

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.04.002

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. 土壤, 2020, 52(4): 659–667.

基于 CiteSpace 可视化分析有机肥料研究进展^①

邢素芝^{1,3}, 李孝良^{1,3}, 肖新^{1,3}, 周成^{1,3}, 李飞跃^{1,3}, 谢越^{1,3}, 尹炳², 汪建飞^{1,3*}

(1 安徽科技学院农学院, 安徽凤阳 233100; 2 安徽理工大学地球与环境学院, 安徽淮南 232001; 3 农业农村部生物有机肥创制重点实验室, 安徽蚌埠 233400)

摘要: 从 WoS 数据库核心合集中检索出 1900—2019 年相关文献 4 473 篇, 运用 CiteSpace 知识图谱分析工具, 对合著国家、机构、作者、学科领域、关键词、文献共被引网络等进行可视化分析, 对有机肥料的研究进展及演变趋势进行图谱解读与分析: ①有机肥料对改善土壤理化性状、抑制土传病害、提高作物产量品质的作用及其机理依然是研究重点; ②最新的基因测序等分子生物学技术在有机肥料研究中将得到更加广泛应用; ③添加天然沸石、生物质炭等物质制造有机类肥料是未来有机肥料加工的重要方向; ④有机肥料研究具有很强的学科交叉性, 涉及农业、化学、环境生态学、环境科学、工程学等众多学科领域; ⑤中国有机肥料研究发展迅速, 国际上合作发表有机肥料学术论文数量前三的研究机构分别是中国科学院、南京农业大学、中国农科院, 具有重要的学术影响力。

关键词: 有机肥料; CiteSpace; 科学知识图谱; 可视化分析

中图分类号: S143.6; G353.1 **文献标志码:** A

Visualization Analysis of Research Progress in Organic Fertilizer Study Based on CiteSpace

XING Suzhi^{1,3}, LI Xiaoliang^{1,3}, XIAO Xin^{1,3}, ZHOU Cheng^{1,3}, LI Feiyue^{1,3}, XIE Yue^{1,3}, YIN Bing², WANG Jianfei^{1,3*}

(1 College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China; 2 College of Earth and Environmental Sciences, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China; 3 Key Laboratory of Bio-organic Fertilizer Creation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Bengbu, Anhui 233400, China)

Abstract: From the core collection of WoS database, 4 473 related papers published from 1900 to 2019 were retrieved, the co-cited countries, institutions, authors, discipline fields, keywords, literature cited networks, and the research progress and evolution trend of organic fertilizer study were visually analyzed based on the CiteSpace knowledge map analysis tool. The results showed that: 1) The effects of organic fertilizers on improving soil physical and chemical properties, inhibiting soil-borne diseases, improving crop yield and quality, and their mechanisms are still the focuses for research; 2) The latest molecular biology techniques such as gene sequencing will be used more widely in organic fertilizer research; 3) Adding natural zeolite, biochar and other substances to produce organic fertilizers is an important direction for organic fertilizer processing in the future; 4) Organic fertilizer research is an interdisciplinary, involving many fields such as agriculture, chemistry, environmental ecology, environmental science, and engineering; 5) The research on organic fertilizer in China is developing rapidly. The top three research institutions that jointly publishing academic papers on organic fertilizers in the world are Chinese Academy of Sciences, Nanjing Agricultural University, and Chinese Academy of Agricultural Sciences, and they have important academic influences.

Key words: Organic fertilizer; CiteSpace; Mapping knowledge domains; Visualization analysis

有机肥料在我国农业生产上应用历史悠久, 地位举足轻重。但随着化肥产业的迅猛发展及施用技术的推广, 到 20 世纪末 21 世纪初, 我国农田中传统的有机肥的养分投入仅占总养分投入的 10% 左右^[1]。由

此造成耕地质量退化、土壤酸化、生态恶化、环境污染等严重问题, 迫使政府主管部门和农业科技人员在新的历史时期, 加强了对有机肥料的研发并以此引领促进有机肥料产业的发展, 推广有机肥料的施用。

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0300901-2) 和安徽省科技攻关项目(1604a0702011, 16030701102, 202004a06020003)资助。

* 通讯作者(Wangjif@ahstu.edu.cn)

作者简介: 邢素芝(1967—), 女, 安徽阜阳人, 教授, 主要研究方向为设施与无土栽培技术。E-mail: Xingsz0906@qq.com

近年来,有机肥料的生产和使用在我国受到了前所未有的重视,产业的快速发展反过来也推动着科技进步与创新。作为引领行业发展的有机肥料研究,适时地掀起了一股热潮,呈现一片蓬勃态势。当前,无论是技术应用还是基础理论,有机肥料的研究都取得了许多令人欣喜的学术成果^[2-5]。尤其是近 10 年来,国际上发表的有机肥料研究论文呈现井喷态势,每年以近 15% 的速率递增,涉及的学科和内容非常广泛。面对如此巨量的文献,如何抽丝剥茧从中探寻出最新成果,把握学科未来的发展态势,从而为相关领域的科研工作提供参考、借鉴甚至支撑,对于有机肥料研究人员来说,不仅重要而且必须。

面对庞大的文献数据进行快速、准确的定量分析与可视化表达,传统的文献综述方法显然是做不到的。2018 年,郑新艳等^[6]以 SCI 数据库中 2006—2015 年收录的有机肥料论文为对象,应用 CiteSpace 分析了有机肥料知识图谱,为我们直观地展示了有机肥料领域的知识基础与研究热点。CiteSpace 是一款着眼于分析科学文献中蕴含的潜在知识,并在科学计量学、数据和信息可视化背景下逐步发展起来的多元、分时、动态的引文可视化分析软件。它主要基于共引分析理论和寻径网络算法等,对特定领域文献(集合)进行计量,以探寻出学科领域演化的关键路径及知识转折点,并通过绘制一系列可视化图谱,以识别和显示科学发展新趋势和新动态^[7-8]。

当然,CiteSpace 软件作为通用型分析工具,只能勾勒出某个学科领域的研究概况,无法提供更深入的文献细节,更不可能深入到某个学科的具体内容并判别不同热点间的内在联系。为此,本研究依据 CiteSpace 的科学知识图谱,结合对 1900 年以来国际上发表的关键文献的批判性阅读,从更加专业的角度进一步系统梳理有机肥料领域的研究文献,分析国际上有机肥料研究热点及研究趋势,为未来有机肥料研发提供一些借鉴与启示。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文使用的数据来源于 Web of Science (WoS) 核心合集。数据采集时间为 2019 年 9 月 9 日,检索主题为“有机肥料”(Topic=“organic fertilizer” or “organic manure” “organic compost”),文献类型为 Article,时间跨度为 1900—2019 年,共检索出 4 473 篇文献,按次序分 9 批次导出记录,9 个数据文件均以

CiteSpace 可识别的“download_”作为文件名前缀,这是分析的数据基础。

1.2 研究方法

采用美国德雷克塞尔大学计算机与情报学教授陈超美开发的 CiteSpace(版本 v. 5.3.R4)软件进行知识图谱可视化分析^[9]。通过在 CiteSpace 中分别选择国家(country)、研究机构(institution)、作者(author)选项,进行科研合作网络分析;选择关键词(key words)、学科类别(category),进行主题领域的共现网络分析,并利用 VOSviewer 软件绘制更加清晰的关键词共现密度图;选择被引文献(cited reference)选项,进行参考文献的共被引分析,得到该领域的研究国家和机构合作图谱、共现图谱和共引图谱。

在此基础上,结合 CiteSpace 软件共引分析计量结果,进一步探寻科学领域演化的关键路径及其知识拐点,并通过梳理关键文献,量化文献之间的相应特征,形成对学科演化潜在动力机制的分析和学科发展前沿的探测,最终获得该领域在选定时期内的研究热点、前沿领域、研究动态和演进趋势等重要信息。

2 结果与讨论

2.1 发文数量时间特征

以“有机肥料”为主题,按照上述检索式,从 WoS 核心合集中检索获得的最早一篇文献发表于 1942 年^[10]。但直到 20 世纪 80 年代,国际上每年发表的有机肥料学术论文的数量都不多,基本上保持在个位数。1990 年以前的 90 年间,共发表论文 37 篇。20 世纪 90 年代后,论文的数量则呈现出较大幅度的上升态势。说明有机肥料领域正在成为国际研究的热点。经计算机拟合,国际上发表的有机肥料研究论文的数量与年份之间呈现为较好的指数增长模型。由此,我们可以预测,未来一段时期,国际期刊发表以有机肥料为主题的论文数量还将有大幅度的增长。

通过后面的分析,我们可以知道,近 10 多年国际期刊发表的有机肥料论文迅速增加,主要是中国学者所做的贡献。说明在多重因素的影响下,我国的科技人员正以积极的开放姿态,走到了世界有机肥料研究的前沿领域。

2.2 合作特征空间分布

利用 CiteSpace 绘制合作图谱,可以识别出某个研究领域的学者、国家或机构间的社会关系,既可为评价其学术影响力提供参考,也便于直观地发现值得关注的学者和机构。

图 1 的国家合作图谱显示, 在有机肥料研究领域, 20 年间共有 90 个国家存在着不同程度、不同方式的合作。图中圆形节点表示不同的国家, 圆形节点大小与该国的合作方式发表的论文频数呈正比, 紫色外圈代表中介中心性, 其厚度与合作研究活跃程度呈

正比。而圆形节点的年轮颜色及厚度表示出现年份, 某个年份的年轮越厚, 对应年份合作发表的论文频次越高。圆形节点间的连线则反映二者共现或共被引关系, 颜色对应首次共现或共被引年份, 粗细反映关系强弱。

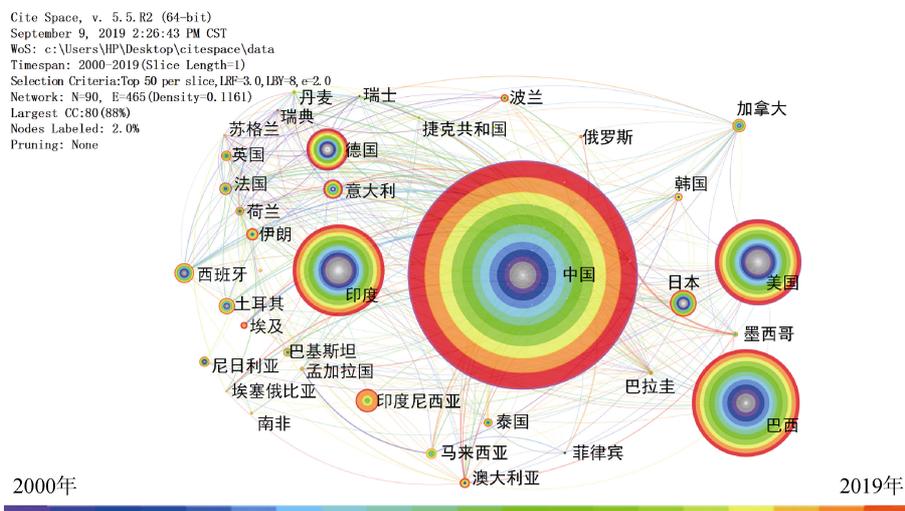


图 1 国家合作特征

Fig. 1 Network of country cooperation

按照中介中心性大小排序, 前四名依次是中国、美国、德国和法国(表 1)。中国的中介中心性最高, 且这一时期共合作发表了 996 篇论文, 数量最多, 表明中国有机肥料的学术研究正逼近起步较早的美国与德国, 在某些领域已经位居国际前沿。

表 1 2000—2019 年国别合作特征及频次统计

Table 1 Characteristics and frequency of country cooperation from 2000 to 2019

国家	中介中心性	合作频数	首发年份	论文总数
中国	0.23	996	2000	1 028
美国	0.20	388	2000	444
德国	0.19	203	2000	237
法国	0.15	73	2002	83
意大利	0.13	109	2000	120
日本	0.08	146	2000	167
澳大利亚	0.08	68	2005	79
加拿大	0.06	83	2005	102
荷兰	0.06	67	2002	87
波兰	0.06	54	2000	62

利用 CiteSpace 软件同样可以绘出有机肥料研究机构的合作特征图谱(图 2), 并统计出各机构发文频

数(数量)、首发年份和中介中心性, 并选取中心性排名前 10 的机构列于表 2。表 2 显示, 中国科学院中介中心性最高, 首次发文时间亦最早, 其次是中国农业大学, 接下来依次为中国农科院、比利时的根特大学和南京农业大学。

通过突发性探测, 结果(表 3)表明, 新世纪以来, 从欧美到亚洲, 世界各地的研究机构对有机肥研究保持较为活跃的状态。值得注意的是, 印度农科院和土壤所两家科研机构在 2003 年开始以合作方式发表了多篇研究论文, 其中印度土壤所的有机肥料研究突现值为 7.91, 位列榜首, 表明其时该所已成为国际上最活跃的有机肥料研发机构。

进一步从微观层面, 对学者合作网络进行分析, 结果表明, 近 20 年有 740 位研究者和他人合作开展了有机肥料研究, 合作发表学术论文 1 197 篇。其中南京农业大学沈其荣教授发表论文 72 篇^[11-12], 无论是发文频数, 还是中介中心性、突现值均位居第一(表 4)。发表论文数量排名前 20 位的作者, 共有 14 名中国学者, 占 70%, 体现了我国学者在有机肥料研究领域有较高参与度。沈其荣教授团队共有 7 位成员位列其中, 表明其团队已成为当前国际上有机肥料研究的主力军。

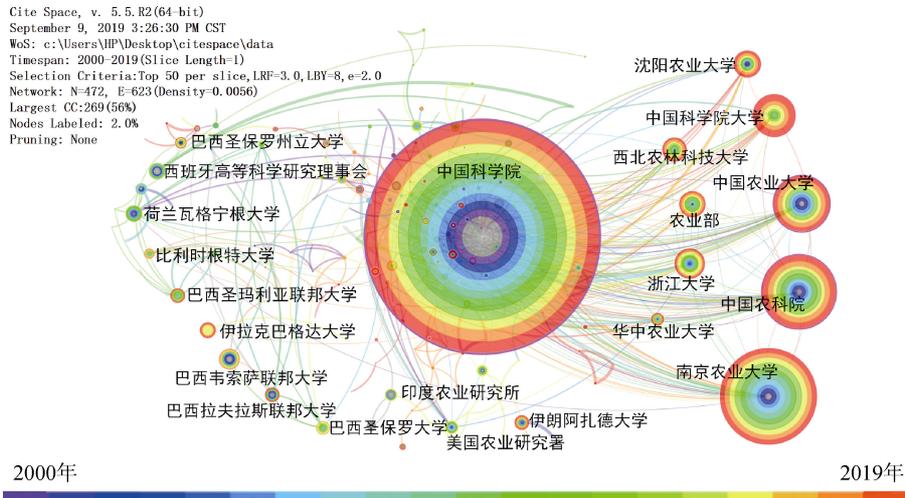


图 2 机构合作特征图谱
Fig. 2 Network of research institution cooperation

表 2 2000—2019 年有机肥料研究机构合作特征及频次统计
Table 2 Characteristics and frequency of research institutional cooperation from 2000 to 2019

机构	中介中心性	频数	首发年份
中国科学院	0.27	300	2000
中国农业大学	0.16	77	2004
中国农科院	0.12	98	2005
根特大学(比利时)	0.09	15	2013
南京农业大学	0.07	128	2003
华南农业大学	0.07	9	2017
佛罗里达大学(美国)	0.06	15	2006
圣玛丽亚联邦大学(巴西)	0.06	21	2013
南里奥格兰德联邦大学(巴西)	0.06	10	2013
费萨拉巴德农业大学(巴基斯坦)	0.06	17	2008

2.3 学科共现特征图谱

学科共现分析可构建学科间的关联网,揭示交叉学科间的内在联系。图 3 的学科共现图谱显示,共有 81 个节点,表明围绕有机肥料的研究,有 81 个学科相互交叉渗透,503 条连线代表学科间的联系,农业、化学、环境生态学、环境科学、工程学与其他学科交叉广泛,且农学的中介中心性最高,交叉也最广泛。园艺学、植物学、土壤学交叉频次较多但中介中心性不高,说明在当前有机肥料研究中,更多的是局限于各自的学科,而与其他学科交叉的领域有限。

值得注意的是,土壤学、园艺学均呈现出较高的突现值,分别于 2000 年、2006 年进入突发期,表明有机肥料在园艺领域的应用及其对土壤环境与质量的影响,其时已成为人们研究的热点。

表 3 有机肥料研究机构突现指标
Table 3 Research Institutions with strongest citation bursts in organic fertilizer study

机构	实现值	起始年份	结束年份	突现时段示意 2000—2019
丹麦农科所	5.18	2000	2005	●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○○○
国际水稻研究所	5.04	2000	2006	●●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○○○
瑞典农业大学	6.75	2001	2008	○●●●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○
瓦格宁根大学(荷兰)	5.32	2002	2009	○○●●●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○
印度土壤所	7.91	2003	2009	○○○●●●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○
印度农科院	6.44	2003	2009	○○○●●●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○
爱琴海大学(土耳其)	3.68	2003	2009	○○○●●●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○
美国农业部农业研究署	6.93	2004	2009	○○○●●●●●●●○○○○○○○○○○○○○○○○

表 4 2000—2019 年作者合作特征及频次统计
Table 4 Characteristics and frequency of author cooperation from 2000 to 2019

作者	发文频数	中介中心性	突现值	首发年份	作者	发文频数	中介中心性	突现值	首发年份
沈其荣	72	0.03	7.64	2011	Hussain N	9	0	3.28	2016
张佳宝	21	0.01		2007	杨兴明	9	0	4.16	2011
冉伟	19	0		2011	黄启为	8	0		2014
李荣	15	0		2013	信秀丽	8	0		2014
韩晓增	13	0		2009	魏丹	8	0		2011
Abbasi T	11	0	3.26	2015	凌宁	8	0		2014
林先贵	11	0		2007	Wu T Y	8	0	3.52	2014
Abbasi S A	11	0	3.26	2015	Neto S E D A	7	0	3.94	2009
丁维新	9	0		2007	汪景宽	7	0		2018
Costa E	9	0	4.4	2009	赵炳梓	7	0	3.08	2014

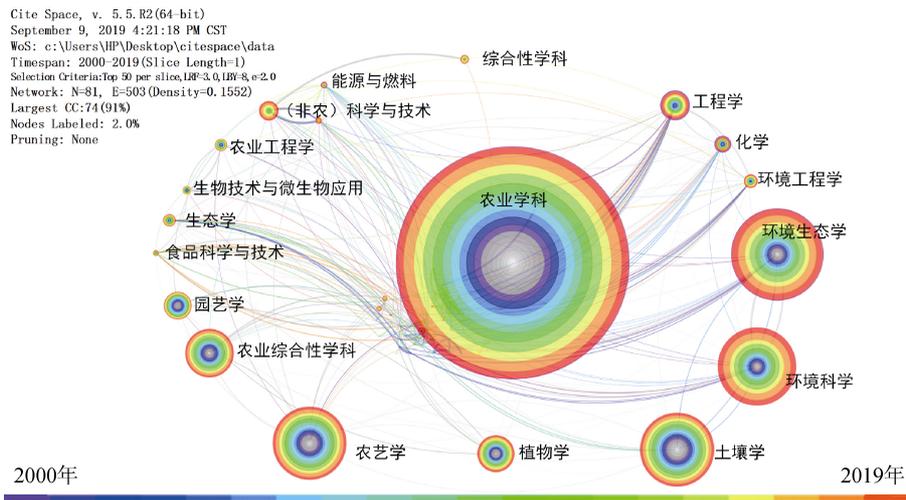


图 3 学科共现特征图谱
Fig. 3 Network of discipline co-occurrence

2.4 关键词共现图谱

关键词是对文章主题的高度概括和集中描述,是一篇文章的核心和精髓,通过关键词可以了解论文的

主要内容。在 CiteSpace 分析的数据基础上,利用 VOSviewer 软件对文献进行关键词共现密度图的绘制,可以清晰地看出有机肥料领域的研究热点(图 4)。

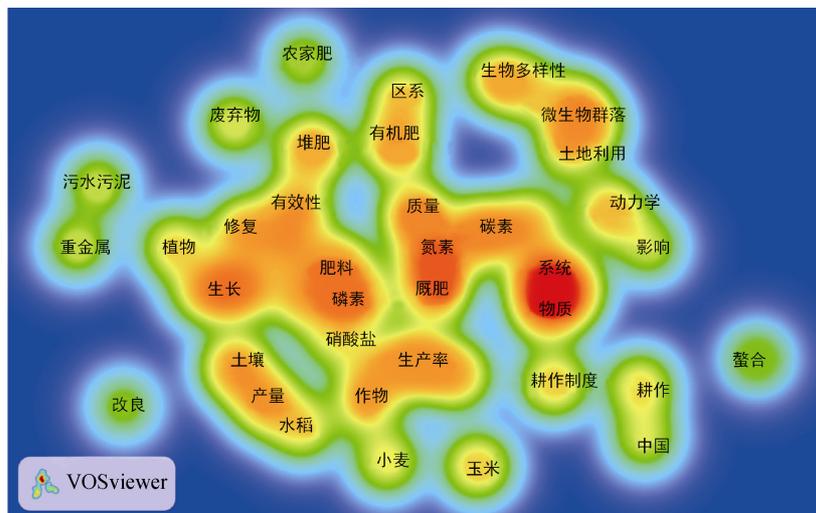


图 4 关键词共现密度图
Fig. 4 Density view of keywords co-occurrence

图 4 中从蓝色冷色调到红色暖色调, 代表着关键词共现的频次越来越高, 即研究热点的热度越高。可以看出, 近 20 年来, 有机肥料研究的热点集中在有机质、堆肥、厩肥、植物生长、土壤碳氮、根际、固体废弃物、种植制度、生物防控

等^[13]。

关键词共现密度图定性地展现了有机肥料研究的热点, 但还不能体现出其时间维度上变化规律, 而关键词突现分析则可以定量地表示出不同研究热点的热度以及变迁规律(表 5)。

表 5 不同时间跨度的关键词动态变化及研究热点趋势特征
Table 5 Dynamic changes of keywords in different time spans and characteristics of research hotspots

时间跨度	新出现的居前 10 位的关键词	总频数	不同年代频数		中心性
			2000—2009	2010—2019	
2000—2009	氮素	530	130	400	0.09
	土壤	519	124	395	0.06
	有机肥料	614	119	495	0.04
	厩肥	390	96	294	0.05
	产量	463	89	374	0.05
	农家肥	297	82	215	0.05
	作物生长	389	81	308	0.04
	田间管理	374	78	296	0.04
	堆肥	298	64	234	0.07
	肥料	268	53	215	0.09
2010—2019	质量	280	82	239	0.03
	有机质	231	48	183	0.08
	碳素	227	46	181	0.06
	植物	195	23	172	0.04
	磷素	215	44	171	0.03
	物质	194	32	162	0.05
	系统	200	50	150	0.06
	施肥	167	30	137	0.03
	生物群落	143	18	125	0.06
	多样性	122	7	115	0.05

自 20 世纪 90 年代, 出现的突现值较高的热点关键词有有机肥料(organic fertilizer)、土壤(soil)、肥料(fertilizer)、农业(agriculture)、氮素(nitrogen)和碳素(carbon)等, 30 年来, 这些词汇一直都是有机肥料研究的热点; 进入新世纪第一个 10 年, 新涌现的突现值较高的关键词有堆肥(compost)、作物生长(growth)、产量(yield)等; 最近 10 年新涌现的突现值较高的关键词有质量(quality)、碳素(carbon)、系统(system)以及多样性(diversity), 说明研究人员从早期的关注有机肥的增产作用, 转变到更加注重有机肥对改善农产品品质和保护生态环境功效的研究^[14]。

2.5 文献交叉引用图谱

文献的交叉引用反映了研究方向或主题间的密切程度, 共被引分析可探究研究领域的重点专题及其发展过程, 基于图谱聚类算法进行自动聚类, 可提取聚类主题词。

其他设置同前, 主题词来源选择题名(title)、摘要(abstract)、作者(author)、关键词(key words)与扩展关键词(keywords plus), 节点选文献交叉引用(citation reference), 运行 CiteSpace, 结果见图 5。

图中的 1 261 个节点与 3 058 条连线构成了 18 个较大的群组, 其中 #0 群组(long-term organic fertilizer application)共有 83 篇参考文献, 最小的 #32 群组(land use type), 亦包含 8 篇共被引参考文献。表明有机肥料研究有较高的集中性, 同时也形成了一定数量的分支, 每个群组的专题和主要研究内容列于表 6。根据群组的名称可以看出, 有机肥研究的重点主要集中在长期施用有机肥的效应、土壤微生物区系、有机肥对土壤碳氮循环的影响、生物有机肥等领域, 而温室气体排放、有机肥的环境生态效应、有机肥的生产方法也日益受到人们的关注。

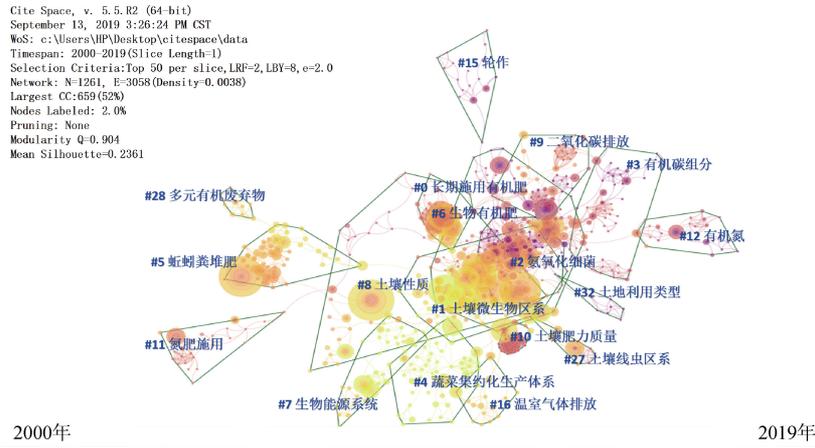


图 5 文献共被引图谱

Fig. 5 Network of document co-citation of organic fertilizers

表 6 各群组专题名称及主要研究内容

Table 6 Topic and main research content of each group

群组编号	群组专题	时间跨度	主要研究内容
#0	长期施用有机肥料	1998—2014	研究了不同区域长期施用有机肥对土壤理化性质、生物学指标、养分含量和时空变异的影响，并与无机肥进行了比较 ^[15-17]
#1	土壤微生物区系	2003—2017	利用高通量测序等分子生物学技术，研究了施用有机肥、生物有机肥对土壤微生物区系的影响 ^[18-19]
#2	氨氧化细菌	1999—2014	长期施用矿质肥料和有机肥对不同地区土壤中氨氧化细菌和氨氧化古菌的数量和组成的影响 ^[20-21]
#3	有机碳组分	1998—2010	温室菜园土和粮食作物大田土壤长期施肥(20 a 以上)对土壤有机碳组分的影响，另外，轮作方式对有机碳组分亦有影响 ^[22-23] 。
#4	集约化蔬菜生产系统	2011—2018	在集约化蔬菜生产系统中，有机肥替代化肥对氮素损失和作物产量的影响，生物炭与有机肥联用的协同效应 ^[24-25]
#5	蚯蚓粪堆肥	2004—2017	对有机固体废弃物的蚯蚓粪堆肥技术进行研究，分析了其可持续性，探讨了蚯蚓粪堆肥技术研究方法局限性和发展方向 ^[26-27]
#6	生物有机肥	2004—2013	筛选出作物致病菌的拮抗菌，接种到有机肥中生产生物有机肥，利用生物有机肥可防治棉花黄萎病、黄瓜枯萎病和幼苗根霉病、香蕉和滁菊的枯萎病、烟草青枯病等 ^[28-29]
#7	生物能源系统	2009—2017	沼气是农业有机废弃物资源化利用最重要的方式，其副产品(沼渣)施入农田可增加养分，改善土壤物理性能。而秸秆炭化产生能量外还可生成生物炭，添加生物炭可以提高沼渣等有机肥的性能 ^[30-31]
#8	土壤性质	2003—2014	以作物的生长指标作为评价依据，研究了有机肥对土壤特性、土壤微生物活性和丰度、碳矿化动力学特性、氮素矿化速率的影响 ^[32-33]
#9	二氧化碳排放	2001—2012	重点研究了农家肥、商品有机肥替代化肥对粮食作物、经济作物、林果等不同种植体系中土壤排放二氧化碳的影响 ^[34]
#10	土壤肥力质量	2003—2014	突出了施肥尤其是有有机肥对土壤肥力质量的影响，除传统的土壤肥力指标，还关注对温室气体、重金属等环境质量指标的研究 ^[16, 35]
#11	氮肥施用	2004—2010	研究了发酵床养猪过程中废弃床体垫料加工有机肥，对土壤-植物系统中氮素吸收、迁移的影响 ^[36]
#12	有机氮	1998—2012	基于有机肥的施用，研究了不同形态氮素对作物生长、产量和氮素利用率的影响，研究的对象以蔬菜瓜果为主 ^[37]
#15	轮作	1998—2008	研究了轮作和有机肥施用对土壤质量的影响，不同的有机肥源在相同的轮作措施中，对土壤肥力影响不同 ^[38]
#16	温室气体排放	2009—2016	在不同区域尺度上，对不同土地利用方式下施用有机肥对农田土壤温室气体排放进行了研究分析，并用盆栽试验进行模拟验证 ^[39]
#27	土壤线虫区系	2002—2013	研究了不同类型有机肥对土壤线虫数量和多样性的影响，包括大棚条件下蔬菜生产以及水稻和小麦农业生态系统中的土壤线虫 ^[40]
#28	多元有机废弃物	2008—2015	对各种有机肥的肥源特征及其加工工艺、产品性能进行了研究，主要包括畜禽养殖粪污、作物秸秆、人粪尿、生活污水等 ^[41]
#32	土地利用方式	1999—2005	草地、水田、菜地等不同土地利用方式影响土壤有机碳含量、动态以及土壤养分元素含量与空间分布，影响氮氧化物排放 ^[42]

进一步观测发现, #8 群组 Diacono 等发表的论文“Long-term effects of organic amendments on soil fertility”共被引次数最高, 达 34 次; #1 群组 Geisseler 等的论文“Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms—A review”中介中心性最强, 数值为 0.13, 表明该文献在连接两个不同研究群组发挥着关键枢纽作用; 突现值最高的是 #1 群组 Guo 等发表在期刊 Science 上的论文“Significant acidification in major Chinese croplands”, 突现值为 10.51; 有 158 篇引文的半衰期达到 8 a, 其中 Esperschuetz J 等 2007 年发表的论文“Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations”既具有较高、较强的突现性, 也表现出一定的中介中心性。显然, 这些文献不仅具有重要的理论创新, 在发表不久就起到引领学科的作用, 被同行借鉴与引用, 同时随着时间推移, 这些研究成果也逐渐沉积为有机肥料领域重要的知识基础。

根据上述 18 个群组中关键性文献资料, 可以归结出目前国际上有机肥料研究热点主要集中在 4 个方面: 1) 施用有机肥料尤其是功能性生物有机肥对改善土壤理化性状、抑制土传病害、提高作物产量品质的影响及其机理; 2) 最新的基因测序等分子生物学技术应用, 内容包括施用有机肥在内的不同施肥处理对土壤微生物群落结构、植物的调控反馈机制等的影响; 3) 蚯蚓粪堆肥、餐厨垃圾、生活污水堆肥新技术新工艺, 如添加天然沸石、生物质炭、粉煤灰等优化技术; 4) 长期施用有机肥料对土壤重金属、农药抗生素残留的污染修复以及环境生态效应研究。

3 结论

CiteSpace 软件作为进行知识图谱分析的有效工具, 完全可以应用于有机肥料研究领域发展趋势和发展过程中重要变化的探测和可视化研究。从而可以直观地厘清国家、研究机构及作者之间的合作关系, 通过学科共现分析、关键词共现密度分析, 研究人员可以客观地了解有机肥料研究的方向、前沿热点及未来的发展趋势。

新世纪以来, 国际上有 90 个国家之间在有机肥料研究中存在合作关系。中国已成为世界上有机肥料研究规模最大、发表学术论文数量最多的国家。中国科学院、南京农业大学等科研机构实际上已成为当今世界最活跃的有机肥料研发基地。

学科共现分析显示, 当前有机肥料科学已发展成

为以农学为主, 土壤学、环境生态学、环境科学、工程学等多学科相互交叉渗透的综合性体系, 未来有机肥料研究的学科分化越来越细, 也越来越深入。

参考文献:

- [1] 杨兴明, 徐阳春, 黄启为, 等. 有机(类)肥料与农业可持续发展和生态环境保护[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 925-932.
- [2] 金继续. 有机肥料研究四十年[J]. 土壤肥料, 1989(5): 35-40.
- [3] 刘善江, 薛文涛, 苗万有, 等. 有机肥料行业的特点与发展趋势[J]. 蔬菜, 2018(12): 26-29.
- [4] Wang J F, Li X L, Xing S Z, et al. Bio-organic fertilizer promotes plant growth and yield and improves soil microbial community in continuous monoculture system of chrysanthemum morifolium cv. chuju[J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2017, 19(3): 563-568.
- [5] 刘盼盼, 周毅, 付光玺, 等. 基于秸秆还田的小麦-玉米轮作体系施肥效应及其对土壤磷素有效性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(5): 27-33.
- [6] 郑新艳, 胡文亮, 席庆奎. 有机肥知识图谱研究——基于 SCI 和 CiteSpace 的计量分析[J]. 农业图书情报学刊, 2018, 30(1): 94-98.
- [7] 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.
- [8] 唐浩竣, 李海萍, 陈文悦, 等. 基于科学知识图谱谈土壤有机碳研究进展[J]. 土壤学报, 2019, 56(3): 541-552.
- [9] 李杰. 科学计量与知识网络分析: 基于 BibExcel 等软件的实践[M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2017.
- [10] Rubins E J, Bear F E. Carbon-nitrogen ratios in organic fertilizer materials in relation to the availability of their nitrogen[J]. Soil Science, 1942, 54(6): 411-424.
- [11] Lang J J, Hu J, Ran W, et al. Control of cotton Verticillium wilt and fungal diversity of rhizosphere soils by bio-organic fertilizer[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48(2): 191-203.
- [12] Zhang S S, Raza W, Yang X M, et al. Control of Fusarium wilt disease of cucumber plants with the application of a bioorganic fertilizer[J]. Biology and Fertility of Soils, 2008, 44(8): 1073-1080.
- [13] Ling N, Xue C, Huang Q W, et al. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the biocontrol efficacy to Fusarium wilt[J]. BioControl, 2010, 55(5): 673-683.
- [14] Hartmann M, Frey B, Mayer J, et al. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming[J]. The ISME Journal, 2015, 9(5): 1177-1194.
- [15] Liu N, He H B, Xie H T, et al. Impacts of long-term inorganic and organic fertilization on lignin in a Mollisol[J]. Journal of Soils and Sediments, 2010, 10(8): 1466-1474.
- [16] Liu E K, Yan C R, Mei X R, et al. Long-term effect of

- chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3): 173–180.
- [17] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(9): 3041–3046.
- [18] Qiu M H, Zhang R F, Xue C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control Fusarium wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, 48(7): 807–816.
- [19] Suleiman A K A, Gonzatto R, Aita C, et al. Temporal variability of soil microbial communities after application of dicyandiamide-treated swine slurry and mineral fertilizers[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2016, 97: 71–82.
- [20] He J Z, Shen J P, Zhang L M, et al. Quantitative analyses of the abundance and composition of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing Archaea of a Chinese upland red soil under long-term fertilization practices[J]. *Environmental Microbiology*, 2007, 9(9): 2364–2374.
- [21] Chu H Y, Lin X G, Fujii T, et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39(11): 2971–2976.
- [22] Lou Y, Xu M, Wang W, et al. Soil organic carbon fractions and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse vegetables[J]. *Soil Use and Management*, 2011, 27(2): 163–169.
- [23] Bhandari A L, Ladha J K, Pathak H, et al. Yield and soil nutrient changes in a long-term rice-wheat rotation in India[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, 66(1): 162–170.
- [24] Zhuang M H, Lam S K, Zhang J, et al. Effect of full substituting compound fertilizer with different organic manure on reactive nitrogen losses and crop productivity in intensive vegetable production system of China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 243: 381–384.
- [25] Schmidt M W I, Torn M S, Abiven S, et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property[J]. *Nature*, 2011, 478(7367): 49–56.
- [26] Abbasi S, Nayeem-Shah M, Abbasi T. Vermicomposting of phytomass: limitations of the past approaches and the emerging directions[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 93: 103–114.
- [27] Bernal M P, Albuquerque J A, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(22): 5444–5453.
- [28] Huang X Q, Zhang N, Yong X Y, et al. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off disease in cucumber with *Bacillus pumilus* SQR-N₄₃[J]. *Microbiological Research*, 2012, 167(3): 135–143.
- [29] Zhao Q Y, Dong C X, Yang X M, et al. Biocontrol of Fusarium wilt disease for Cucumis melo melon using bio-organic fertilizer[J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, 47(1): 67–75.
- [30] Kataki S, Hazarika S, Baruah D C. Assessment of by-products of bioenergy systems (anaerobic digestion and gasification) as potential crop nutrient[J]. *Waste Management*, 2017, 59(59): 102–117.
- [31] Möller K, Müller T. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: a review[J]. *Engineering in Life Sciences*, 2012, 12(3): 242–257.
- [32] Ribeiro H M, Fanguero D, Alves F, et al. Carbon-mineralization kinetics in an organically managed Cambic Arenosol amended with organic fertilizers[J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2010, 173(1): 39–45.
- [33] Diacono M, Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility[J]. *Sustainable Agriculture Volume 2*, 2011: 761–786. DOI:10.1007/978-94-007-0394-0_34.
- [34] Zhang W J, Xu M G, Wang B R, et al. Soil organic carbon, total nitrogen and grain yields under long-term fertilizations in the upland red soil of Southern China[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2009, 84(1): 59–69.
- [35] 赵士诚, 曹彩云, 李科江, 等. 长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(6): 1441–1449.
- [36] Lee S B, Lee C H, Jung K Y, et al. Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy[J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, 104(2): 227–232.
- [37] Montemurro F. Are organic n fertilizing strategies able to improve lettuce yield, use of nitrogen and n status?[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2010, 33(13): 1980–1997.
- [38] Limon-Ortega A, Govaerts B, Sayre K D. Crop rotation, wheat straw management, and chicken manure effects on soil quality[J]. *Agronomy Journal*, 2009, 101(3): 600–606.
- [39] Ren F L, Zhang X B, Liu J, et al. A synthetic analysis of greenhouse gas emissions from manure amended agricultural soils in China[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 8123.
- [40] Liang W J, Lou Y L, Li Q, et al. Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41(5): 883–890.
- [41] Khwairakpam M, Bhargava R. Vermitechnology for sewage sludge recycling[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161(2–3): 948–954.
- [42] Hossain Z, Sugiyama S I. Geographical structure of soil microbial communities in northern Japan: Effects of distance, land use type and soil properties[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2011, 47(2): 88–94.