联系强度参数位列前三的机构分别为来自中国的中国科学院、中国农业科学院和美国的科罗拉多州立大学。由关键词共线网络发现碳封存是出现次数最高的关键词,说明碳封存是该领域的研究热点。引文分析的关键词突发性检测发现放牧管理、有机碳封存、粪便管理为畜禽粪便和碳中和研究的未来趋势。综上所述,中美两国在畜禽粪便和碳中和领域研究方面位于世界前列,以有机碳封存为主的研究正成为目前主要研究热点。

**关键词:** 畜禽粪便; 碳中和; 文献计量方法; 可视化分析

中图分类号: X713 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2024)04-0652-09

## A bibliometric study of papers in the field of livestock manure and carbon neutrality based on the Web of Science database

HOU Hong-yang, YUAN Zi-yi, WANG Yan, LYU Na-na, CAO Yi-fan, SHEN Zong-zhuan, LI Rong  
(*Jiangsu Provincial Key Lab for Organic Solid Waste Utilization/Key Laboratory of Plant Immunity/Jiangsu Collaborative Innovation Center for Solid Organic Waste Resource Utilization/College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

**Abstract:** In order to understand the latest hotspots and development trends in the field of livestock manure and carbon neutrality, 1 812 English documents published by global scholars from 1994 to 2022 were selected by an advanced search on the theme of “livestock manure and carbon neutrality” in the Web of Science core collection database. Using visual analysis softwares (VOSviewer, HistCite, CiteSpace, etc.), we mainly analyzed the annual number of papers, subject distribution, journal distribution, research countries, research institutions, research authors, research hotspots and development trends. The results showed that from 1994 to 2022, the number of literature in the field of livestock manure and carbon neutrality in the world showed an overall increasing trend. China had the highest number

收稿日期:2023-03-07

基金项目:江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(22)2043];中国科学院战略先导科技专项(XDA28070302);中央本级重大增减支项目(2060302)

作者简介:侯红阳(1999–),女,河南驻马店人,硕士研究生,主要从事农业废弃物资源化利用研究。(E-mail)2081087212@qq.com

通讯作者:沈宗专,(E-mail)shenzongz@njau.edu.cn

visual analysis softwares (VOSviewer, HistCite, CiteSpace, etc.), we mainly analyzed the annual number of papers, subject distribution, journal distribution, research countries, research institutions, research authors, research hotspots and development trends. The results showed that from 1994 to 2022, the number of literature in the field of livestock manure and carbon neutrality in the world showed an overall increasing trend. China had the highest number

of publications and exhibited a rapid development, followed by the United States, indicating that China and the United States attached more importance to research in this field. Environmental science was the main subject involved in this field, and the number of papers published in environmental science accounted for 27.7% of the total number of papers. The top three academic journals in terms of the number of publications were *Agriculture Ecosystems & Environment*, *Science of the Total Environment* and *Soil & Tillage Research*. The top three institutions in terms of the total link strength were Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences and Colorado State University. Carbon sequestration was found to be the keyword with the highest number of occurrences by the keyword collinear network, indicating that carbon sequestration was a research hotspot in this field. The results of keyword burst detection of citation analysis showed that grazing management, organic carbon sequestration and manure management were the future trends of livestock manure and carbon neutralization research. In summary, China and the United States are at the forefront of the world in the research of livestock manure and carbon neutralization, and the research based on organic carbon sequestration is becoming the main research hotspot at present.

**Key words:** livestock manure; carbon neutrality; bibliometric methods; visual analysis

全球气候正处于变暖的大势趋中,全球变暖对生态系统产生了巨大的影响<sup>[1-2]</sup>。对于“全球变暖是否停滞”这一问题,国际科学界引起了一场新的讨论,最终达成“地球上的气候仍然持续升温,没有停止”这一共识<sup>[3-4]</sup>。中国是一个农业大国,根据联合国粮农组织估计,就种植与养殖两个环节而言,在农业生产过程产生的二氧化碳分别达到了全世界人为温室气体排放量的 30% 和 18% 以上。种养分离导致了畜禽粪便的资源化应用受到阻碍,一方面,畜禽粪便的大规模排出会对生态系统产生严重的影响,另一方面,农田过量使用化肥又会导致农田土壤的有机质含量降低,加重了农田非点源污染<sup>[5-6]</sup>。张卫建等<sup>[7]</sup>基于国内农业碳排放现状,认为在粮食安全的大环境下,种植业的碳排放量已经基本达峰,而农业碳排放达到顶峰的峰值及进程将取决于畜牧业的发展水平。碳中和被认为是减缓气候变化的重要措施之一,它可以通过吸收、存储温室气体以及减少温室气体的排放来达到减缓气候变化的目的。在“双碳”大背景下,畜禽粪污和碳中和这两个领域的结合具有重要的意义和应用价值。

文献计量学通过统计学和数学方法对信息载体进行定量分析,是一门交叉学科。它能够系统地分析某一研究领域的整体发展状况,了解该领域研究的整体方向和未来趋势,为科学研究提供方向指引<sup>[8]</sup>。可视化分析软件 VOSviewer 和 CiteSpace 已经被广泛应用于农学、经济学、医学等多个学科领域的研究中<sup>[8,9-12]</sup>。尽管前人已经对畜禽粪便和碳中和开展了大量研究,但是对该领域的发展脉络分析却鲜有报道。因此,本研究以畜禽粪便和碳中和

主题,利用文献计量分析方法,结合可视化分析 VOSviewer、HistCite、CiteSpace 等软件对 Web of Science 核心合集数据库中有关文献进行分析,包括年发文量、主要学科分布和期刊分布、主要作者及研究机构等方面分析中国畜禽粪便和碳中和研究现状,并利用对关键词的聚类分析以及突发性检测分析来探究本领域的研究热点与前沿,对畜禽粪便和碳中和研究领域的背景、现状与发展趋势进行全面阐述,并提出一些新的思路 and 观点,以期为畜禽粪便和碳中和研究领域的发展提供一定的理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

本研究通过 Web of Science 核心合集(文献类型选择 article 和 review)作为数据源,选取 1994–2022 年的文献作为研究对象,以“畜禽粪便和碳中和”为主题,以 TS(主题) = (“Carbon sequestration \*” OR “Carbon emissions \*” OR “Carbon neutral \*” OR “Carbon peaking \*” OR “Carbon trading \*”) AND (“livestock \*” OR “manure \*” OR “poultry \*” OR “cow manure \*” OR “chicken manure \*” OR “pig manure \*”) 为检索条件进行高级检索,检索时间为 2023 年 1 月 15 日。经过删除与主题词无相关的文献,最终得到英文文献 1 812 篇。

### 1.2 研究方法

采用可视化分析 VOSviewer、HistCite、CiteSpace 等软件对年发文量、主要学科分布和期刊分布、研究国家、研究机构、研究作者、研究热点与未来发展趋势等指标进行计量分析。

本研究使用可视化分析软件 VOSviewer 进行共现分析,分析研究国家、研究机构和研究学者之间的合作关系,并探索该领域研究的热点话题。使用 VOSviewer 软件绘制网络图,圆的直径大小代表发文量的多少,而线条的宽窄代表关联总强度的高低。通过该图可以清晰看出各个国家、机构和学者之间的合作情况,以及各自在该领域的研究实力。在关键词共现分析方面,本研究使用 VOSviewer 软件设置阈值为 30,得到该领域最热门的话题。

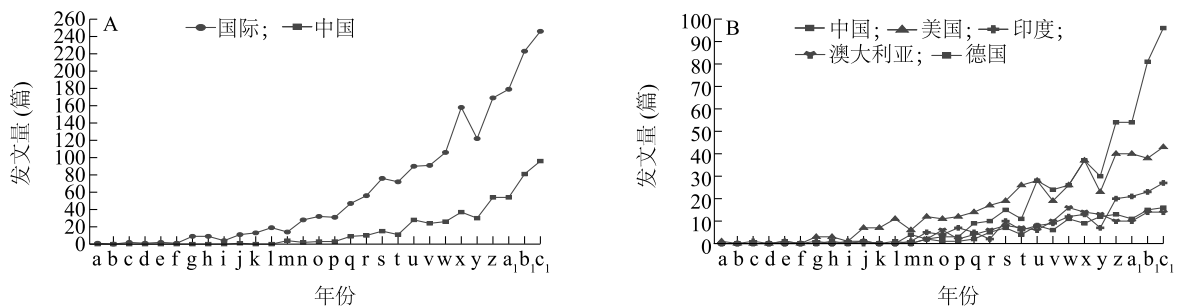
CiteSpace 是一款功能强大的科学文献分析工具,能够对特定的知识领域进行追踪、处理、计量,从而找到关键的路径和知识发展拐点,分析科研领域的研究脉络,并探索学科的最新动态<sup>[13]</sup>。本研究通过 CiteSpace 软件,对 2017 年前后两个时期的关键词突现指标和发展趋势进行了分析。通过比较不同时间段的数据,可以了解某一领域的研究方向和重点,及时关注学科的最新发展,从而更好地指导和促进科研工作的进展。

为了解畜禽粪便和碳中和领域论文发表的主要期刊,可以使用 HistCite 中的本地引用次数(TLCS)和总引用次数(TGCS)指标。TLCS 表示输入 HistCite 数据库中一篇论文被其他文献引用的次数,而 TGCS 表示输入 HistCite 数据库中一篇论文被 WOS 数据库中全部文献引用的次数。因为 HistCite 中的论文都是与主题词相关的相关文献,所以 TLCS 值越高,说明其内容在本领域的影响力越大<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 畜禽粪便和碳中和领域论文年度分布和国家分布

通过对每年国际上的文献发表数量的统计,可以清楚地了解畜禽粪便和碳中和的研究历程。从 20 世纪 90 年代,国际上对畜禽粪便和碳中和的热度不断提高,有关文献数量大体呈现增长趋势(图 1),可见畜禽粪便和碳中和领域是当前农业科学研究关注的热点。从发表论文数量来看(图 1),中国(488 篇)、美国(445 篇)、印度(184 篇)、澳大利亚(142 篇)、德国(127 篇)在畜禽粪便和碳中和研究方面处于领先地位,中国发表论文数量最高且发表论文数量增长速度最快,其次是美国。通过比对发表论文数量排名前五的国家发现,中国虽然在该领域的研究起步相对较晚,但后期发展态势较好。1994–2017 年,中国发表论文数量呈缓慢增长,发表论文总量 173 篇,平均每年发表论文 7.5 篇,发表论文总量仅占国际上发表畜禽粪便和碳中和领域论文总量的 19.82%。说明这一阶段中国畜禽粪便和碳中和领域研究处于探索期。2018–2022 年,中国发表论文数量快速增长,发表论文总量 315 篇,平均每年发表论文 78.8 篇,发表论文总量占国际上发表畜禽粪便和碳中和领域论文总量的 33.55%,说明在此阶段中国畜禽粪便和碳中和研究成为农业研究的重要一环,越来越受到研究人员的重视。



a: 1994; b: 1995; c: 1996; d: 1997; e: 1998; f: 1999; g: 2000; h: 2001; i: 2002; j: 2003; k: 2004; l: 2005; m: 2006; n: 2007; o: 2008; p: 2009; q: 2010; r: 2011; s: 2012; t: 2013; u: 2014; v: 2015; w: 2016; x: 2017; y: 2018; z: 2019; a<sub>1</sub>: 2020; b<sub>1</sub>: 2021; c<sub>1</sub>: 2022。

图 1 中国与国际上在畜禽粪便和碳中和领域发表论文情况对比(A)以及发文量排名前五的国家年发文量对比(B)

Fig.1 Comparison of Chinese and international publications in the field of livestock manure and carbon neutrality (A) and comparison of the annual number of publications of the top five countries in terms of the number of publications (B)

### 2.2 畜禽粪便和碳中和领域论文发表的学科分布和期刊分布

通过 WOS 检索分析,选取畜禽粪便和碳中和论

文发文量前 10 的学科(图 2),发现环境科学、土壤学、农学、农业多学科、生态学这 5 个学科发文量较多,分别占总发文量的 27.1%、17.5%、10.3%、

9.7%、9.4%。此外,畜禽粪便和碳中和的研究领域还涉及农业、乳制品和动物科学、多学科科学等诸多学科,说明畜禽粪便和碳中和的研究涉及的学科众多,涵盖的内容广泛,交叉学科的研究对推动该领域创新发展也起着十分重要的作用。

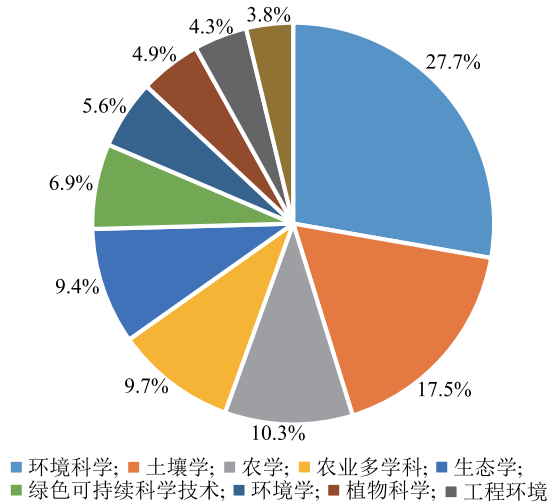


图2 1994-2022年畜禽粪便和碳中和领域发文量排名前10学科

Fig.2 Top ten disciplines in the field of livestock manure and carbon neutrality from 1994 to 2022

可视化软件 HistCite 分析结果表明(表1),发文量排名前3的期刊有 Agriculture Ecosystems & Environment(94篇)、Science of the Total Environment(57篇)和 Soil & Tillage Research(54篇)。本地引用次数(TLCS)、总引用次数(TGCS)相对较高的期刊有 Agriculture Ecosystems & Environment、Geoderma等,且大多数期刊属于环境科学和土壤学领域。其中,影响因子最高的期刊是 Journal of Cleaner Production,近5年影响因子达到11.02(2017-2021),该期刊是一份国际性、跨学科的杂志,文章内容涉及清洁生产、环境和可持续发展等领域。

### 2.3 国家、机构、作者间的合作空间特征

基于 VOSviewer 软件可视化网络图谱分析(图3),国家之间的合作是实现创新性研究、提高科研能力的重要途径之一。总联系强度参数(TLS)结果表明,美国(386)、中国(333)、德国(260)、澳大利亚(208)以及意大利(197)分别为排名前5的国家,这些国家有着较强的影响力且与其他国家合作较多。其中,中国与美国、澳大利亚、英格兰、巴基斯坦在畜禽粪便和碳中和领域的合作研究较为频繁。

表1 1994-2022年畜禽粪便和碳中和领域发文量排名前10期刊

Table 1 Top ten journals in the field of livestock manure and carbon neutrality from 1994 to 2022

| 期刊名称                                 | 发文量<br>(篇) | 本地引用<br>次数 | 总引用<br>次数 | 2017-2021年<br>影响因子 |
|--------------------------------------|------------|------------|-----------|--------------------|
| Agriculture Ecosystems & Environment | 94         | 428        | 6 661     | 7.09               |
| Science of the Total Environment     | 57         | 42         | 1 652     | 10.24              |
| Soil & Tillage Research              | 54         | 469        | 3 892     | 7.83               |
| Sustainability                       | 53         | 4          | 666       | 4.09               |
| Journal of Cleaner Production        | 52         | 46         | 1 096     | 11.02              |
| Agricultural Systems                 | 46         | 95         | 1 796     | 7.13               |
| Geoderma                             | 39         | 333        | 5 981     | 7.44               |
| Agronomy-Basel                       | 36         | 0          | 178       | 4.12               |
| Nutrient Cycling in Agroecosystems   | 31         | 157        | 1 356     | 4.50               |
| Land Degradation & Development       | 30         | 61         | 1 023     | 5.20               |

发文机构合作网络分析图谱结果表明(图4),中国科学院与其他机构合作关系密切。在总联系强度参数(TLS)的排序中,中国科学院(169)位列第一,其次分别是中国农业科学院(110)、科罗拉多州立大学(62)、阿伯丁大学(60)、中国科学院大学(57)。在发文量方面,中国科学院(147篇)是发文量最高的机构,中国农业科学院(79篇)、美国农业部农业研究局(62篇)、俄亥俄州立大学(48篇)以及西北农林大学(40篇)分别是发文量仅次于中国科学院的机构。具体来说,中国科学院主要与中国农业科学院、中国农业大学、西北农林科技大学、南京农业大学等机构均有较为密切的合作,主要为国内合作较为紧密;而俄亥俄州立大学主要与美国农业部农业研究局、印度农业研究理事会等国际间学术科研机构有较为密切合作。

从发文作者的合作关系和发文量来看(图5),来自美国俄亥俄州立大学的 Lal,英国阿伯丁大学的 Smith,中国农业科学院的徐明岗、张文菊等是畜禽粪便和碳中和研究领域内论文高产研究学者,发文量均在20篇以上。总联系强度参数(TLS)结果表明,Lal(23)、徐明岗(23)、Kundu(17)、Smith(13)、Bhattacharyya(12)等与其他作者的合作关系密切。



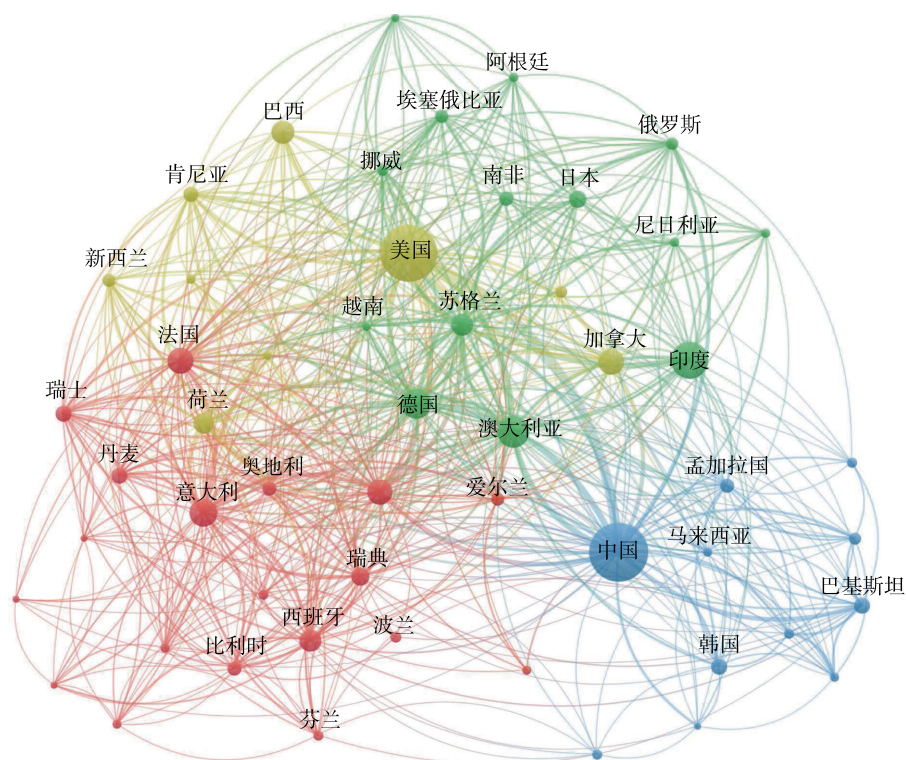


图 3 畜禽粪便和碳中和领域主要国家间的合作研究关系

Fig.3 Cooperation among major countries in the field of livestock manure and carbon neutrality

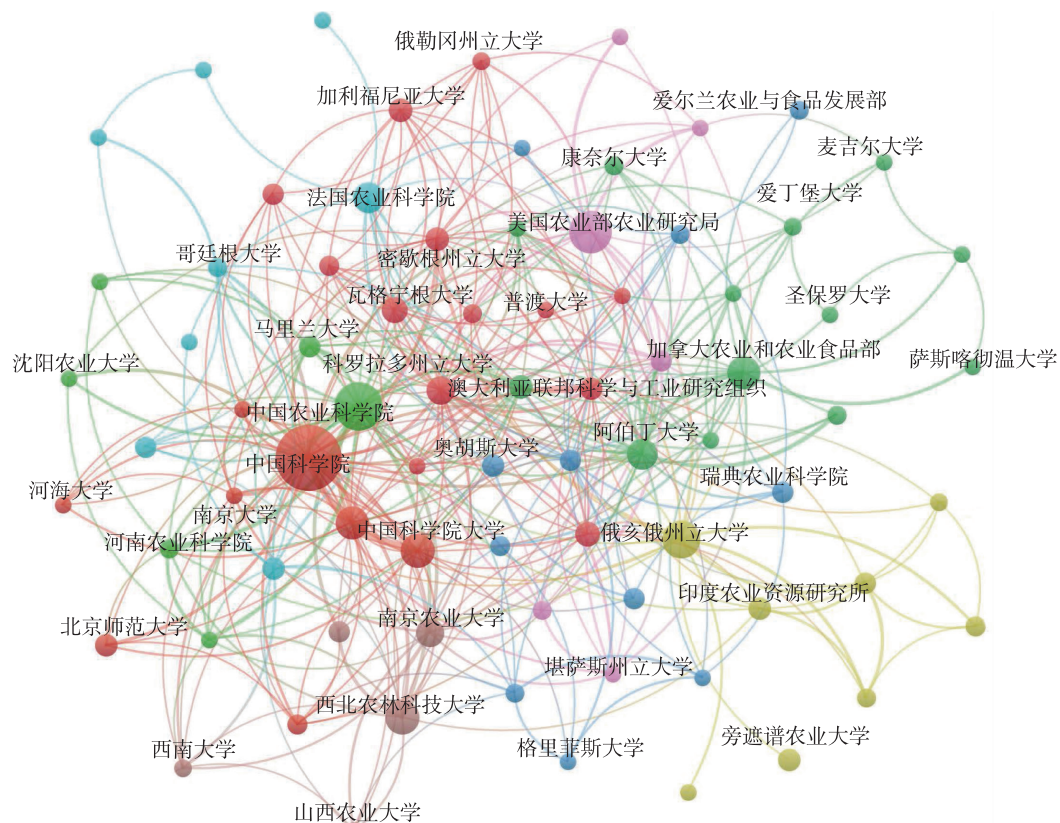


图 4 畜禽粪便和碳中和领域主要发文机构间的合作研究关系

Fig.4 Cooperative relationships among major issuing agencies in the field of livestock manure and carbon neutrality

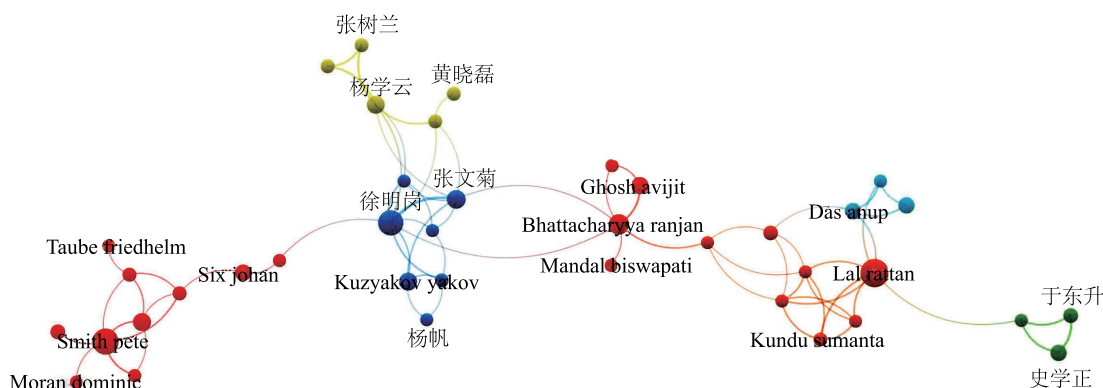


图5 畜禽粪便和碳中和领域主要发文作者间的合作研究关系

Fig.5 Cooperation among the authors of major publications in the field of livestock manure and carbon neutrality

## 2.4 畜禽粪便和碳中和领域的研究热点

关键词的出现频率与其有关研究主题的关注度密切相关。在该研究中,出现次数最高的关键词是碳封存(828次),表明在该研究领域碳封存是目前的研究热点(图6)。在关键词共现网络中,与碳封存关系密切的有管理、粪肥、有机质、温室气体排放等。根据关键词共现网络分析结果,可以将畜禽粪便和碳中和研究领域划分为4个聚类,其中不同颜色的节点代表不同的聚类。红色聚类的主要研究方向是探索畜禽粪便中的有机质和微生物量对土壤有机质和碳封存的影响,关键词包括碳封存、氮气、有机质、产量、微生物量、土壤有机质和作物栽培制度等,表明科学家们一直关注畜禽粪便中的微生物数量对土壤有机质的影响,同时体现出科学家们还关注不同的作物栽培制度对微生物群落的多样性和酶活性所造成的影响。蓝色聚类的主要研究方向是探索一些新的土地管理方法,关键词包括管理、封存、土地利用、森林、气候和生态系统服务等,表明通过优化土地利用、森林保护和生态服务体系建设等方法来增强土壤固碳能力,旨在实现可持续发展和保护生态环境。黄色聚类的主要研究方向是探索畜禽粪便的不同管理方式使其资源最大化,关键词包括粪肥、生物炭、生物量、土壤肥力率和混合肥料等,畜禽粪便除了可以制成有机肥料外还可以高温热解制备成土壤改良剂——生物炭,改良剂和肥料结合能够提高土壤质量和农作物产量,增强土壤固碳能力以及减少温室气体排放,可见畜禽粪便的高效加工利用受到广泛关注。绿色聚类的主要研究方向是畜禽粪便在农业生产过程中产生的温室气体对气候变化的影响,关键词包括温室气体排放、气候变化、土壤碳封存和影响

等,表明温室气体排放引起气候变化的环境问题在该领域受到研究者的高度重视。

## 2.5 畜禽粪便和碳中和研究的发展趋势

通过 CiteSpace 分析了畜禽粪便和碳中和研究领域论文中关键词突现指标,以说明特定时期的研究热点。表2中的加粗虚线是热条,代表引文爆发最强的时间段<sup>[15]</sup>。将1994–2022年关键词突现指标划分为2个时间段(1994–2016年和2017–2022年)来描述畜禽粪便和碳中和研究领域的发展趋势。1994–2016年有机质、作物轮作、保护性耕作、生物炭的突现指标相对较强,长期试验、农家肥突现时间相对较久。长期试验是评估农家肥对土壤碳储量和土壤质量影响的有效手段。畜禽粪便中的有机质含量和耕作制度是影响畜禽粪便碳封存和土壤质量的重要因素,而农家肥的科学施用和管理以及生物炭等土壤改良剂的使用可以提高土壤有机质和碳储量。2017–2022年放牧管理、有机碳封存、粪便管理等关键词突现指标较强,合理的放牧管理和粪便管理对增加土壤有机质积累和土壤有机碳封存有着重要作用。目前,针对畜禽粪便的管理技术越来越多样化,包括沼气发电、生物炭制备、有机肥料制备等这些技术的发展和运用将是未来的热点和趋势。

## 3 结论

随着全球气候变化和环境污染问题的日益突出,碳中和已经成为一项备受关注的全球性倡议<sup>[16]</sup>。而畜禽粪便则作为一种重要的有机废弃物资源,其管理和利用对于实现碳中和目标具有重要的意义<sup>[17]</sup>。



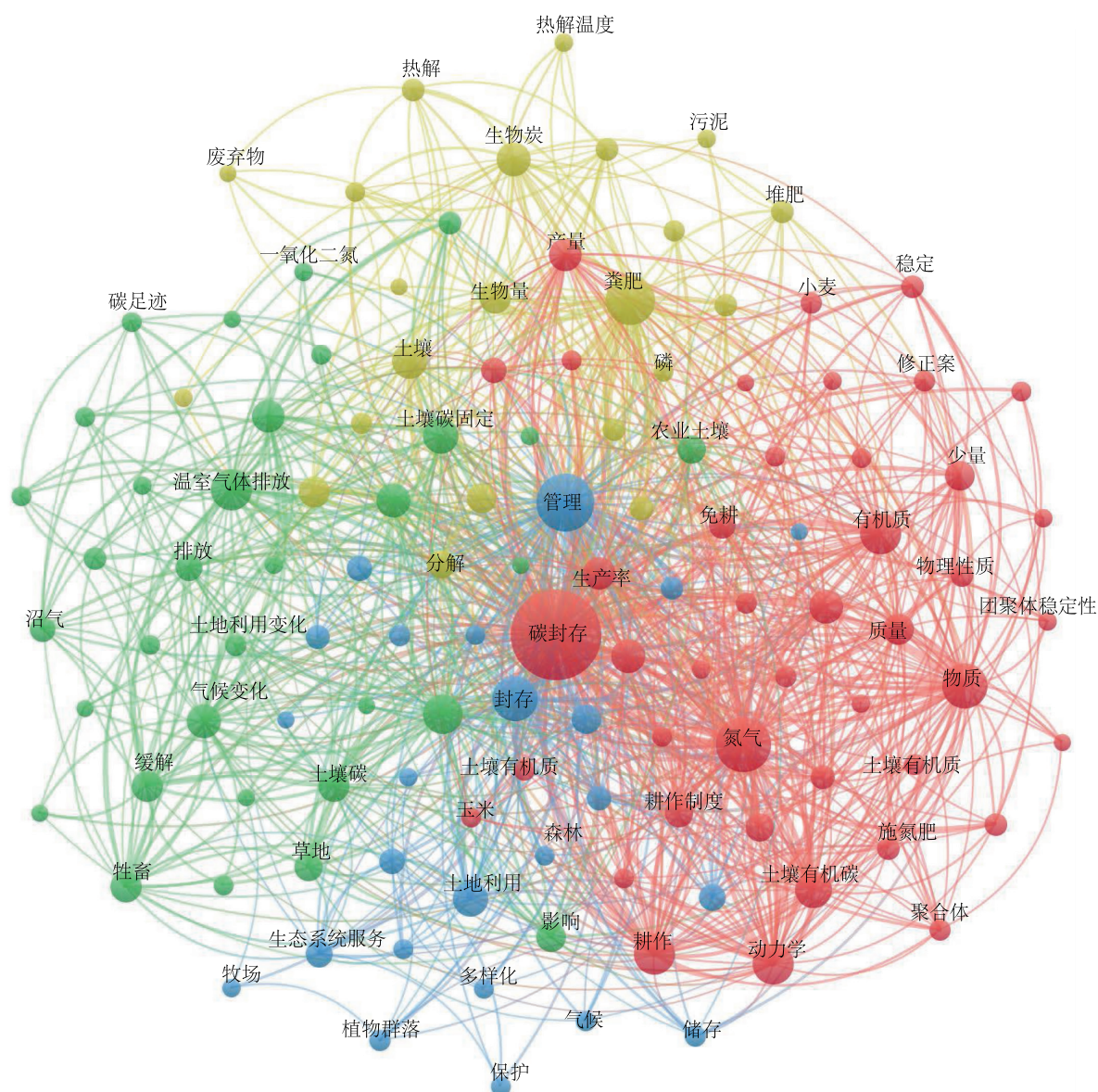


图 6 畜禽粪便和碳中和领域论文中关键词的共现网络

Fig.6 Co-occurrence network of keywords in literature published in the field of livestock manure and carbon neutrality

在畜禽粪便和碳中和研究领域,中国、美国、印度、澳大利亚是论文发表数量最多的国家,其中,虽然中国畜禽粪便和碳中和的研究起步较晚,但发展迅速且发量最高。Lal、Smith、徐明岗、张文菊等是畜禽粪便和碳中和研究领域中文高产研究学者。该研究领域研究论文主要发表的学术期刊有 Agriculture Ecosystems & Environment、Science of the Total Environment、Soil & Tillage Research,本地引用次数较高的期刊有 Soil & Tillage Research、Agriculture Ecosystems & Environment 等。该领域的国外研究机构主要有科罗拉多州立

大学、俄亥俄州立大学、阿伯丁大学、美国农业部农业研究局等,国内研究机构主要有中国科学院、中国农业科学院、中国农业大学、南京农业大学等。

关键词共现网络和关键词突发性检测结果显示,有关畜禽粪便和碳中和相关研究主要集中于畜禽粪便中有机质和微生物量对土壤有机质和碳封存的影响。探索一些新的土地管理方法以增强土壤碳汇能力,把畜禽粪便加工成有机肥料或者土壤改良剂以增强土壤有机质含量,减少畜禽粪便在农业生产过程中产生的温室气体。

表 2 1994–2022 年畜禽粪便和碳中和领域论文中关键词突现指标

Table 2 Emerging indicators of keywords in papers in the field of livestock and poultry manure and carbon neutrality from 1994 to 2022

| 关键词    | 出现年份 | 突现强度  | 起始突现年份 | 结束年份 | 突现时间段     |
|--------|------|-------|--------|------|-----------|
| 长期试验   | 1997 | 4.66  | 1997   | 2013 | 1997-2013 |
| 作物轮作   | 2000 | 9.77  | 2000   | 2006 | 2000-2006 |
| 保护性耕作  | 2000 | 8.98  | 2000   | 2010 | 2000-2010 |
| 有机质    | 2001 | 12.33 | 2001   | 2010 | 2001-2010 |
| 农家肥    | 2006 | 5.15  | 2006   | 2018 | 2006-2018 |
| 交替     | 2006 | 4.13  | 2006   | 2017 | 2006-2017 |
| 耕作     | 1994 | 6.30  | 2007   | 2010 | 2007-2010 |
| 生物炭    | 2008 | 8.15  | 2008   | 2016 | 2008-2016 |
| 排放     | 2001 | 5.20  | 2010   | 2015 | 2010-2015 |
| 种植制度   | 2003 | 4.26  | 2010   | 2012 | 2010-2012 |
| 氮气     | 1997 | 4.67  | 2012   | 2013 | 2012-2013 |
| 免耕     | 2005 | 5.89  | 2013   | 2015 | 2013-2015 |
| 生态系统服务 | 2008 | 5.17  | 2016   | 2017 | 2016-2017 |
| 速度     | 2016 | 4.78  | 2016   | 2018 | 2016-2018 |
| 呼吸     | 2016 | 4.42  | 2016   | 2020 | 2016-2020 |
| 有机碳封存  | 2017 | 4.67  | 2017   | 2020 | 2017-2020 |
| 放牧管理   | 2018 | 5.55  | 2018   | 2020 | 2018-2020 |
| 长期施肥   | 2014 | 4.19  | 2019   | 2022 | 2019-2022 |
| 机制     | 2015 | 4.33  | 2020   | 2022 | 2020-2022 |
| 粪便管理   | 2020 | 4.31  | 2020   | 2022 | 2020-2022 |

本研究结果表明,畜禽粪便和碳中和领域过去多集中于研究畜禽粪便中有机质含量、土地利用方式、农家肥的科学使用和管理等,近年来通过对关键词等分析发现放牧管理、有机碳封存、粪便管理是未来的研究热点和发展趋势。此前已有大量研究结果表明长期施肥可以提高土壤碳储量,而适当的粪便管理和土壤改良措施可以进一步增加土壤碳储量<sup>[18-20]</sup>。先前的研究探索为农业可持续发展和环境保护提供重要的理论基础和实践指导,有助于缓解气候变化和改善生态环境。针对畜禽粪便管理的问题,需要开展更多的实证研究,探讨不同粪便处置方法对于土壤有机碳封存和碳中和的影响,如沼气发电、生物炭制备、有机肥料制备等,以及不同处置方法之间的比较和优化。未来,研究人员需要进一步探索更加可持续的粪便管理方法和土地利用模式,以减少养殖业的碳排放。

#### 参考文献:

[1] 方精云,朱江玲,石岳. 生态系统对全球变暖的响应[J]. 科

学通报,2018,63(2):136-140.

- [2] LI L F, ZHENG Z Z, BIEDERMAN J A, et al. Ecological responses to heavy rainfall depend on seasonal timing and multi-year recurrence [J]. The New Phytologist, 2019, 223(2): 647-660.
- [3] HUANG J B, ZHANG X D, ZHANG Q Y, et al. Recently amplified arctic warming has contributed to a continual global warming trend [J]. Nature Climate Change, 2017, 7(12): 875-879.
- [4] HUANG J P, YU H P, DAI A G, et al. Drylands face potential threat under 2 °C global warming target [J]. Nature Climate Change, 2017, 7(6): 417-422.
- [5] 王莹. 我国农业面源污染防治法律制度研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [6] 王阳. 长期施用化肥对土壤有机质含量及其组成的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.
- [7] 张卫建, 严圣吉, 张俊, 等. 国家粮食安全与农业双碳目标的双赢策略[J]. 中国农业科学, 2021, 54(18): 3892-3902.
- [8] 张超, 文涛, 张媛, 等. 基于文献计量分析的镰刀菌枯萎病研究进展解析[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1280-1291.
- [9] 陈香, 李卫民, 刘勤. 基于文献计量的近30年国内外土壤微生物研究分析[J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1458-1470.
- [10] CHEN C M. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology,



- 2006, 57(3):359-377.
- [11] ECK N J V, WALTMAN L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping [J]. *Scientometrics*, 2010, 84:523-538.
- [12] 邢素芝, 李孝良, 肖 新, 等. 基于 CiteSpace 可视化分析有机肥料研究进展[J]. *土壤*, 2020, 52(4):659-667.
- [13] 陈 昱, 马子涵, 古洁灵, 等. 环境成本研究: 合作、演进、热点及展望——基于 CiteSpaceV 的可视化分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(6):11-22.
- [14] 陈 雪, 袁紫仪, 林湘岷, 等. 基于 Web of Science 文献计量的我国节水农业研究态势分析[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(8):198-207.
- [15] ZHANG Y, PU S Y, LYU X, et al. Global trends and prospects in micro plastics research: a bibliometric analysis [J]. *Pre-Proof*, 2020, 400. DOI:10.1016/j.jhazmat.2020.123110.
- [16] 张雅欣, 罗荟霖, 王 灿. 碳中和行动的国际趋势分析[J]. *气候变化研究进展*, 2021, 17(1):88-97.
- [17] 朱志平, 董红敏, 魏 莎, 等. 中国畜禽粪便管理变化对温室气体排放的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(4):743-748.
- [18] 徐明岗, 于 荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4):459-465.
- [19] 许文志, 欧阳平, 罗付香, 等. 中国畜禽粪污处理利用现状及对策探讨[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(23):106-112.
- [20] 王瑞峰, 赵立欣, 沈玉君, 等. 生物炭制备及其对土壤理化性质影响的研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2015, 17(2):126-133.

(责任编辑:成纾寒)