

严陶韬,高 婷,周之栋,等. 基于文献计量的生物炭土壤效应分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(4):191-199.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.04.035

基于文献计量的生物炭土壤效应分析

严陶韬^{1,2}, 高 婷^{1,2}, 周之栋³, 卜晓莉¹, 薛建辉^{1,2,3}

(1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 江苏南京 210037; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏南京 210037;

3. 江苏省中国科学院植物研究所, 江苏南京 210014)

摘要:生物炭是指由生物质在无氧或限氧条件下热解生成的有机材料。近年来,由于其在土壤性质改良、土壤固碳减排以及土壤污染修复等方面表现出的积极效果,越发受到相关学者的关注。本研究通过文献计量方法,对生物炭土壤效应研究领域中国知网(CNKI)数据库收录论文的数量及被引情况、载文期刊分布等进行统计;并借助 CiteSpace 文献可视化软件,分析论文的作者合作、机构合作、研究热点与趋势等。结果表明,在我国生物炭土壤效应研究领域,CNKI 数据库共收录文献 2 215 篇,年度发文量呈明显上升趋势,表现出缓慢增长—平稳增长—快速增长 3 个阶段;文献被引频次最高的论文是 2009 年发表在《应用生态学报》上的“土壤生物质炭环境行为与环境效应”;耿增超、陈温福和孟军是发文量、文献被引频次与篇均被引频次均较高的学者;发文量最多的机构为南京农业大学,西北农林科技大学与中国科学院南京土壤研究所的发文量、被引频次、篇均被引频次和中介中心性均较高;《农业环境科学学报》刊载文献数量最多,文献被引频次最高,《生态环境学报》刊载文献篇均被引频次最高;近阶段基于 CNKI 文献的研究热点为生物炭植烟土壤效应、生物炭土壤 NH_4^+ 吸附作用及 N_2O 减排机制、生物炭对土壤酶活性的影响、生物炭对黄瓜生长与产质量的影响以及生物炭紫色土效应等。上述研究结果从相关文献的角度,定量、客观、科学地描述了生物炭土壤效应研究现状与趋势,以期促进生物炭土壤效应的深入研究,并为相关学者凝练研究动向和科学问题等提供参考信息。

关键词:文献计量;生物炭;土壤;知识图谱;CiteSpace;研究热点;研究趋势

中图分类号:S153;S156 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)04-0191-09

亚马逊黑土(Amazonian dark earths),早期也被称为印第安黑土(terra preta de Indio),它的发现揭开了生物炭研究的序幕^[1]。生物炭由生物质原料在缺氧条件下高温热解产生,其结构不仅稳定,而且难以被微生物分解^[2],是一种体积密度小、比表面积大、吸附能力强的碱性多孔有机材料^[3]。

向土壤中添加生物炭可以改变土壤的物理性质,如增加土壤容重、提高土壤孔隙度、促进团聚体形成^[4],进而改善土壤结构。生物炭能够改变土壤化学性质,如提高酸性土壤 pH 值、增加土壤阳离子交换量(CEC),生物炭可以在短期内迅速提高土壤有机质含量^[5],还可以通过吸附固定氮磷元素^[6],

降低土壤养分的淋溶与流失,生物炭对 NH_4^+ 吸附性强,可以减少氮素挥发,进而提高土壤肥力,促进植物生长发育^[7]。生物炭可以改善土壤微生物特性以及土壤酶活性,如增加土壤微生物量及碳氮磷含量,促进土壤中细菌及某些功能菌的生长,生物炭可为真菌菌丝提供附着位点,进而促进土壤真菌的生长,生物炭对菌根真菌有潜在增效作用,能够提高菌根真菌的丰度与活性,促进菌根真菌对植物根部的侵染与定殖。生物炭对微生物的增效作用间接提高了土壤中脱氢酶、 β -葡萄糖苷酶、脲酶和磷酸酶等酶活性^[8]。此外,生物炭对土壤重金属与有机污染物具有吸附作用^[9],在土壤固碳减排方面也有积极效果^[10]。因此,生物炭在土壤改良中的研究应用越发受到学者们的关注。

文献是科研成果产出的主要表现形式。生物炭在 2007 年被第一届国际生物炭大会确定名称后^[11],相关学者在生物炭土壤性质改良、土壤固碳减排以及土壤污染修复等方面开展了大量研究工作,发表了很多学术论文。本文运用文献计量学方法,对生物炭土壤效应相关研究成果进行统计描述

收稿日期:2020-05-10

基金项目:国家重点研发计划重点专项(编号:2016YFC0502605);江苏高校优势学科建设工程(编号:PAPD)。

作者简介:严陶韬(1989—),男,江苏射阳人,博士研究生,研究方向为土壤改良与典型脆弱生态修复。E-mail:ecologyan@njfu.edu.cn。

通信作者:薛建辉,博士,教授,研究方向为林业生态工程。E-mail:jhxue@njfu.edu.cn。

和内容分析,并结合知识图谱^[12],直观展现文献内在规律,以中国知网(CNKI)数据库为数据源,检索截至 2019 年的生物炭土壤效应研究文献,通过计量分析文献的各种特征,揭示生物炭土壤效应研究现状与趋势,以期确定为生物炭土壤效应未来的研究方向提供一定科学依据,促进生物炭土壤效应研究的深入,并为该领域相关学者凝练研究动向和科学问题等提供参考信息。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

文献数据来源于中国知网(CNKI)提供的中国学术期刊全文数据库,检索日期为 2020 年 4 月 1 日。CNKI 数据库使用期刊“专业检索”中的“主题”标识,检索自 2009 年开始至 2019 年的相关文献,具体设置如下:“主题 SU = 土壤 AND SU = (生物炭 OR SU = 生物质炭)”。查阅检索到的文献标题与摘要,判断文献研究内容是否与生物炭土壤效应研究相关,剔除不相关文献^[13]。

1.2 研究方法

对发表年份、期刊、作者、作者所属机构和关键词等文献题录信息进行筛选与提取。利用 CNKI 数据库的文献计量分析功能获取作者的发文量和被引用次数,依据载文量、总引用频次、篇均被引频次和影响因子等指标综合评价期刊的重要性及影响力。运用 CiteSpace^[14]文献计量可视化软件分别挖掘分析 CNKI 数据库文献,统计文献题录信息中各个类别出现的频次,从而获得文献的分布结构、数量关系和变化规律等信息。CiteSpace 软件可基于关联强度或相似度对文献、作者、机构和关键词等进行聚类共现可视化分析,具有很强的图谱呈现能力,其图谱中节点同心圆的大小、颜色和同心圆之间的距离等可以展现文献之间的知识流动和转移,

反映研究领域前沿热点、主题演化趋势、以及探测知识基础之间的关系^[15]。将在 CNKI 数据库中检索的文献数据保存为 Refworks 格式,通过 CiteSpace 将数据转换处理,再运用 CiteSpace 进行分析。利用 CiteSpace 绘制作者间、机构间合作图谱以及关键词聚类图谱,图谱中发文量用节点同心圆大小表示,并用节点同心圆之间的距离表示不同作者、不同机构间的合作关系强弱;利用文献关键词的共现频次绘制关键词聚类知识图谱,图谱中 1 个节点代表 1 个关键词,节点同心圆大小代表关键词出现的频次,越大说明该关键词出现的次数越多;同心圆颜色代表时间,粗细代表频率;节点之间距离代表关键词共现频率的高低,距离越近,共现频率越高^[16]。

2 结果与分析

2.1 年度发文量与被引频次

年度发文量可以反映出某研究领域的理论发展及受关注程度,是该研究领域发展演化的重要指标^[15]。至 2019 年,共检索到生物炭土壤效应研究领域文献 2 215 篇,年度发文量呈明显上升趋势。分析发现,2009—2011 年该领域发文量为 31 篇,占文献总量的 1.4%;2012—2015 年该领域发文量为 523 篇,占文献总量的 23.61%;2016—2019 年该领域发文量为 1 661 篇,占文献总量的 74.99%。结果表明,生物炭土壤效应研究经历缓慢增长—平稳增长—快速增长 3 个阶段(图 1)。2011 年之前该研究领域所受关注度较弱,为起步阶段;2012—2015 年理论基础基本形成,出现较多的相关文献,进入平稳增长阶段;2016—2019 年该领域所受关注度迅速上升,进入快速增长阶段。表明生物炭土壤效应研究领域已引起研究学者们的广泛关注。由此推测,随着相关工作的持续开展,生物炭土壤效应研究将继续趋于深入与完善。

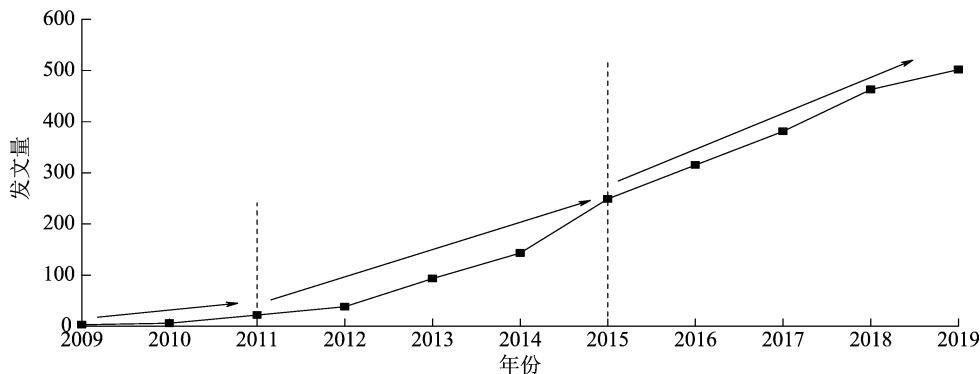


图1 生物炭土壤效应研究文献的年度分布

文献被引频次是衡量某篇文献受其他学者的认可度以及文献重要性的指标,一定程度上反映了相关学者对该项研究工作的关注程度^[17]。从表 1 可以看出,文献“土壤生物质炭环境行为与环境效应”是被引频次最高的论文,该篇论文从生物炭特性、生物炭生物与非生物氧化机制、全球气候变化对生物炭的响应和生物炭土壤环境效应等方面,概述了土壤生物炭的研究进展,并提出未来的研究工作应针对土壤施用生物炭后,从土壤理化性质、土壤养分、生物炭性质、土壤微生物生态以及生物炭缓释肥等方面开展^[18]。

“生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展”重点概述了生物炭理化性质、生物炭对土壤物理性质和保水能力的影响、生物炭的稳定性与土壤固碳作用以及生物炭对污染土壤的修复功能等方面的研究进展,并指出生物炭长期农业利用的环境风险、热带和亚热带以外地区生物炭施用、生物炭大规模推广应用、生物炭对除农作物以外其他研究对象(草地、灌木、森林)养分与生长状况的影响、生物炭对土壤和农业生态系统环境功能的影响机制以及生物炭施用长期效果等研究还有待进一步开展^[19]。

“生物炭生产与农用的意义及国内外动态”从

生物炭与碳减排、生物炭农用与多赢战略、生物炭生产与原料以及国内外研究动态与方向等方面概述了生物炭农用研究进展,并提出今后应加强生物炭的研究与开发,推动废弃生物质综合利用,促进土壤与农业可持续发展^[11]。

“生物炭对土壤肥料的作用及未来研究”整理分析了生物炭性质与特征、生物炭对土壤改良作用及作物效应、肥料增效载体、土壤生物炭固碳潜力等方面的研究进展,指出未来应加强生物炭性质特征研究以便制定生物炭定义与标准,通过系统性、长期性试验评估生物炭对土壤及环境的影响研究以便制定生物炭农用标准,此外,还需进一步研发生物炭与肥料复合工艺及合理配施技术^[20]。

“生物炭的环境效应及其应用的研究进展”介绍了生物炭的结构与特性,并对生物炭改良土壤肥力机制、生物炭固碳作用机制以及生物炭对有机污染物与重金属吸附行为等研究进行归纳提炼,分析出今后的研究工作应关注以下方面:土壤中生物炭定性定量分析方法与微观结构解析、生物炭影响土壤理化性质的具体作用机制、生物炭对土壤重金属迁移性与有效性的影响、生物炭针对性优化以及大规模应用生物炭的可行性分析^[21]。

表 1 被引频次前 5 的文献情况

文献题名	第一作者	文献来源	出版年份	被引频次(次)
土壤生物质炭环境行为与环境效应	刘玉学	《应用生态学报》	2009	560
生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展	袁金华	《生态环境学报》	2011	510
生物炭生产与农用的意义及国内外动态	何绪生	《农业工程学报》	2011	465
生物炭对土壤肥料的作用及未来研究	何绪生	《中国农学通报》	2011	446
生物炭的环境效应及其应用的研究进展	李力	《环境化学》	2011	446

2.2 作者及合作关系

分析生物炭土壤效应研究领域的作者分布情况,有助于明确该领域的主要学者,有利于了解相关学者的研究概况,从而促进该领域的学术交流合作,推动研究的深入发展^[22]。中介中心性由 CiteSpace 计算生成,中介中心性可以识别共现网络中高度连接的节点。由作者合作关系共现网络生成的节点中介中心性,可以反映该作者在学科领域知识发展过程中的关键性和影响力^[23],体现网络结构中该作者的重要性^[24]。

从表 2 可以看出,在发文量排名前 10 的作者中,文献被引频次排前 3 位的作者分别是耿增超、孟

军、陈温福,篇均被引频次排前 3 位的作者分别是耿增超、陈温福、孟军。发文量较大、被引频次与篇均被引频次均较高的耿增超、陈温福、孟军是生物炭土壤效应研究领域具有重要影响力的关键学者。

作者合作共现图谱可以直观展现引领某个研究领域的关键学者^[25]。分析作者合作共现图谱,可以揭示出合作密切的学者群,发掘学术研究的团队效应^[15]。从图 2 可以看出,潘根兴、李恋卿和张旭辉等为同一科研团队,主要研究生物炭对农田土壤特性以及水稻、白菜、葡萄等粮食果蔬作物生长与产量的影响^[26];耿增超、徐万里、唐光木和何绪生等为同一科研团队,主要研究生物炭对西北地区塿土、

表2 发文量位列前10的作者情况

作者姓名	文献数量 (篇)	被引频次 (次)	篇均被引频次 (次)	中介中心性
潘根兴	39	1 184	30.36	-
耿增超	29	2 251	77.62	-
刘国顺	29	245	8.45	-
李恋卿	28	1 039	37.11	-
徐万里	28	326	11.64	-
唐光木	25	289	11.56	-
孟 军	24	1416	59.00	-
陈温福	22	1 392	63.27	-
屈忠义	20	548	27.40	-
张旭辉	20	915	45.75	-

注：“-”表示缺失。

灰漠土土壤性质以及小麦、棉花等作物生长与产量的影响^[27];刘国顺和任天宝等为同一科研团队,主要研究生物炭对河南地区植烟土壤养分以及烤烟产量与品质的影响^[28];陈温福、孟军和韩晓日等为同一科研团队,主要研究生物炭对东北地区棕壤理化性质以及玉米、水稻、大豆和花生等农作物生长及产量的影响^[29];屈忠义和勾芒芒等为同一科研团队,主要研究生物炭对内蒙古地区沙壤土土壤含水率、土壤肥力和土壤温度以及番茄的生长与产量的影响^[30]。从作者合作共现网络可以看出,不同团队间的交流较为缺乏,其原因主要是各个团队研究地点与研究对象不同,同时根据中介中心性的缺失(表2),同一团队内的核心作者较模糊。



图2 作者合作共现图谱

2.3 研究机构及合作关系

分析研究机构分布情况,能够帮助了解学术界对该研究领域的支持与认可程度,有利于机构间的交流与合作^[30]。重要数据库收录的文献数量、被引频次及篇均被引频次反映了该研究机构的整体科研能力和学术影响力^[31]。从表3可以看出,在发文

量位列前 10 的研究机构中,南京农业大学发文量排第 1 位,西北农林科技大学发文量位居第 2 位,发文量位居第 3 位的是中国科学院南京土壤研究所;被引频次排第 1 位的是西北农林科技大学,中国科学院南京土壤研究所被引频次位居第 2,被引频次位居第 3 的是沈阳农业大学;篇均被引频次位居第 1

的是西北农林科技大学,其次是中国科学院南京土壤研究所,第3的是中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所;中介中心性大于0.1的研究机构从高到底依次为西北农林科技大学、中国科学院南京土壤研究所、东北农业大学。综合分析上述结果可知,西北农林科技大学与中国科学院南京土壤研究所较高的发文量、被引频次及篇均被引频次,成为该领域具有较强影响力的核心研究机构,2家机构所发文献具有重要的学术价值。从合作网络(图3)来看,研究机构之间交流较频繁,联系较紧密。

2.4 期刊分布情况分析

通过统计分析刊载某研究领域文献的出版物,

表3 发文量位列前10的研究机构

机构名称	文献数量 (篇)	被引频次 (次)	篇均被引 频次(次)	中介 中心性
南京农业大学	111	2 551	22.98	0.08
西北农林科技大学	109	3 731	34.23	0.14
中国科学院南京土壤研究所	98	3 169	32.34	0.12
河南农业大学	98	1 054	10.76	0
沈阳农业大学	96	2 883	30.03	0.01
东北农业大学	59	395	6.69	0.11
湖南农业大学	54	720	13.33	0.02
内蒙古农业大学	49	783	15.98	0
中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所	49	1 569	32.02	0.05
南京林业大学	41	471	11.49	0

内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院

浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所
南京农业大学农业资源与生态环境研究所
湖南农业大学资源环境学院

西南大学资源环境学院

东北农业大学资源与环境学院

中国农业大学资源与环境学院
中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所

陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司
陕西省土地工程建设集团有限责任公司
浙江农林大学环境与资源学院

新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所

西北农林科技大学资源环境学院 福建农林大学林学院

土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所)

中国科学院大学

南京农业大学资源与环境科学学院

云南农业大学资源与环境学院

农业部西北植物营养与农业环境重点实验室

中国科学院南京土壤研究所

中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室

河南农业大学资源与环境学院

图3 机构合作共现图谱

对该领域的主要期刊进行确定,有助于相关学者选择重点期刊进行阅读^[22],提高科研人员在该领域的学术鉴别力、洞察力与思维能力,开阔学术视野,拓展研究思路,实现科技创新,推动相关研究深入发展;此外,有助于相关学者的论文投稿与发表,有利于学术成果的呈现。影响因子反映了期刊在其研究领域的学术影响力,是衡量期刊质量水平的重要指标^[32]。影响因子越高,说明该期刊在其研究领域

的影响力越大。

从表4可以看出,文献载文量位居前10的期刊共发文633篇,占文献总量的28.58%;发文量排前3位的期刊依次为《农业环境科学学报》《水土保持学报》《环境科学》;被引频次排前3位的期刊依次为《农业环境科学学报》《生态环境学报》《环境科学》;篇均被引频次位居前3位的期刊依次为《生态环境学报》《中国农学通报》《农业环境科学学报》;

影响因子排前 3 位的期刊依次为《植物营养与肥料学报》《环境科学》《生态环境学报》。综合分析上述结果可知,在生物炭土壤效应研究领域,《生态环境学报》《农业环境科学学报》所发文献具有较高的质量水平、学术价值和影响力,是基于 CNKI 文献的该研究领域的重要核心期刊。

表 4 载文量位列前 10 的期刊及其影响因子

期刊名称	文献数量 (篇)	占文献 总数 比例 (%)	被引频次 (次)	篇均被 引频次 (次)	影响 因子
《农业环境科学学报》	136	6.14	3 150	23.16	1.67
《水土保持学报》	73	3.30	1 327	18.18	1.49
《环境科学》	66	2.98	1 448	21.94	2.28
《江苏农业科学》	59	2.66	296	5.02	0.44
《生态环境学报》	58	2.62	2 920	50.34	1.72
《土壤通报》	57	2.57	632	11.09	0.98
《土壤》	53	2.39	1 178	22.23	1.47
《植物营养与肥料学报》	45	2.03	853	18.96	2.44
《中国农学通报》	44	1.99	1 362	30.95	0.71
《环境科学学报》	42	1.90	707	16.83	1.71

注:影响因子为 CNKI 综合影响因子;检索日期为 2020-04-01。

2.5 关键词分析

2.5.1 研究热点 关键词是文献的核心与精髓,可以高度概括文献的研究热点,对学科领域的研究热点具有指示性作用。CiteSpace 绘制的关键词聚类知识图谱能够较好地反映关键词之间的关联性。对文献进行关键词聚类分析,生成的知识图谱中共有 13 个聚类(图 4)。其中,聚类#0“产量”主要关注生物炭对白菜、黄瓜、番茄等作物的生长、产量以及品质的影响研究;聚类#1“甲烷”主要关注生物炭对稻田 N₂O、CH₄ 等温室气体排放的影响研究;聚类#2“磷脂脂肪酸”主要关注生物炭对土壤理化性质、土壤微生物群落结构以及玉米等作物产量的影响研究;聚类#3“烟草”主要关注生物炭对植烟土壤理化性质以及烤烟产量与质量的影响研究;聚类#4“土壤碳截留”主要关注生物炭对土壤固碳作用的影响研究;聚类#5“土壤酶”主要关注生物炭对土壤酶活性及微生物多样性的影响研究;聚类#6“钝化”主要关注生物炭对稻田土壤重金属污染钝化修复效应的研究;聚类#7“硝态氮”主要关注生物炭对土壤氮素有效性及氮磷养分淋溶的影响研究;聚类#8“热裂解”主要关注不同热裂解条件对生物炭特性的影响研究,以及不同类型生物炭对土壤性质、氮肥利

用率的影响研究;聚类#9“水分”主要关注生物炭对土壤水分特征的影响研究;聚类#10“Cd”主要关注生物炭对 Cd²⁺ 等重金属离子的吸附特性研究;聚类#11“小麦”主要关注生物炭对小麦生长、养分吸收及土壤理化性质与酶活性的影响研究;聚类#12“吸附动力学”主要关注生物炭对土壤重金属等无机污染物、残留农药等有机污染物的吸附-解吸行为与生物有效性的影响研究。

2.5.2 研究趋势 CiteSpace 时区图(timezone)可以直观反映出某领域在不同时间的研究前沿及其衍生关系,进而合理预测某研究今后的发展;关键词频次可以在一定程度上反映某研究的主要热点领域;关键词的突现性较高表明某个时期内关键词频次变化率高,通过分析关键词突现性,可以挖掘研究热点,反映该领域的研究前沿与趋势。运用 CiteSpace 时区图对文献关键词进行分析(图 5),并筛选出高频次和高突现性关键词(表 5)。

起步阶段(2009—2011 年):该阶段频次 > 1 的关键词仅有 6 个,频次最高值为 15 次,相对较低,同时,突现性关键词仅 1 个,相关研究较少,表明 2009—2011 年是生物炭在土壤科学领域研究的初始阶段,该阶段主要关注生物炭污染红壤的修复作用研究。

平稳增长阶段(2012—2015 年):由关键词频次可知,该阶段主要关注生物炭对土壤重金属的吸附作用研究、生物炭对土壤养分肥力以及作物产量的影响研究;根据关键词突现性可知,该阶段研究热点为生物炭对土壤 CH₄、N₂O 等温室气体排放的影响以及生物炭对作物生长的影响。

快速增长阶段(2016—2019 年):依据关键词频次可知,该阶段主要关注基于土壤养分提升的生物炭土壤改良作用研究、基于土壤重金属吸附的生物炭土壤修复作用研究、生物炭对烤烟等作物产量的影响研究以及秸秆生物炭应用研究;分析该阶段高突现性关键词可知,该阶段研究热点为生物炭对植烟土壤理化性质的影响、生物炭对土壤 NH₄⁺ 吸附作用及 N₂O 减排机制、生物炭对土壤酶活性的影响、生物炭对黄瓜生长与产质量的影响以及紫色土生物炭应用研究。

3 讨论与结论

生物炭原料易得、制备简便,作为一种古老而又新颖的功能材料,其在改良土壤理化性质以及修



图4 CNKI 文献关键词聚类知识图谱

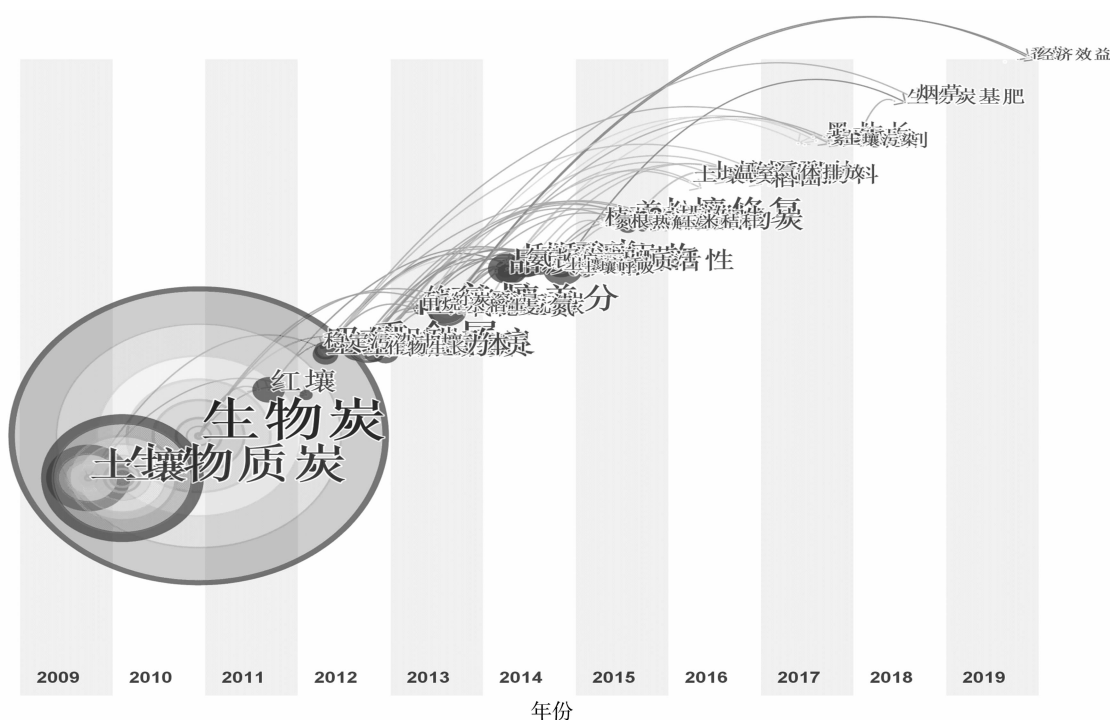


图5 CNKI 热点关键词时区图

表 5 CNKI 文献关键词共现网络主要信息

时间	关键词	频次 (次)	突现关键词	突现性
2009—2011 年	生物炭	15	生物质炭	1.39
	生物质炭	13		
	土壤	4		
	红壤	3		
	污染物	2		
	污染土壤修复	2		
2012—2015 年	生物炭	294	温室气体	2.22
	生物质炭	133		
	土壤	64	作物生长	1.80
	产量	31		
	重金属	30		
	吸附	24		
	红壤	15		
	土壤养分	15		
	土壤肥力	14		
	有机碳/土壤改良	14		
2016—2019 年	生物炭	858	植烟土壤	2.81
	生物质炭	313	N ₂ O 排放	2.56
	土壤	142	土壤酶	2.31
	产量	110	N ₂ O	2.30
	重金属	100	铵态氮	2.13
	烤烟	69	黄瓜	1.95
	土壤改良	59	紫色土	1.95
	土壤修复	51		
	土壤养分	48		
	秸秆	46		

复土壤污染等方面具有显著优势。目前生物炭土壤效应研究处于快速发展阶段,作为一个年轻而又充满活力的研究领域,由于生物炭功能的复杂性,仍须深入研究生物炭土壤效应作用机制,如运用分子生物学方法,通过高通量测序,研究生物炭对土壤微生物群落结构的影响,还可以利用分子探针技术,研究生物炭对土壤功能基因组成的影响;此外,生物炭对土壤中重金属以及有机污染物吸附行为的机制还须进一步明确,生物炭环境风险有待评估。

本研究运用 CiteSpace 对大量文献数据进行可视化分析处理,实现穿透性文献信息潜在知识脉络分析,探索数据之间的隐藏规律,但受限于提取信息及分析算法,一定程度上会影响 CiteSpace 运算结果的精确性。此外,限于篇幅,本研究未对国际生物炭土壤效应研究进行相关分析,希望今后能开展对国际生物炭土壤效应研究领域文献的分析工作,

详细描述解析其研究基础与研究热点等。

当前,生物炭土壤效应研究对象主要为农田土壤,对林地、草地土壤研究较为缺乏,相关工作有待加强。此外,以往的研究主要为短期盆栽与小规模田间试验,忽略了生物炭对土壤性质影响的时间梯度变化。未来应设置野外长期定位试验,深入分析生物炭土壤效应作用机制,为生物炭的大面积推广应用提供理论基础,促进农作物秸秆等农林废弃物合理利用,推动生态环境绿色可持续发展。

参考文献:

[1] Grossman J M, O'Neill B E, Tsai S M, et al. Amazonian anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy [J]. Microbial Ecology, 2010, 60(1): 192 - 205.

[2] Gaunt J L, Lehmann J. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production [J].

- Environmental Science & Technology, 2008, 42(11): 4152–4158.
- [3] Atkinson C J, Fitzgerald J D, Hipps N A. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review[J]. Plant and Soil, 2010, 337(1/2): 1–18.
- [4] Fungo B, Lehmann J, Kalbitz K, et al. Aggregate size distribution in a biochar – amended tropical Ultisol under conventional hand – hoe tillage[J]. Soil & Tillage Research, 2017, 165: 190–197.
- [5] Liu J, Schulz H, Brandl S, et al. Short – term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2012, 175(5): 698–707.
- [6] Xu G, Sun J N, Shao H B, et al. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity [J]. Ecological Engineering, 2014, 62: 54–60.
- [7] 卜晓莉, 薛建辉. 生物炭对土壤生境及植物生长影响的研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(3): 535–540.
- [8] 周之栋, 卜晓莉, 吴永波, 等. 生物炭对土壤微生物特性影响的研究进展[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(6): 1–8.
- [9] 李晓娜, 宋 洋, 贾明云, 等. 生物质炭对有机污染物的吸附及机理研究进展[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1313–1325.
- [10] 谢祖彬, 刘 琦. 生物质炭的固碳减排与合理施用[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(4): 901–907.
- [11] 何绪生, 耿增超, 余 雕, 等. 生物炭生产与农用的意义及国内外动态[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 1–7.
- [12] Chen C. Searching for intellectual turning points: progressive knowledge domain visualization [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2004, 101(Suppl): 5303–5310.
- [13] 王俊丽, 张忠华, 胡 刚, 等. 基于文献计量分析的喀斯特植被生态学研究态势[J]. 生态学报, 2020, 40(3): 1113–1124.
- [14] Chen C M, Ibekwe – Sanjuan F, Hou J H. The structure and dynamics of cocitation clusters: a multiple – perspective cocitation analysis [J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2010, 61(7): 1386–1409.
- [15] 张增可, 王 齐, 吴雅华, 等. 基于 CiteSpace 植物功能性状的研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(3): 1101–1112.
- [16] 宋长青, 谭文峰. 基于文献计量分析的近 30 年国内外土壤科学发展过程解析[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 957–969.
- [17] 闫淑兰, 赵秀红, 罗启仕. 基于文献计量的重金属固化稳定化修复技术发展动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(2): 229–238.
- [18] 刘玉学, 刘 微, 吴伟祥, 等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 977–982.
- [19] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 779–785.
- [20] 何绪生, 张树清, 余 雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 16–25.
- [21] 李 力, 刘 娅, 陆宇超, 等. 生物炭的环境效应及其应用的研究进展[J]. 环境化学, 2011, 30(8): 1411–1421.
- [22] 安显金, 李 维. 基于 CNKI 的我国生物炭研究趋势文献计量学分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 483–491.
- [23] 陈超美, 陈 悦, 侯剑华, 等. CiteSpace II : 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.
- [24] 项国鹏, 宁 鹏, 黄 玮, 等. 工业生态学研究足迹迁移——基于 Citespace II 的分析 [J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7168–7178.
- [25] 张宇婷, 肖海兵, 聂小东, 等. 基于文献计量分析的近 30 年国内外土壤侵蚀研究进展[J]. 土壤学报, 2020, 57(4): 797–810.
- [26] 康熙龙, 张旭辉, 张硕硕, 等. 旱地土壤施用生物质炭的后效应——水分条件对土壤有机碳矿化的影响[J]. 土壤, 2016, 48(1): 152–158.
- [27] 冯 雷, 唐光木, 徐万里, 等. 棉秆炭施用方式对新疆灰漠土棉花生长及土壤性质的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(1): 188–195.
- [28] 吴嘉楠, 彭桂新, 杨永锋, 等. 生物炭与氮肥配施对土壤生物特性和烤烟氮素吸收的影响[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(3): 53–61.
- [29] 张伟明, 陈温福, 孟 军, 等. 东北地区秸秆生物炭利用潜力、产业模式及发展战略研究[J]. 中国农业科学, 2019, 52(14): 2406–2424.
- [30] 勾芒芒, 屈忠义, 杨 晓, 等. 生物炭对砂壤土节水保肥及番茄产量的影响研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(1): 137–142.
- [31] 胡远妹, 周 俊, 刘海龙, 等. 基于 Web of Science 对土壤重金属污染修复研究的计量分析 [J]. 土壤学报, 2018, 55(3): 707–720.
- [32] 李佳悦, 邵桂芳. 单篇高被引文献与期刊影响因子波动内在关系的文献计量学研究[J]. 中国科技期刊研究, 2019, 30(8): 897–904.