

基于 CiteSpace 可视化分析中国食用菌菌渣资源化利用的研究热点与趋势

赵冬梅, 杨 茜, 李学平, 刘龙祥, 荣 琨, 李瑞敏

(山东航空学院·山东省黄河三角洲生态环境重点实验室 山东滨州 256603)

摘 要: 随着食用菌生产规模的不断扩大, 伴随产生的食用菌菌渣数量也越来越多, 如何对其进行高效的资源化处理成为本领域亟待解决的问题。为了解食用菌菌渣资源化的研究现状, 本文采用科学知识图谱系统对我国近 20 年(2005—2025)在该领域的发展前沿和方向进行展示。利用计量学软件 CiteSpace 对中国知网检索的 716 篇文献中涉及的作者、研究机构、关键词进行可视化分析, 构建菌渣资源化相关研究的共现网络, 并绘制相关图谱, 并针对图谱中的结果进行分析, 讨论当前研究热点, 总结存在的不足, 展望其发展趋势。研究结果不仅可助力食用菌产业的可持续发展, 而且能有效推动我国在农业资源循环利用领域的发展。

关键词: 食用菌; 菌渣资源化; CiteSpace; 研究热点; 发展趋势

中图分类号: S646

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)09-258-11

Research hotspots and trends in the resource utilization of edible fungus residue in China based on CiteSpace visualization analysis

Zhao Dongmei, Yang Qian, Li Xueping, Liu Longxiang, Rong Kun, Li Ruimin

(Shandong University of Aeronautics/Shandong Key Laboratory of Eco-Environmental Science for the Yellow River Delta, Binzhou 256603, Shandong, China)

Abstract: With the continuous expansion of edible fungi production scale, the amount of edible fungi residue generated is also increased. How to efficiently utilize these residues has become an urgent issue to be addressed in this field. In order to understand the research status of edible fungi residue resource utilization, this paper used a scientific knowledge mapping system to display the development frontiers and directions in this field over the past two decades (2005—2025) in China. Using the bibliometric software CiteSpace, a visual analysis was conducted on the authors, research institutions, and key words involved in 716 articles retrieved from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI). Co-occurrence networks of research related to residue resource utilization were constructed, and corresponding maps were generated. Based on the mapping results, current research hotspots were further discussed, existing deficiencies were summarized, and future development trends were prospected. The research results not only contribute to the sustainable development of the edible fungi industry, but also effectively promote the development of agricultural resource recycling in China and local areas.

Key words: Edible fungi; Resource utilization of edible fungi residue; CiteSpace; Research hotspots; Development trend

食用菌以独特的风味和丰富的营养价值备受消费者青睐。因其栽培过程不与传统农业竞争耕地、水等关键资源, 还能将各类农业废弃物变废为宝, 实现其独有的循环经济价值。因此, 食用菌产业在国家与地方层面均被视为具有战略意义的特

色农业产业, 受到持续的政策关注和产业支持。例如, 中共中央、国务院《关于做好 2023 年全面推进乡村振兴重点工作的意见》一号文件中指出要树立大食物观, 构建多元化食物供给体系, 培育壮大食用菌产业^[1]; 农业农村部还专门针对食用菌产业制

收稿日期: 2025-09-13; 修回日期: 2026-03-11

基金项目: 山东省自然科学基金青年科学基金(ZRZR2026QC0410); 山东省高等学校青创科技支持计划项目(2022KJ088); 滨州市揭榜挂帅技术攻关计划项目(2025JBGS002)

作者简介: 赵冬梅, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为有机固废资源化处理。E-mail: zhao1153672765@163.com

通信作者: 杨 茜, 女, 副教授, 研究方向为生物质固废资源化利用、微生物法水处理。E-mail: 18355302825@163.com

定了《食用菌菌种管理办法》。随着食用菌产业种植规模的不断扩大,产量逐步提高(2023 年总产量高达 4 336.04 万 t)^[2],已跃居成为我国第五大种植业^[3]。近年来,中国研究者在食用菌的培养^[4]、栽培基质研究^[5]、食品保鲜^[6]、综合价值开发^[7]、菌渣资源化利用^[8]等领域取得了较为丰硕的成果。

食用菌菌渣,是子实体采收后留下的固体培养基,是食用菌产业的主要废弃物^[9]。随着食用菌种植规模的扩大,菌渣的产量也在持续增加。若对其处理不当,不仅造成资源的浪费,还会产生不必要的环境污染^[8]。目前,我国针对食用菌菌渣的利用尚未实现综合资源化。如何结合食用菌菌渣的处理现状,以更科学的处理方式对其进行资源化利用,不仅关乎食用菌产业的可持续发展,更是推动我国农业资源循环利用的关键。具体而言,“关键点”在于:首先,菌渣的资源化处理是破解食用菌产业发展瓶颈的核心,即将菌渣从“治理负担”转化为“增值资源”,直接减少其对环境的污染并创造可观的经济效益;其次,重塑农业生态系统结构,将处理后的菌渣作为有机肥、生物炭等反哺农田,改良土壤,对推动传统线性农业生产模式向现代化循环模式升级具有重要意义。

随着信息技术的快速发展,可视化应用越来越普及^[10]。文献计量学,应用数学和统计学方法,将文献分析定量化,以更直观的可视化方式展示结果。其中,CiteSpace 是由陈悦等^[11]教授编写的可视化软件,主要用于分析当前某个研究领域的趋势和动态,并以可视化方式呈现。为促进食用菌产业的绿色可持续发展,系统梳理和总结我国在食用菌菌渣资源化利用领域的研究进展至关重要。本文基于中国知网(CNKI)数据库,采用文献计量方法,对食用菌菌渣资源化领域的研究脉络、学术合作、热点分布等进行系统分析。本研究旨在明晰该研究领域的知识结构和发展动态,识别核心研究方向与前沿发展趋势,以期对相关机构、学者与从业人员提供有价值的学术参考和实践借鉴。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文选择中国知网(Chinese National Knowledge Infrastructure, CNKI)总库中检索到的文章为主要数据来源。(1)在高级检索页面,检索条件如下:“2005—2025 年”、“文献分类:基础科学、工程科技 I 辑、工程科技 II 辑、农业科技”、“主题词(模糊)

‘食用菌’并含‘菌渣’并含‘菌糠’”、“来源类别‘北大核心、CSCD、WJCI、EI、CSSCI’”。(2)考虑到时效性,检索时间具体设为 2005 年 8 月 1 日至 2025 年 8 月 1 日,检索日期为 2025 年 8 月 6 日。剔除评论、会议、报道、访谈、征稿通知等无关数据,将检索得到的文献资料保存为纯文本文件。经去重、补全、合并、删除严重不符字段等步骤,共筛选出 716 篇有效文献作为分析数据样本进行分析,并制作相关的网络图谱。

1.2 分析方法

检索后的文章以 Refworks 的格式导出,借助 CiteSpace(v.6.1R6(64-bit))完成数据转换,转换后的数据文件以“download_1_converted.txt”命名,并使用 CiteSpace 软件进行分析。本文其他图(发文量)采用 Origin(18.0)作图软件绘制。研究参数设置及所包括的指标有:近 15 年的关于新能源的论文的发文量、关键词、机构和作者分别进行可视化分析。时间跨度(Time slicing)为 2005—2025;时间分区(Years per slice)为 5;节点类型(Node Types)选择作者(Author)和发文机构(Institution)进行研究领域的合作网络分析,关键词(Key words)进行关键词共现、聚类、时间线图(Time line)、峰峦图(Landscape)、时区图(Time zone)分析;Selection criteria(阈值选择)以 300 为界,因文章总数>300,选择 Top-N,值设为 50。其余设为默认。

共现分析,主要包括作者、研究机构、关键词等的共现分析。是根据一组词两两统计在同一组文章中出现的次数,借助共现次数表示彼此的亲疏关系^[12]。

2 结 果

2.1 期刊发文量

历年文献发文量反映了我国食用菌菌渣资源化利用领域的理论水平和发展速度。由图 1 可知,我国针对食用菌菌渣的资源化处理始于 2010 年,随后呈上升趋势,直到 2024 年达到最大值 94 篇,2025 年上半年仅发表了 30 篇,目前尚在发展阶段。分析认为国内学者针对食用菌菌渣资源化处理的关注度逐年增加,与食用菌产业的发展密切相关。随着食用菌产业规模的不断扩大,对应的菌渣资源化处理引起企业及相关科研人员的重视。但从发文数量上看,相比于其他的农业固废处理(如作物秸秆^[13-14]、畜禽粪便^[15]),食用菌菌渣的资源化处理关注度相对较低。

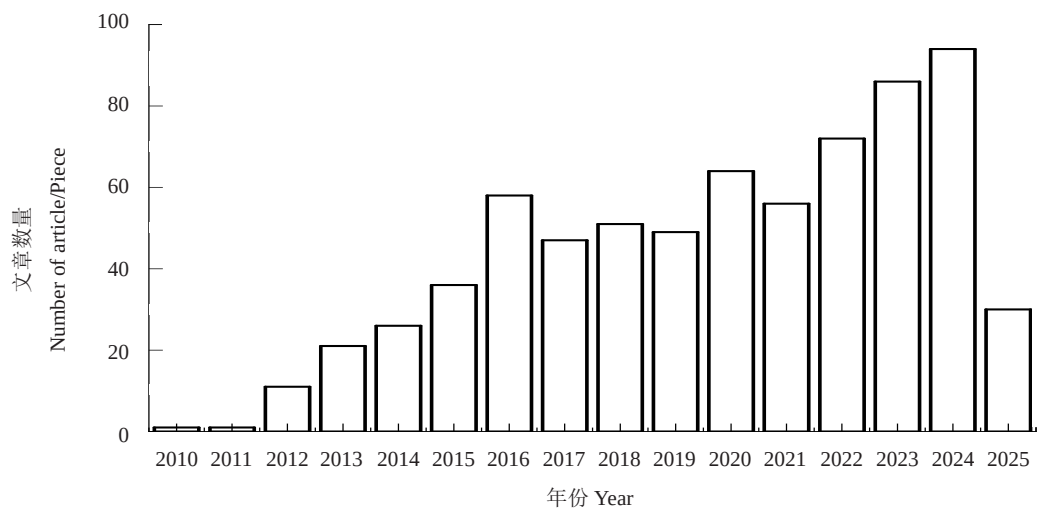


图 1 2010—2025 年我国食用菌菌渣资源化处理研究发文量变化趋势

Fig. 1 Comparative trends of publication outputs on utilization of edible fungus residue in domestic studies from 2010 to 2025

2.2 食用菌菌渣资源化利用研究领域的主要研究力量

2.2.1 主要学者分析 在研究作者共现图谱中,节点表示被分析的对象,节点越大,表示分析对象出现的频率越高,而节点之间的连线则表示共现(作者合作)关系,连线越粗表示共现(合作)的强度越大^[16]。由图 2 可知,作者间合作网络一般,作者合作网络分析共形成至少 20 个节点和链接,其中主要

以冯鑫、耿春银、王庆福、卜小丽、张立东等几位研究者较为突出。总体来看,研究者之间较为分散,形成的合作网络相对明显。分析认为形成这一结果的原因是不同的团队,针对食用菌菌渣的资源化开展了一定的研究,形成较好的合作共现关系。但仍有部分研究者分散在各个团队或高校及科研院所,团队相对小,合作者之间的关系较弱。

2.2.2 主要研究机构分析 研究机构是科学研究

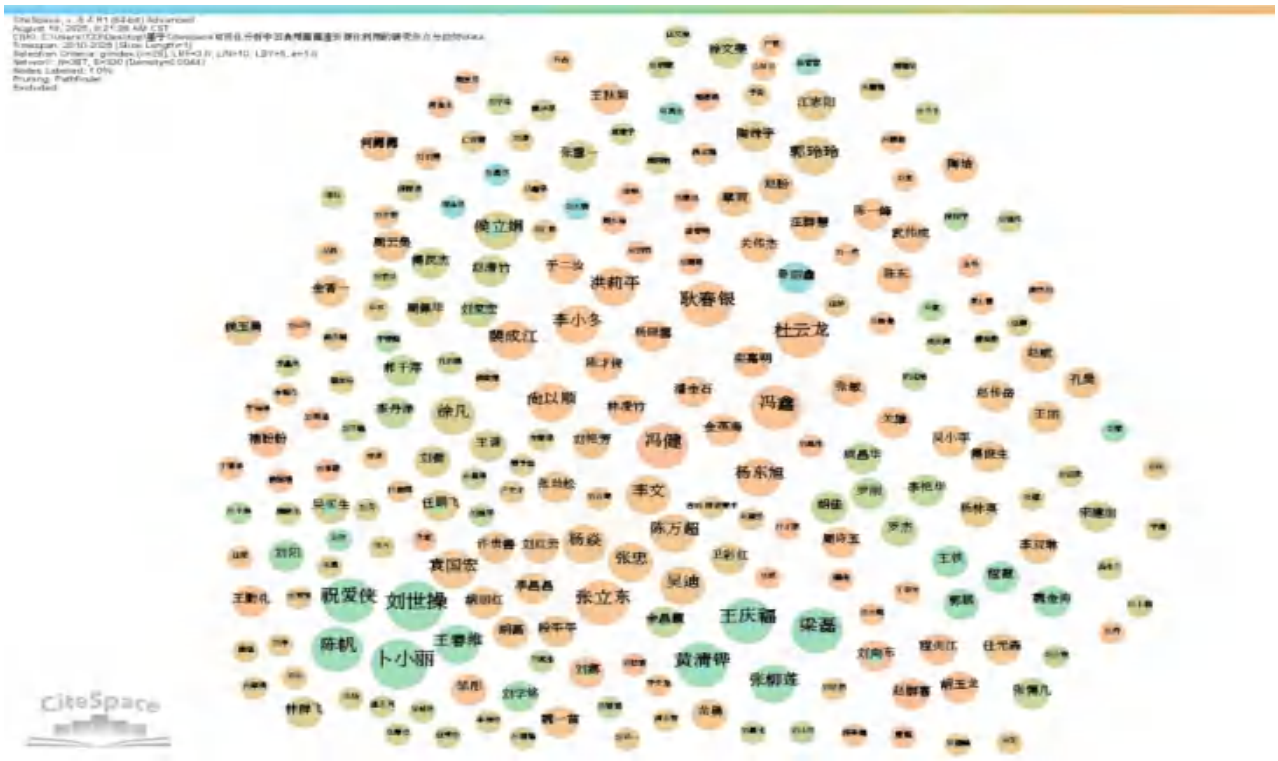


图 2 研究作者共现图谱

Fig. 2 Network map of research authors

领域成果产出的主要体现。通过对检索的 716 篇文献进行阈值摸索调整,为确保机构间共现关系清晰,故对软件中的研究机构聚类设置关键词出现的阈值定为 10,时间间隔 3 年,并将筛选后得到的值进行聚类分析(如图 3 所示)。研究机构共现图谱中圆点的大小代表研究机构发文数量的多少,图中的圆圈越大,代表该机构的发文量越大;颜色则代表机构间的聚类,不同颜色代表不同科研机构的研究方向,相同颜色代表机构之间的研究方向相近;而圆圈之间的距离代表了两个圆圈之间合作程度,合作越紧密,距离越近^[17]。由图 3 结果可知,网络图分布比较分散,各个科研机构间的线条数量较少,说明各个科研机构之间的合作不太紧密,学术交流一般。其中,以山东农业大学、东北农业大学、山西农业大学、福建农林大学、西北农林科技大学、吉林农业大学、湖南农业大学和四川农业大学这几所农业类院校为主,针对食用菌菌渣的资源化产生的成果较突出;但它们之间的合作交流却没有。反而是像中科院沈阳应用生态研究所、广东省植物纤维综合利用工程技术开发中心、云南师范大学能源与环境科学学院等地方科研院所与其他高校或企业的合作更紧密。说明针对食用菌菌渣的资源化处理,结合当地特色的研究并服务于地方农业发展更具

有发展前景及科研创新性。

2.3 食用菌菌渣资源化利用研究领域的研究热点与发展趋势

2.3.1 关键词共现 关键词是研究作者对文章内容的高度凝练和总结,能够反映出文献最核心的内容。在图谱中,关键词之间连线的多少和粗细代表了关键词之间的亲疏关系,连线越多,表示关键词共现的次数越多。关键词的量化常可以用频率(Frequency)和中心度(Centrality)这两个指标来分析某研究领域的热点内容和发展趋势,且频率与关注度呈正比关系;此外,中心度还体现节点的重要程度,数值越大,表明关键词越重要^[18]。本文通过选取每个时间切片(5 年)中出现次数前 10% 的关键词绘制共现谱图(图 4),关键词共现谱图关系线颜色随时间推进由紫色向黄绿色过渡。节点大小表征关键词频次。其中菌糠、产量、菌渣、发酵、堆肥、厌氧发酵、厌氧消化构成的框架关联度较高,其次是以食用菌、生长性能、吸附、生物炭构成的框架。

结合表 1 中国食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词中心度的内容可知,针对食用菌的废弃物,菌渣或菌糠这两种说法都认可,且针对菌渣的资源化处理,以制备生物炭和堆肥(包括好氧发酵和厌氧消化)为主要处理技术。

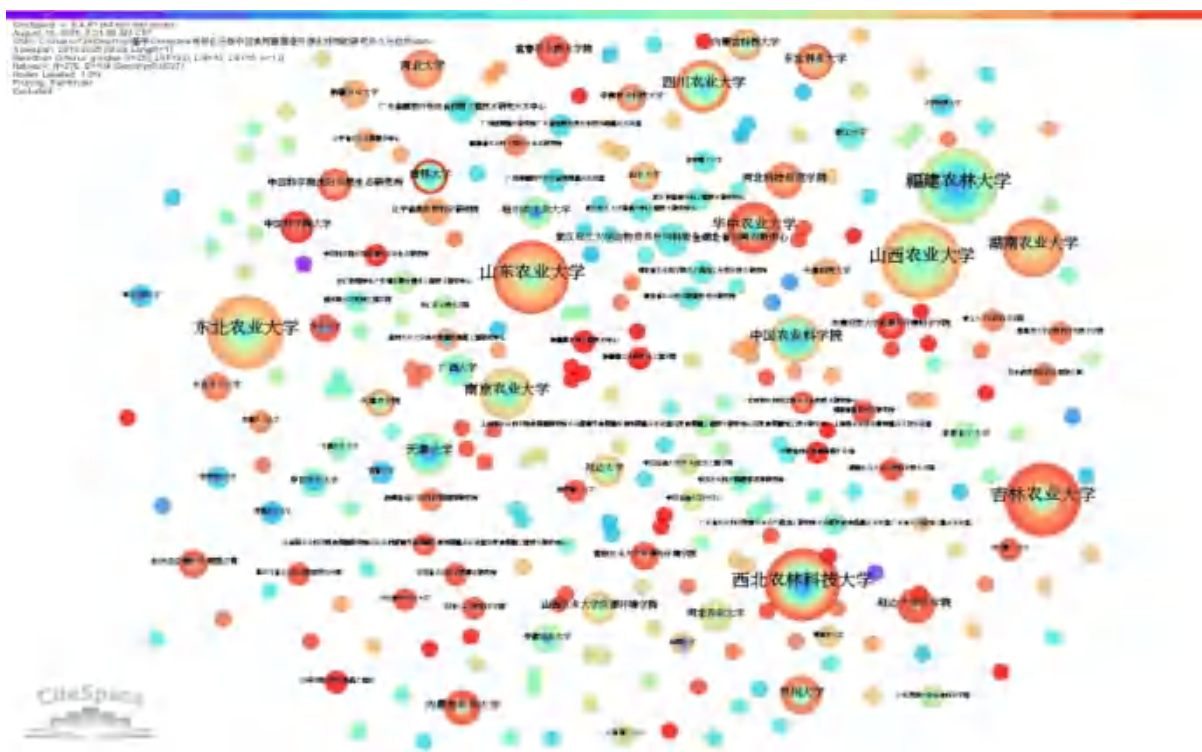
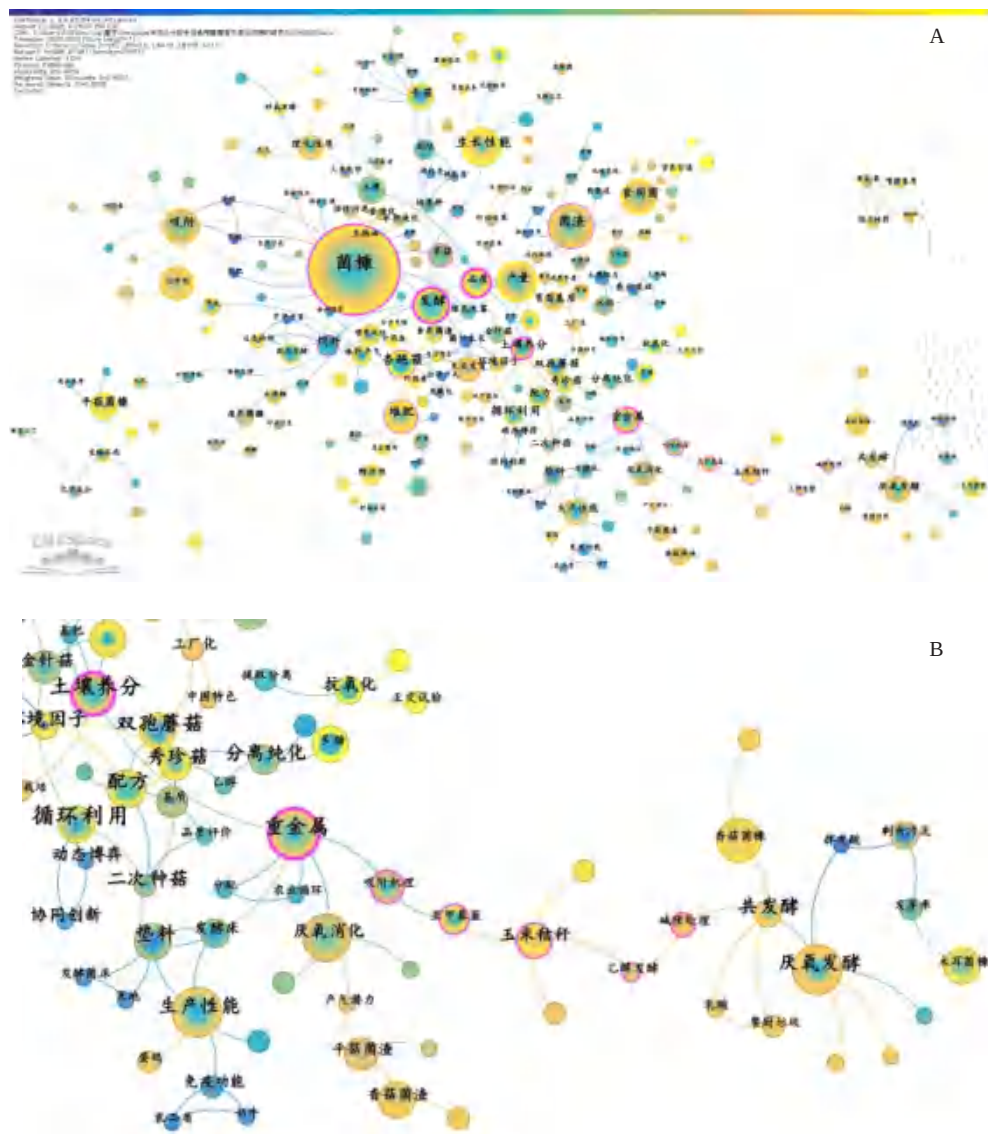


图 3 研究机构共现图谱

Fig. 3 Network map of research institutions



注:A. 整体图; B. 局部图。

Note: A. Overall diagram; B. Sectional diagram.

图 4 食用菌菌渣资源化处理文献关键词共现知识图谱

Fig. 4 Key words co-occurrence knowledge map in utilization of edible fungus residue

2.3.2 聚类分析 关键词的聚类谱图可以表明该领域的不同研究关注点。基于 Log Likelihood Ratio (LLR)算法的 K 聚类对关键词进一步划分,并将数据导出如图 5 和表 2(仅展示前 5 个聚类结果)所示。图 5 中有 12 个标签,代表 12 个聚类,每个聚类的标签都是共现网络中的关键词,聚类的序号是 #0~#11,聚类序号的数字越大,说明该聚类中包含的关键词越少;反之,聚类序号越小,该聚类中包含的关键词越多^[9]。图谱内的连线大多数都是在聚类内部,但仍然存在一些跨聚类的连线。其中,菌糠、生长性能、生长发育、生产性能这几个聚类跨聚类的连线较多,厌氧发酵、玉米秸秆、产量这几个聚类跨聚类的连线次之,通过结果说明这些研究方向之

间的共被引程度高,受关注度也高。当 Q 值 >0.3 时,说明谱图中聚类的结构清晰;而 S 值 >0.5 时,说明聚类内部的关键词一致性高,即内部关键词联系很紧密^[20]。由图 5 数据(图左上角所示)可知, $Q=0.848\ 8$, $S=0.961\ 8$,结果说明聚类图很清晰,以资源化处理关键词为首的内部关键词联系得很紧密,但针对食用菌菌渣(或菌糠)的相关性较弱。

结合表 2 结果,以#0 玉米秸秆、#1 厌氧发酵的研究居多,且热点词以废弃菌糠、吸附、发酵品质等为主要研究内容。说明利用农业废弃物(如玉米秸秆)制作食用菌基质、参与厌氧共消化(菌渣与其他有机固废一起消化)或好氧发酵生产有机肥(如提高发酵品质和性能),进而利用肥料提高土壤肥力、

表 1 中国食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词中心度							
Table 1 The centrality of key words in research literature on the resourceful treatment of edible fungus residue							
引用数量 Number of citations	中心度 Centrality	年份 Year	关键词 Key words	引用数量 Number of citations	中心度 Centrality	年份 Year	关键词 Key words
129	0.38	2011	菌糠 Fungal residue	11	0.43	2012	品质 Quality
29	0.20	2012	菌渣 Mushroom dregs	11	0.15	2012	杏鲍菇 Shiitake mushroom
28	0.09	2012	产量 Output	11	0.06	2015	厌氧消化 Anaerobic digestion
26	0.10	2016	生产性能 Production performance	11	0.05	2013	平菇 Oyster mushroom
21	0.01	2019	生物炭 Biochar	11	0.08	2015	平菇菌糠 Oyster fungal residue
19	0.06	2011	吸附 Adsorption	10	0.27	2015	重金属 Heavy metal
19	0.07	2016	食用菌 Edible fungi	10	0.05	2016	理化性质 Physical and chemical properties
17	0.51	2012	发酵 Fermentation	9	0.05	2015	生产性能 Production performance
17	0.11	2014	堆肥 Compost	9	0.06	2012	厌氧发酵 Anaerobic digestion
13	0.09	2012	土壤 Soil	9	0.01	2012	生产发育 Production development

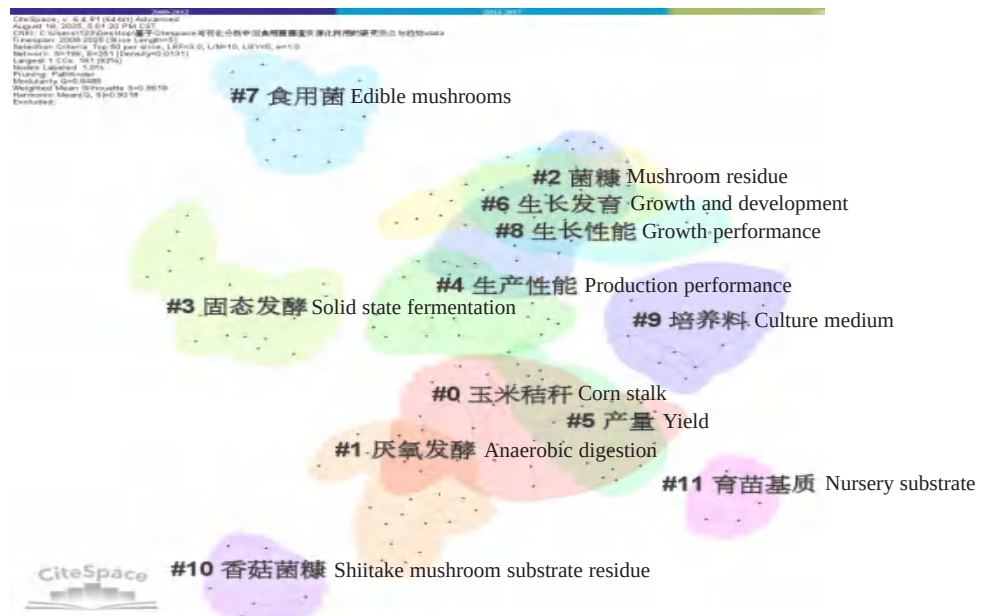


图 5 食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词聚类知识图谱

Fig. 5 Key words clustering knowledge map of research literature on the utilization of edible fungus residue

作物产量或作物生产性能等,均属于食用菌菌渣的资源化处理范畴。

2.3.3 时间线图 时间线图是从时间维度上表示知识演进的视图,它可以清晰地展示文献中关于关键词和研究领域的更新,以及同一聚类中随着时间

推移,不同时间出现的关键词之间的相互影响。关于食用菌菌渣资源化形成的时间线如图 6 所示,图中有 15 个聚类,每个聚类的标签都是共现网络中的关键词,这些关键词按照它们在对应时间内所出现的年份,在所属的聚类中铺展开来,显示每个聚

表 2 聚类分布
Table 2 The cluster distribution

聚类标签 Cluster ID	聚类大小 Size	轮廓值 Silhouette	平均年份 Mean year	热门词汇(对数似然比,LLR) Top terms (log-likelihood ratio, LLR)
0	16	0.929	2017	热解 Pyrolysis(16.61); 吸附 Adsorption(14.24); 废弃菌糠 Waste fungal residue(10.25)
1	16	0.971	2019	玉米秸秆 Corn stalks(12.92); 发酵品质 Fermentation quality(12.92); 配方优化 Recipe optimization(10)
2	15	0.886	2016	厌氧消化 Anaerobic digestion(10.34); 厌氧发酵 Anaerobic fermentation(8.83); 甲烷 Methane(8.83)
3	15	1.000	2019	香菇菌糠 Mushroom mycelium residue(15); 餐厨垃圾 Kitchen waste(12.92); 生长性能 Growth performance(11.42)
4	15	0.919	2016	黄瓜 Cucumber(12); 理化性质 Physical and chemical properties(10.2); 土壤 Soil(9.14)
5	14	0.838	2019	土壤养分 Soil nutrients(12); 堆肥 Compost(11.42); 废弃菌棒 Abandoned fungal residue(10)

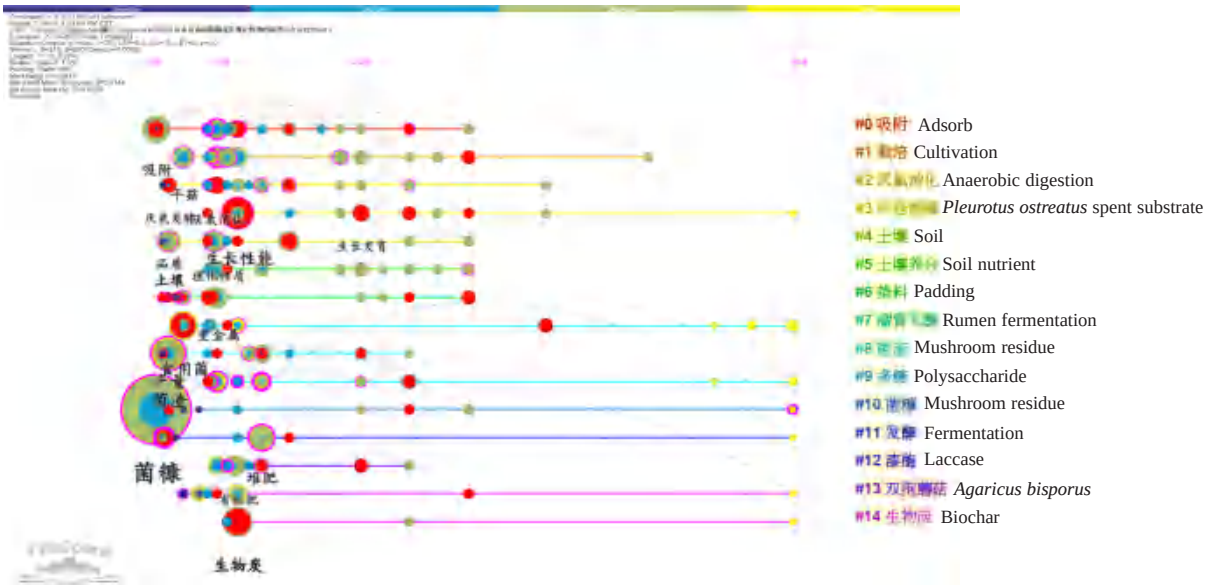


图 6 食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词时间线图
Fig. 6 Key words time line of research literature on the utilization of edible fungus residue

类里关键词的发展情况^[12, 19]。由图 6 结果可知，2010 年首次出现菌糠、菌渣关键词，而 2011—2015 年没再出现热点研究关键词，说明此时期的研究方向比较分散没有出现规模化的研究方向，或研究文献较少；2016—2017 年出现了如厌氧消化、有机肥、堆肥、生物炭、生长性能、理化性质等热点关键词，且出现大量的关键词间的连线，包括聚类内部和跨聚类的连线不同程度的有所交叉，说明围绕食用菌菌渣开展资源化处理的研究方向呈现多元化，且均

是围绕农业或土壤展开。到 2025 年，以菌渣/菌糠为起点，开展的其他研究还在继续，而针对厌氧消化、有机肥、堆肥、生物炭、生长性能等的研究自 2023 年左右有所停滞，分析认为与当前的研究深度不够有关(如菌渣或复配食用菌的基质中含有微塑料或抗生素等新兴污染物，它们在肥料制作或随肥料在土壤/植物中的迁移转化机制尚不明确)。

2.3.4 关键词突现 关键词突现指一定时期内的关键词出现的频率快速增加，可反映该时段对应的

研究热点或研究的新趋势^[19]。表 3 展示了我国食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词突现词的分析结果。由表 3 结果可知,针对食用菌菌渣的资源化处理,从 2012 年关注菌丝生长、菌渣用作饲料、直接作为肥料用于提高土壤肥力、用于畜禽养殖的垫料等方面,2014—2019 年均有不同程度的研究停滞,说明原始的处理方法并不能契合社会技术发展的需求;2015—2024,人们开始将食用菌菌渣向制作肥料(发酵菌肥、好氧或厌氧发酵)、制备生物炭吸附材料等方向转变,说明提高食用菌菌渣资源化处理效率得到了重视;2024—2025,针对食用菌

渣的研究还在继续,说明当前的研究技术或研究领域远不足以服务于新农业的发展需求,未来针对食用菌菌渣资源化综合处理的技术尚需进一步发展和完善。

2.3.5 时区图 随着时间推移的分布变化,研究热点由刚开始的持续集中慢慢变为逐渐分散,主要研究主题也在不同时期发生了更替。根据图 7 中关键词的信息,这些热点词按本领域的发展变化可分为 3 个阶段:2011—2012(初始阶段),2013—2018(发展阶段),2019—2024(近期方向)。初始研究阶段(时区图最左侧),出现的词有菌糠/菌渣、吸附、发

表 3 食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词突现词分析
Table 3 Burst word analysis of research literature on the utilization of edible fungus residue

关键词 Key words	年份 Year	强度 Strength	开始 Begin	结束 End	年份跨度 Time span (2010—2025)
饲料 Feed	2012	2.72	2012	2019	
菌丝生长 Fungal growth	2012	1.93	2012	2014	
土壤肥力 Soil fertility	2012	1.84	2012	2014	
菌肥 Fungal fertilizer	2012	1.84	2012	2014	
垫料 Bedding	2013	1.80	2013	2014	
营养成分 Nutritional components	2013	1.68	2013	2019	
发酵 Fermentation	2012	3.27	2015	2019	
草菇 Mushroom (of the grass type)	2018	2.77	2018	2024	
吸附 Adsorption	2011	2.66	2015	2024	
生物炭 Biochar	2016	2.54	2016	2024	
厌氧消化 Anaerobic digestion	2015	2.02	2015	2024	
废弃菌糠 Abandoned fungal residue	2016	1.95	2016	2024	
菌渣 Mushroom dregs	2012	3.18	2020	2024	
平菇菌糠 Oyster fungal residue	2015	2.94	2020	2025	
生长发育 Growth and development	2020	2.58	2020	2024	
平菇菌渣 Oyster mushroom residue	2020	2.19	2020	2024	
香菇菌渣 Mushroom mycelium residue	2021	1.76	2021	2024	
香菇菌糠 Mushroom mycelium residue	2015	1.73	2020	2024	

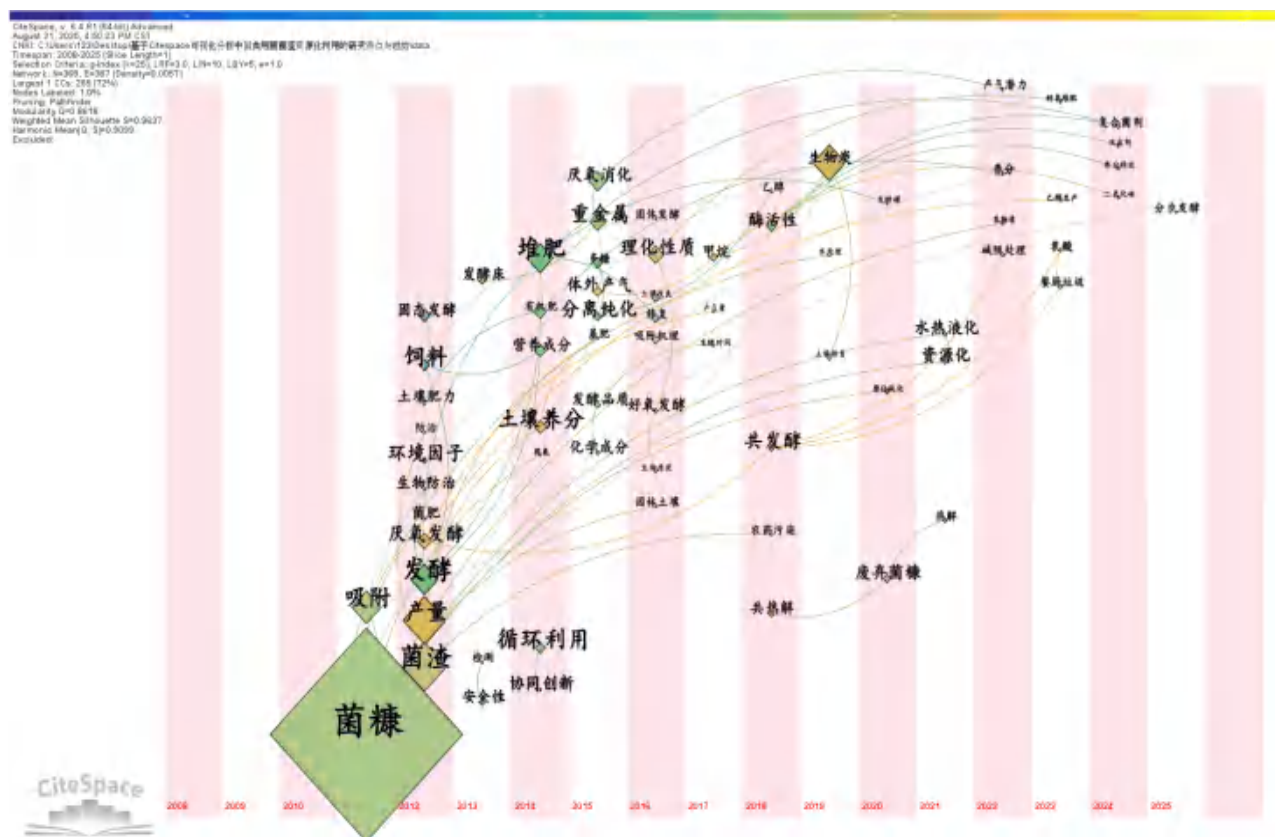


图 7 食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词时区图

Fig. 7 Key words time zone of research literature on the utilization of edible fungus residue

醇(包含厌氧发酵)、产量、菌肥、饲料、土壤肥力等,代表了该领域的基础性概念或起源话题;发展阶段,有堆肥、共发酵、酶活性、发酵品质、土壤养分、厌氧消化、理化性质等,在本阶段出现的高频次、与其他关键词连线多(可能中心性高)的关键词多了起来,与其相关联的子领域较多,说明研究内容开始多元化;近期阶段(时区图最右侧),有水热液化资源化、分布发酵、预处理(碱等化学法、物理法、生物法)、厌氧消化产气潜力、养分、乙醇生产、复合菌剂等,代表了本领域的新兴趋势或前沿方向。通过图7中内容可知,研究结果可印证关键词突现、时间线和聚类结果。

2.3.6 峰峦图

关键词峰峦图是一种特殊的可视化形式,它通过将关键词按照重要性或频次进行排序,并以山峰的形式展现出来,直观地反映了关键词在研究领域中的分布和变化趋势。通过观察关键词峰峦图随时间的变化,研究者可以捕捉到研究趋势的演变,预测未来可能的研究方向。在峰峦图中,山峰越高代表该关键词的频次或重要性越高,是当前研究领域的热点或核心关键词,可

揭示本研究当前的研究前沿和热点,使读者快速捕捉本领域当前研究最新动态,并有效预测未来可能的发展趋势。由图 8 的结果可知,可以印证关键词聚类、关键词突现等结果的内容,即利用玉米秸秆与食用菌菌渣结合,或将食用菌菌渣进行发酵(厌氧发酵或固态好氧发酵等),或利用菌渣(包括制备肥料后)提高作物的生产性能/产量/作物生长发育指标等依旧是当前的研究热点内容。这些热点反映了背后对应的产业需求,且每个山峰连接起来,可勾勒完整的研究图谱。例如,玉米秸秆与食用菌菌渣的结合,不仅是两种农业有机固废的简单混合,而是真正实现“种植业-食用菌业”系统内的物质与能量循环流动,这一高峰的出现,印证了农业循环经济从理念走向实践的正确路径(玉米秸秆-栽培食用菌-产生菌渣,构成上游物料基础)。产生的菌渣作为厌氧发酵的物料、生产的沼气/氢气、沼液/沼渣作为有机肥响应了“双碳”战略和高值化产品的开发,这表明菌渣正从一个“废物”逐渐提升为一种“工业发酵原料”(菌渣-能源气-有机肥-回归农田-作物产量,构成下游

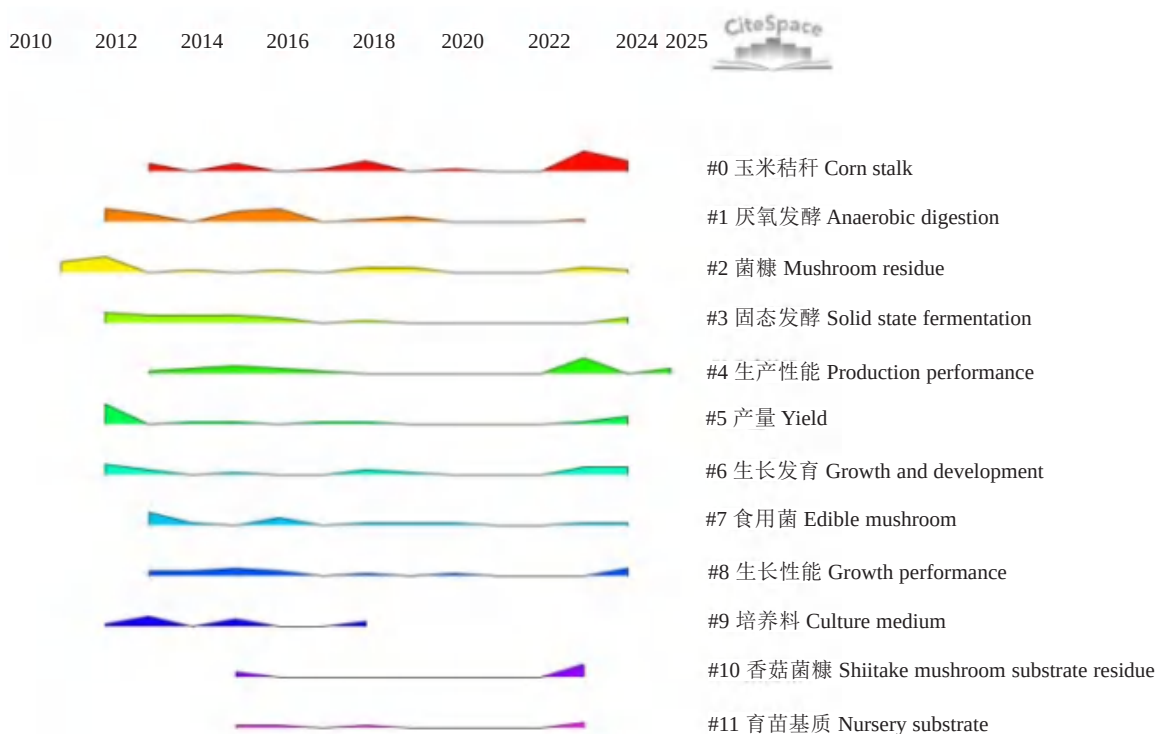


图 8 食用菌菌渣资源化处理研究文献关键词峰峦图

Fig. 8 Keywords land scape of research literature on the utilization of edible fungus residue

产品)。峰峦图描绘的食用菌菌渣正从“废弃物”到“资源多元化”转化路径过渡,表明了食用菌领域已经形成从基础应用到高值开发的系统化格局。

3 讨 论

通过对上述各谱图结果的分析,发现针对食用菌菌渣的资源化处理,研究方向基本凝练在厌氧消化、有机肥、堆肥、生物炭(吸附材料制备及吸附性能研究)、作物生长性能(转化为有机肥种植其他作物,或复配其他农业固废成为新的基质进行种植等)、提高土壤肥力和改良其理化性质等领域,且结合当地特色的研究并服务于地方农业更具有发展前景及科研创新性。

以山东省为例,该省作为全国农业现代化先行区,2025 年现代农业产业集群总产值已突破 1.2 万亿元,其中食用菌产业是特色农业的重要组成部分,也是滨州市农业特色化发展的核心支柱(2024 年山东航空学院和滨州市农业科学院等几所高校和科研院所共同成立了滨州市食用菌育种与高值化利用重点实验室,专门服务于黄河三角洲地区特色农业发展及其农业固废的资源化处理)。根据本文的研究结果,将食用菌生产中产生的菌渣进行资

源化处理,不仅契合“双碳”战略目标下的废弃物资源化的需求,还可助力山东在黄河流域生态保护与高质量发展中发挥示范作用以及我国在 2030 年前实现碳达峰目标。

4 结 论

在农业绿色发展和“大食物观”的战略背景下,国家和当地政府大力推广食用菌种植,该产业作为构建多元化食物供给体系的关键环节,其战略地位日益凸显。然而,生产规模的扩张导致食用菌菌渣的量越来越多,形成了“产业可持续发展”与“末端废弃物处理压力”之间的突出矛盾。探索菌渣的高效资源化路径,成为关乎食用菌产业未来发展与农业循环经济建设的核心议题。

为系统解析该领域的研究脉络与前沿动态,借助 CiteSpac 软件,运用文献计量学方法,对我国近二十年(2005—2025)在食用菌菌渣资源化利用领域的研究现状进行量化挖掘和可视化分析。研究发现,我国食用菌菌渣资源化研究呈现清晰的、具有内在逻辑的演进规律:从开始的“低阶化”利用(例如菌渣、堆肥、饲料等),逐步转向“多元化、关联化”探索(例如共发酵、土壤养分),并最终迈向“精准化、高值化”的创新前沿(例如水热液化资源化制备

生物柴油、发酵生产乙醇、开发复合菌剂等)。技术的演变揭示了本领域的研究重心从“无害化处理”到“资源化增值”的根本性转变,契合了国家层面的绿色发展与“双碳”战略目标。

本项研究结果,不仅借助知识图谱精准描绘并验证了食用菌菌渣资源化利用领域的技术演变规律,更为未来的研究聚焦于生物炼制与化学转化技术的深度融合,将菌渣精准地转化为能源、化学品及其高附加值的环境材料指明了方向;还可为本领域的科研工作者和产业界规划技术升级提供决策,从而在理论与实践双重层面,有效推动我国农业资源循环利用体系的构建与完善。

参考文献

- [1] Li C T, Xu S. Edible mushroom industry in China: Current state and perspectives[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2022, 106(11): 3949-3955.
- [2] 中国食用菌协会. 2023 年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. *中国食用菌*, 2025, 44(1): 120-129.
- [3] 任彩红, 王明友, 吴今姬, 等. 我国食用菌工厂化装备研究现状与展望[J]. *中国农机化学报*, 2025, 46(5): 207-213.
- [4] 刘子明, 张春吉, 刘丹, 等. 基于 CiteSpace 的羊肚菌领域研究现状、热点及发展趋势的可视化分析[J]. *中国农学通报*, 2024, 40(17): 149-157.
- [5] 耿立, 毕小茹, 叶忠森, 等. 基于 CiteSpace 分析近 10 年中国食用菌栽培基质研究热点与趋势[J]. *中国瓜菜*, 2025, 38(8): 238-249.
- [6] 周铭, 张沙沙, 杨宁, 等. 食用菌采后保鲜研究的发展现状与前沿趋势: 基于 Web of Science 的文献计量分析[J]. *食品科学*, 2024, 45(8): 342-353.
- [7] 朱留刚, 孙君, 张文锦. 食用菌产业有机副产物综合利用研究进展[J]. *福建农业学报*, 2018, 33(7): 760-766.
- [8] 张朝辉, 刘阳, 张广, 等. 食用菌菌渣资源化利用现状分析及其研究进展[J]. *河南农业科学*, 2025, 54(9): 1-14.
- [9] Qin P F, Li T Y, Liu C, et al. Extraction and utilization of active substances from edible substrate and residue: A review[J]. *Food Chemistry*, 2023, 398: 133872.
- [10] 李杰. CiteSpace 科技文本挖掘及可视化[M]. 4 版. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2025.
- [11] 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.
- [12] Wang X J, Zhang Y, Zhang J, et al. Progress in urban metabolism research and hotspot analysis based on CiteSpace analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 281: 125224.
- [13] 韦一昊, 张潇斌, 宋文静, 等. 小麦、玉米草谷比时空变化及秸秆综合利用固碳减排效应分析[J]. *农业工程学报*, 2025, 41(17): 271-279.
- [14] 姜小三, 卢梦凡, 刘岩, 等. 江苏省 4 类主要秸秆和畜禽粪便空间分布及综合利用潜力研究[J]. *农业环境科学学报*, 2024, 43(3): 675-687.
- [15] 王亚磊. 畜禽粪肥生产-利用过程中氮素转化特征研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2025.
- [16] Wang X F. Application of sensors and artificial intelligence in algal bloom monitoring: a knowledge map, research hotspots, and future trends based on CiteSpace[J]. *Environmental Monitoring Assessment*, 2026, 198(1): 73.
- [17] 张彤, 凌娟, 岳维忠, 等. 基于 CiteSpace 的广东省典型蓝碳生态系统碳汇研究进展的可视化分析[J]. *热带海洋学报*, 2024, 43(5): 58-68.
- [18] 王敏, 韩丽, 王雅兰, 等. 国内外菌物学研究热点和研究趋势分析: 指导科研选题, 助力科技创新[J]. *菌物学报*, 2018, 37(11): 1540-1551.
- [19] 陈超美, 陈悦, 侯剑华, 等. CiteSpaceII: 科学文献中新趋势与新动态的识别与可视化[J]. *情报学报*, 2009, 28(3): 401-421.
- [20] 林德明, 陈超美, 刘则渊. 共被引网络中介中心性的 Zipf-Pareto 分布研究[J]. *情报学报*, 2011, 30(1): 76-82.