

# 基于 Cite Space 的生物物质炭对土壤氮循环影响的文献计量分析\*

王伟<sup>1)</sup> 白军红<sup>1)†</sup> 张玲<sup>1)</sup> 贾佳<sup>1)</sup> 余璐<sup>1)</sup> 张树岩<sup>2)</sup>

(1)水环境模拟国家重点实验室,北京师范大学环境学院,100875,北京;

(2)山东黄河三角洲国家级自然保护区黄河口管理站,257500,山东东营)

**摘要** 为了明确生物物质炭对土壤氮循环影响领域的研究热点和发展趋势,本文基于中国知网(CNKI)和 Web of Science 数据库,检索了 1998—2019 年该领域的文献,利用文献计量学软件 Cite Space 对年发文量、发文国家、机构、作者群体、共被引和关键词聚类进行了可视化分析,并总结了未来可能的研究趋势。结果显示:近年来中文和英文文献发表数量均呈现增长趋势,但英文文献增长速率更快;中国和美国是发文量最多的 2 个国家,但 TOP20 高引用率文献中美国占比较高;中文文献发表数量靠前的机构分别为河南农业大学、山西省农业科学院、中国农业科学院,英文文献排名 TOP10 的科研机构中中国占 7 个;作者群体分析显示科研团队之间的学术交流相对较少;基于关键词聚类和突现词分析,生物物质炭对土壤品质改善和土壤氮转化过程(矿化、硝化和反硝化等)的影响机制,以及氮循环中的相关微生物对生物物质炭添加的响应,是该领域未来的研究重点。

**关键词** 生物物质炭;土壤氮;CiteSpace 软件;文献计量分析

中图分类号 X71

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2020438

## 0 引言

生物物质炭是生物质原料(玉米芯、花生壳、粪便、秸秆等)在缺氧或者无氧条件下高温裂解产生的富碳多孔的产物<sup>[1]</sup>。作为一种经济有效的改良剂,生物物质炭具有含碳量高、比表面积大、阳离子交换量高、物理稳定性和生物化学抗分解能力强等优点<sup>[2-3]</sup>。近些年生物物质炭作为一种土壤改良剂得到了广泛的关注,被认为是治理和修复贫瘠土壤的有效措施<sup>[4]</sup>。以往的研究表明,生物物质炭添加不仅可以改善土壤理化性质(改变 pH、持水量、增加土壤养分等)、增强微生物活性、提高养分利用率、促进根系生长和提高植物生产力<sup>[5-6]</sup>,而且生物物质炭在土壤中降解速率低,能够较长时间停留在土壤中,大幅度提升土壤碳库<sup>[2]</sup>。此外,生物物质炭能够减少温室气体(CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>和 N<sub>2</sub>O)的排放,从而减缓温室效应<sup>[7-8]</sup>。

土壤中的氮元素是植物生长发育所必需的营养元素之一<sup>[9-10]</sup>,氮素有效性是影响植物生长和生态系统生产力的关键因素<sup>[11]</sup>。生物物质炭添加到土壤中会影响土壤中的氮循环过程。已有研究显示,生物物质炭可以通过促进硝化作用<sup>[12]</sup>、减缓反硝化作用<sup>[13]</sup>、

吸附土壤中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>并降低 NH<sub>3</sub> 挥发<sup>[14]</sup>、减少 N<sub>2</sub>O 排放<sup>[15]</sup>、增加微生物氮循环基因丰度<sup>[16]</sup> 以及提高植物对氮素的利用率<sup>[17]</sup> 等途径,对土壤氮过程产生影响<sup>[18]</sup>。土壤氮循环过程对生物物质炭添加的响应规律和机制已引起国内外学者的广泛关注,并开展了大量的相关研究<sup>[7,19]</sup>。关于生物物质炭对土壤氮循环影响的文献发表量逐年增加,但因为该领域涉及内容复杂、分类不清,目前关于生物物质炭对土壤氮循环影响的发展态势缺少系统总结<sup>[19]</sup>。因此通过文献计量学的方法对该领域的研究现状及热点问题进行分析和梳理是非常必要的。

文献计量学是基于文献事实,采用数学和统计学方法进行分析的科学<sup>[20]</sup>,可以客观有效地反映某一领域的文献发表情况,有助于了解既定领域的发展动态和趋势<sup>[21]</sup>。目前,文献计量软件较多,其中 Cite Space 是基于科学计量学、数据可视化理论发展起来的一款引文可视化分析软件,在分析和可视化共引网络方面具有准确、便利和高效的特点,国内常使用这一软件对目标领域内的文献进行分析<sup>[22]</sup>。利用 Cite Space 软件可对该领域的发文量及国家合

\* 国家重点研发计划资助项目(2017YFC0505906);国家自然科学基金委山东联合基金资助项目(U2006215)

† 通信作者:白军红(1976—),男,博士,教授。研究方向:湿地水土过程和调控、湿地退化与生态恢复。E-mail: junhongbai@163.com  
收稿日期:2020-12-16

作、作者合作、机构合作及共被引关系、关键词共现、突现性关键词等知识图谱进行可视化分析,从而获取该领域发文量的动态变化规律和研究合作关系等信息;通过关键词和突现词的分析,有利于识别研究主题的演变趋势<sup>[23-24]</sup>。因此,本文基于 CNKI 和 Web of Science 数据库收录的数据,通过文献计量学的方法,采用 Cite Space 文献可视化软件,将“生物质炭对土壤氮循环影响”领域的相关文献进行分析,旨在了解当前生物质炭对土壤氮循环影响的研究现状和研究热点,进而提出该领域未来的研究重点。

## 1 材料与方法

**1.1 数据来源** 基于 Web of Science 数据库中 Web of Science™ 核心合集,检索“主题”=“biochar” AND “Soil nitrogen”和“文献类型”=article,检索时间设置为 1998—2019 年,得到外文文献数目为 1487 条。基于中国学术期刊出版总库(CNKI 总库),采用高级检索方式,检索“主题”=“生物炭”或含“生物质炭”并含“土壤氮”,设置检索时间为 1998—2019 年,共检索到文献 206 篇,剔除会议、报纸以及不相关文献,最终得到 185 篇有效文献。将筛选后的文献以“摘要、全记录(包含引用的参考文献)”的格式下载,保存为纯文本文件,作为分析数据样本。

**1.2 分析方法** 本文运用美国德雷塞尔大学(Drexel University)陈超美博士开发的文献计量分析软件 Cite Space(5.6.R3),分析了 1998—2019 年中外文发表的有关生物质炭对土壤氮循环影响领域的研究进展,包括年发文量、发文国家、发文机构、关键词、作者群体、载文期刊及高被引论文情况,通过知识图谱的分析,可获取该领域研究现状、研究热点及未来发展态势。

## 2 结果与讨论

**2.1 年发文量分析** 文献发表数量可以表征科学界对某一研究领域的关注度,在一定程度上反映该研究领域的总体趋势、发展速度和研究热度<sup>[25]</sup>。基于检索的文献,分析了 1998—2019 年生物质炭对土壤氮循环影响领域的年发文量变化趋势(图 1)。

从图 1 中可以看出,中文和外文文献的发文量均呈现逐年增加的趋势,但外文文献的增长速度要远高于中文文献,且外文文献发文量在个别年份存在较小的波动。生物质炭对土壤氮循环影响的外文文献发表始于 2007 年,到 2019 年发表文献数量由最初的 2 篇突增至 388 篇。就年发文量的增速而言,可以划分为 2 个阶段:2007—2013 年,缓速增长期(2 篇增

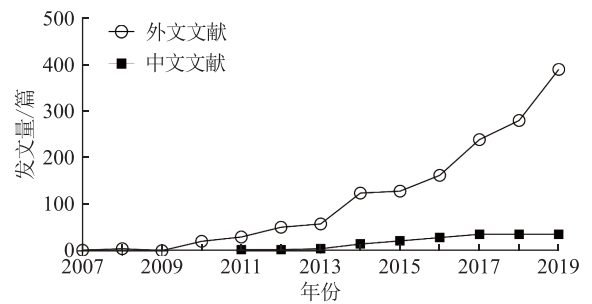


图 1 生物质炭对土壤氮循环影响领域的中外文文献数量(1998—2019 年)

至 58 篇); 2013—2019 年,快速增长期(58 篇增至 388 篇),表明生物质炭对土壤氮循环影响的研究在近些年逐渐得到国际学术界的重视。相比于外文文献,中文文献的发表相对较晚,从 2011 年开始出现该领域的论文,至 2019 年年发文量增速较为缓慢。2011—2013 年发文量没有表现出明显增加的趋势;2014—2019 年,发文量有所增加(从 22 篇增至 36 篇),但发文量的增速仍较为缓慢。

近些年来,全球气候变化加剧,粮食及生态环境安全受到威胁,特别是目前氮肥利用效率相对较低,导致大量氮素流失,进而造成水体富营养化,对饮用水安全构成威胁<sup>[26]</sup>。因此,在控制土壤氮素流失的同时,寻找有效和全面的策略来维护全球粮食安全是非常重要的<sup>[19, 26]</sup>。生物质炭具有多孔隙结构和巨大的比表面积,可以减少土壤氮损失,增加对土壤氮素的固持作用,并提高氮素利用效率<sup>[27-28]</sup>,因此越来越多的学者开始关注生物质炭对土壤氮循环的影响,造成该领域文献总量的急剧增加。根据该领域发表的文献总量和逐年增加的发展趋势,可以推测在未来一段时间内,生物质炭对土壤氮循环影响方面的研究仍会得到国内外学术界的广泛关注。

**2.2 外文文献的国际合作关系分析** 全球共有 80 多个国家/地区在生物质炭对土壤氮循环影响领域进行了相关研究(图 2),文献发表总量排名前 10 的国家分别为中国、美国、澳大利亚、德国、加拿大、巴基斯坦、西班牙、意大利、巴西和印度(表 1),其中,发文量排名第一的中国在 1998—2019 年总发文量为 559 篇,占总发文量的 37.6%,分别是排名第二的美国和排名第三的澳大利亚的 1.96 和 3.29 倍,表明我国学者密切关注该研究领域,并进行了大量研究。虽然我国发文量最高,但在网络图谱中的中心性却不高,中心性最高的国家为苏格兰,其次为巴基斯坦、智利、越南、爱尔兰等,表明我国对外合作的活跃性较低,而苏格兰等国家在对外合作方面具有较高的活跃性。

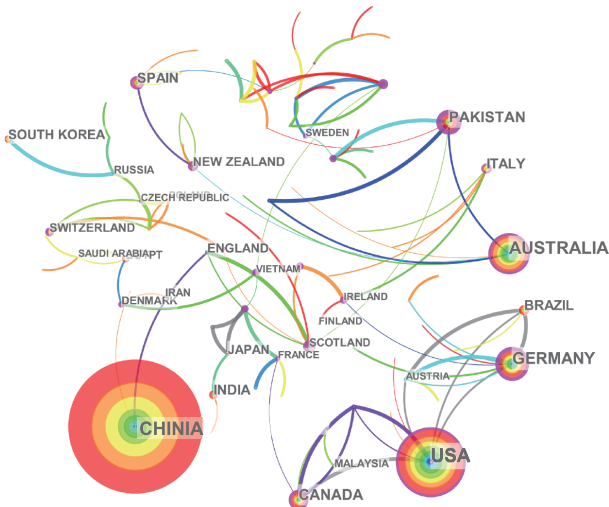


图 2 生物质炭对土壤氮循环影响领域国际合作关系的知识图谱

### 2.3 发文机构分析

**2.3.1 中文文献发文机构分析** 在生物质炭对土壤氮循环影响领域,中文文献发文量最多的机构包括河南农业大学、山西省农业科学院和中国农业科学院,1998—2019年发文总量均为4篇;南京农业大

表 1 生物质炭对土壤氮循环影响领域发表国际文献数量最多的位于前 10 位的国家排名

排名	国家	发文量	排名	国家	发文量
1	中国	559	6	巴基斯坦	76
2	美国	285	7	西班牙	59
3	澳大利亚	170	8	意大利	55
4	德国	119	9	巴西	54
5	加拿大	79	10	印度	54

学、西北农林科技大学和中国科学院大学排名第二,研究期内发文量均为3篇。

**2.3.2 外文文献发文机构分析** 不同研究机构发表外文文献的情况如图3所示。其中发表外文文献数量最多的机构是中国科学院,共计发表150篇,占Web of Science检索结果总发文量的10.09%,排名其后的依次为中国科学院大学(69篇)、南京农业大学(54篇)、浙江大学(35篇)、康奈尔大学(30篇)、西北农林科技大学(28篇)、中国农业科学院(28篇)、澳大利亚格里菲斯大学(27篇)、佛罗里达大学(25篇)和浙江农林大学(24篇)。上述这些发文量位



图 3 生物质炭对土壤氮循环影响领域的国际文献发文机构合作关系知识图谱

列前 10 的科研机构包含 7 个中国科研机构, 发文数量占总发文量的 26.09%, 这表明中国作为一个农业大国, 高度重视生物质炭对土壤氮循环影响方面的研究。

## 2.4 作者群体分析

### 2.4.1 中文文献作者群体分析

生物质炭对土壤氮循环影响领域的中文文献的作者群体分析结果(图 4)表明, 发文较多的是刘世亮(5 篇)、刘玉学(4 篇)、刘芳(4 篇), 作者群体总体呈现大分散小聚集的特点, 表明国内研究团队内部具有较为紧密的交流合作, 但在团队与团队之间的合作较为分散, 因此团队间的合作交流有待于进一步加强。

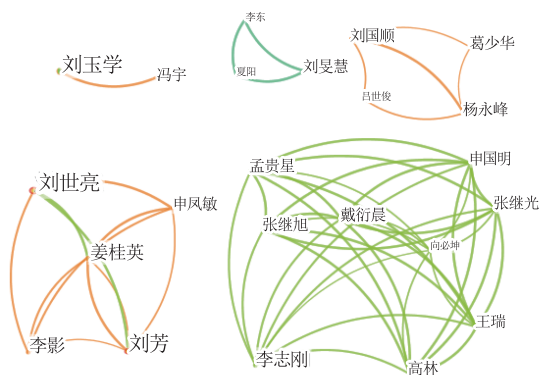


图 4 生物质炭对土壤氮循环影响领域国内作者合作知识图谱

### 2.4.2 外文文献作者群体分析

基于 Cite Space 软件对搜集的外文文献进行作者群体分析(图 5), 结果表明发文量最多的是美国康奈尔大学的 Johannes Lehmann, 共发表了 21 篇论文; 其次为 Yong Sik OK (14 篇)、Lukas Van Zwieten(13 篇)、Meng Jun(12 篇)、Pan Genxing(11 篇)、Stephen Joseph(11 篇)、Xu Zhihong(10 篇)等。发文量排名前 10(并列第 9 和 10 的作者较多, 总数为 16)的作者中, 中国作者有 7 名, 其中沈阳农业大学 Meng Jun 排名第四, 南京农业大学的 Pan Genxing 发文量排名第五。与中文文献作者群体分析类似, 图谱网络密度不高, 仅为 0.0056, 呈现出大多作者群体分布较为离散, 团队内部网络连线较为紧密, 而团队与团队之间仅有少数连线链接的特点, 表明科研团队之间的合作研究相对较少。

## 2.5 文献共被引分析

文献引用率可用于文献计量学中学术影响力的衡量, 通常文献的引用率越高代表其在同行中的关注度越大<sup>[29]</sup>。通过对 Web of Science 检索的 1487 篇文献进行文献共被引分析, 得到引用率 TOP20 文献的相关信息。该领域内引用频次超过 100 次的文献共有 24 篇, 且高引用率文章均出现在 2007—2014 年, 集中分布在 2010—2012 年, 表明在该时期内取得了较多的生物质炭对土壤氮循环影响方

面的研究成果, 为后续科研人员的研究奠定了重要基础。总体来说, 高被引文献大多来自美国、澳大利亚和新西兰的科学家, 其中 TOP20 高被引论文中有 8 篇都来自于美国。TOP10 高被引论文中有 2 篇来自美国康奈尔大学, 其中包含单篇引用率最高的 1 篇综述文章(Johannes Lehmann 教授 2011 年发表在《Soil Biology & Biochemistry》上), 引用率达 416 次; 排名第 2 位的是意大利的 Jeffery S 于 2011 年发表的关于土壤施用生物质炭对作物生产力影响的整合分析文章。

从期刊来源看, 引用频次排名前 20 的文献中, 有 3 篇发表于《Soil Biology & Biochemistry》, 3 篇发表在《Plant and Soil》, 3 篇发表在《Agriculture, Ecosystems & Environment》, 还有 1 篇是由美国科学家 Dominic Woolf 于 2010 年发表在《Nature Communications》上的关于生物质炭缓解全球气候变化方面的论文。

## 2.6 关键词聚类分析

文献的关键词是一篇文章的核心, 能够高度概括文章的主题, 分析文献的关键词有助于把握科学研究的趋势和研究的热点, 帮助研究者快速掌握科研动态<sup>[20]</sup>。关键词聚类分析结果表明: 中文文献关键词聚类分析参数分别为  $Q=0.8323$  和  $S=0.6859$ ; 外文文献聚类分析参数分别为  $Q=0.7572$  和  $S=0.624$ ,  $Q$  均  $>0.3$ ,  $S$  均  $>0.5$ , 接近 0.7, 表明聚类结果信服, 但关键词的整体网络结构比较松散(Density=0.0139(中文文献); Density=0.0069(外文文献))。

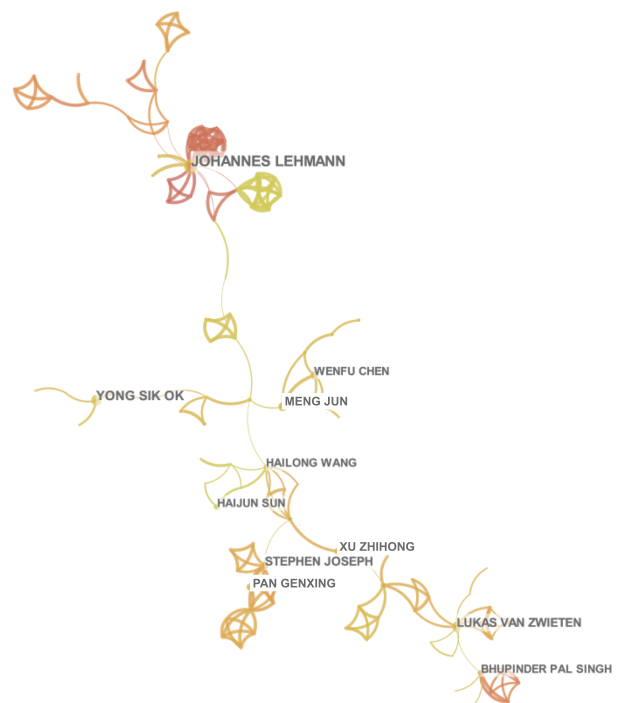


图 5 生物质炭对土壤氮循环影响领域的外文文献作者合作关系知识图谱

**2.6.1 中文文献关键词聚类分析** 基于 185 篇中文文献关键词聚类分析的结果如图 6 所示. 从图 6 中可以看出, 除刺桐生物质炭和黑碳等本领域的关键词外, 我国生物质炭对土壤氮循环影响的热点主要集中在土壤保氮能力、酸性棕壤、亚硝酸盐、氮素流失、产量、反硝化作用、 $N_2O$  排放、有机菌肥、土壤改良剂和硝化抑制剂等方向.

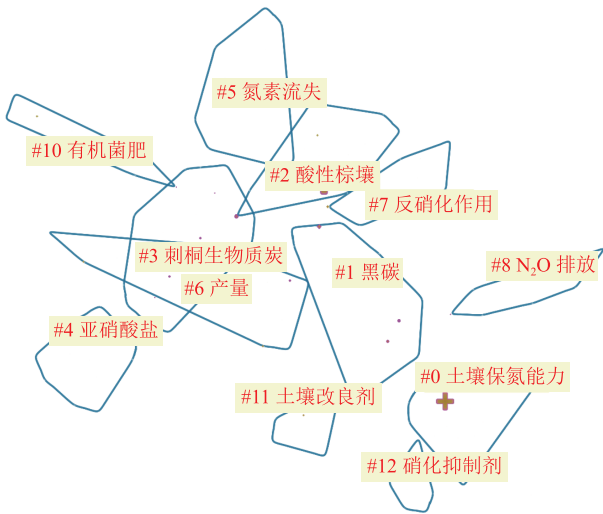


图 6 生物质炭对土壤氮循环影响领域的中文文献关键词聚类视图

根据突现词的分析发现, 2016—2017 年开始出现“ $N_2O$  排放”关键词(图 7), 表明在生物质炭对土壤

氮循环影响领域, 学者开始关注生物质炭对土壤  $N_2O$  排放的影响. 有研究表明生物质炭添加会降低土壤中  $N_2O$  的排放, 减缓全球气候变化<sup>[30-31]</sup>; 但也有些研究表明生物质炭对土壤  $N_2O$  的排放没有明显的作用<sup>[32-33]</sup>, 甚至出现促进作用<sup>[34-35]</sup>. 生物质炭影响土壤  $N_2O$  排放的机制主要包括改变土壤 pH<sup>[36-37]</sup>、改善土壤通气性<sup>[38-39]</sup>、为微生物提供碳氮源<sup>[40,41]</sup> 及生物质炭吸附土壤中的营养物质等<sup>[42-43]</sup>. 虽然目前已有较多关于生物质炭对  $N_2O$  排放的影响以及作用机制的研究, 但尚未形成统一论, 相关的理论机制还需要进一步研究<sup>[44]</sup>.

2017—2019 年突现词分别为氮肥、植烟土壤、产量、作物生长和反硝化细菌(图 7), 表明在此期间人们开始关注生物质炭和氮肥混合添加对土壤中氮的影响. 这可能是由于农业部于 2017 年提出“化肥减量, ‘有机肥’替代, 力争到 2020 年实现化肥使用量零增长”的发展目标. 因为生物质炭本身是多孔隙结构, 具有较大的比表面积, 吸附性强, 所以能够减少施入土壤中氮肥的流失<sup>[45]</sup>. 同时, 生物质炭的添加也会对土壤中氮循环相关微生物产生影响, 进而影响土壤中氮转化过程<sup>[46]</sup>. 从突现词的分析结果来看, 目前人们开始关注生物质炭对反硝化细菌的影响, 其原因在于土壤反硝化过程是产生  $N_2O$  的重要途径, 而反硝化细菌在这一过程中发挥着非常重要的作用<sup>[47]</sup>.

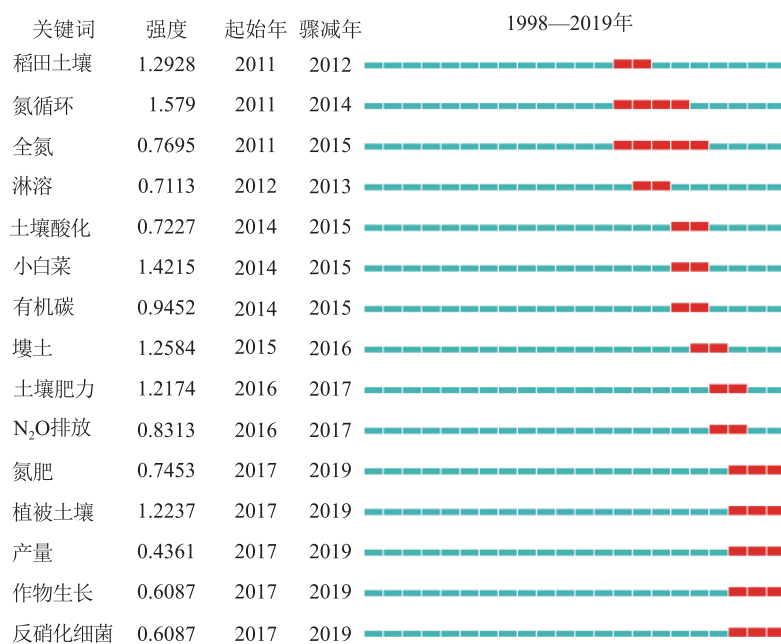


图 7 基于 CNKI 数据库生物质炭对土壤氮循环影响研究领域的突显关键词分析

**2.6.2 外文文献关键词聚类分析** 图 8 显示了外文文献的关键词聚类分析结果. 国际上, 在生物质炭对土壤氮循环影响领域的研究热点主要集中在以下

几个方面: 1) 生物质炭类型, 主要包括快速热解生物质炭 (fast pyrolysis biochar)、秸秆生物质炭 (straw biochar) 和农业碳 (agricher); 2) 应用领域, 主要涉及

北方森林土壤(boreal forest)、撒哈拉以南非洲土壤(sub-Saharan Africa)和农业应用(agricultural applications); 3) 环境效应, 主要有生物质炭添加到土壤后对生物生产量(biomass production)、产量(yield)、土壤钾元素(potassium)和硼元素(boron)、土壤有机碳(soil

organic carbon)、溶解性有机质(dissolved organic matter)、溶解性有机氮(don)、脲酶活性(urease activity)、氮元素吸收(nitrogen uptake)、微生物生物量(microbial biomass)和高通量测序结果(high-throughput sequencing)等方面的影响。

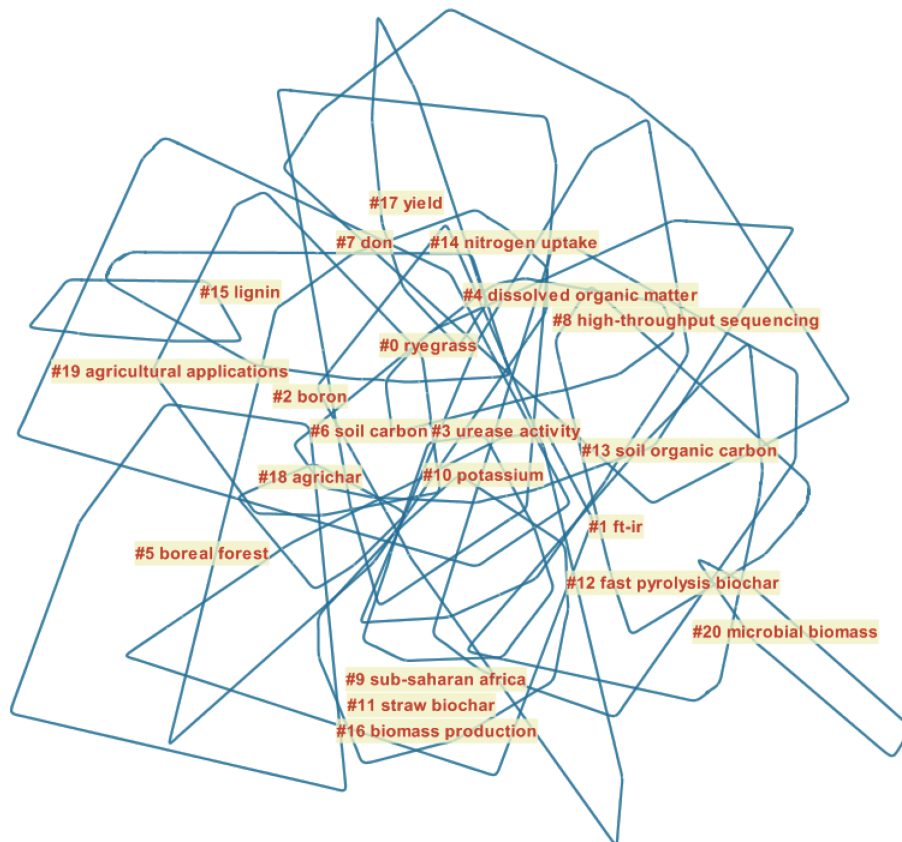


图 8 生物质炭对土壤氮循环影响领域外文文献关键词的聚类视图

图 9 为基于 Web of Science 的检索结果进行的突现词分析。除“charcoal”“char”“black carbon”等本领域的关键词外, 2008—2015 年间关注较多的是生物质炭本身所具有的特点, 如肥力(fertility)、生物能源(bioenergy)、氧化(oxidation)、固存(sequestration)等; 在 2011—2016 年间, black carbon decomposition(降解)、nutrition(营养)、nitrate(硝酸盐)、bioavailability(生物可利用率)、nitrous oxide emission(氧化亚氮排放)、nitrogen mineralization(氮矿化)、nitrogen loss(氮流失)等关键词开始出现, 表明该时间段内对于生物质炭对土壤氮循环影响的研究逐渐增多。

**2.7 生物质炭对土壤氮循环影响领域的未来研究趋势** 通过分析生物质炭对土壤氮循环影响领域的关键词和突现词, 结合高被引文献的阅读, 归纳总结出该领域的未来研究热点主要体现在以下几个方面:

1) 生物质炭对土壤品质改善及土壤可持续发展。随着农业现代化的快速发展, 我国每年可产生  $8 \times 10^8$  t

以上的农业秸秆<sup>[48]</sup>, 这些农业秸秆在农业和环境领域已经得到广泛关注。据 International Biochar Initiative Organization 估计, 到 2050 年, 约有 80% 的农作物和林业残留物可以作为生产生物质炭和能源的原材料<sup>[49]</sup>。将农业秸秆转化为生物质炭, 应用于农业生产活动中, 可以为土壤品质改善和土壤可持续发展提供有效途径<sup>[50]</sup>, 同时可加快推进农业秸秆的资源化利用。当前研究重点开展了生物质炭自身对农业土壤结构和品质的影响方面的研究, 未来可关注功能化生物质炭和生物质炭-有机肥复合肥对不同类型生态系统的土壤品质和生产力提升的影响, 拓展生物质炭在盐碱化和复合污染治理以及生态修复领域的应用。

2) 生物质炭添加对土壤氮迁移转化过程的影响机制研究。尽管一些学者开始关注不同生物质炭对铵态氮的吸附和解吸方面的研究, 但关于生物质炭吸附解吸的试验方法尚不完善, 特别是对解吸量的估算存在较大不足。因此, 开展生物质炭吸附解吸

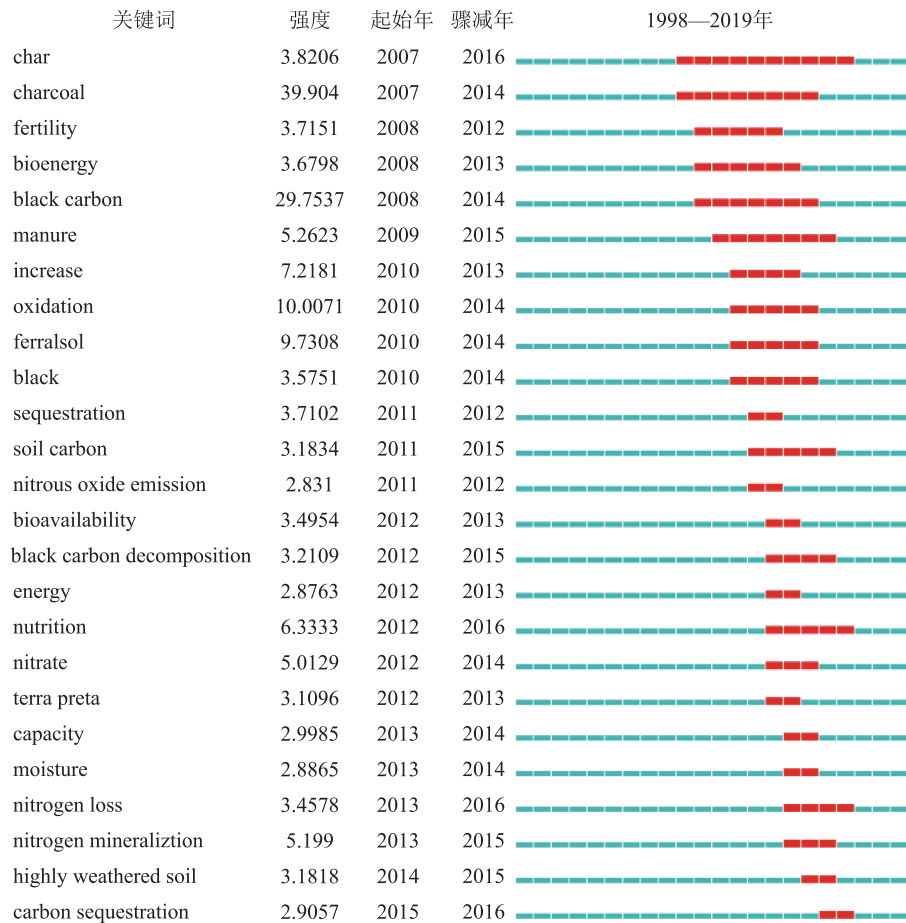


图 9 基于 Web of Science 数据库生物质炭对土壤氮循环影响研究领域突现关键词分析

方法的改进和完善,将有助于准确评估生物质的氮释放效应和生物质炭缓释肥的研发。目前,生物质炭对土壤矿化、硝化和反硝化作用的影响规律的研究结论不一致,既可能存在抑制作用,也可能是不会产生显著影响或者发挥促进作用。反硝化作用是产生温室气体  $N_2O$  的重要途径,开展生物质炭类型、添加量及添加方式对土壤  $N_2O$  排放的影响规律及机制的研究,可以在减缓全球温室效应方面发挥重要作用。

3) 生物质炭添加对土壤氮循环相关微生物的影响。近些年,尽管许多学者开始关注生物质炭添加对土壤氮循环相关微生物的影响,但目前生物质炭对氮循环相关微生物的主要作用机制尚不明确<sup>[19]</sup>,特别是不同类型的生物质炭、功能化生物质炭和生物质炭-有机肥复合肥对氮循环微生物和酶活性的影响方面的研究更为匮乏。而且目前研究主要侧重于短时间内生物质炭添加对土壤硝化和反硝化细菌的影响,但随着生物质炭添加时间的延长,生物质炭性质可能发生变化,对土壤氮循环相关微生物的影响也可能产生不同的效应<sup>[43]</sup>。因此,开展长时间尺度下生物质炭类型、添加方式和混施方式对氮循环微生物的影响研究,也是未来生物质炭对土壤氮循环影响

领域的研究趋势之一。

### 3 结论

通过对 CNKI 和 Web of Science 数据库中生物质炭对土壤氮循环影响这一研究领域的文献计量学分析,得到以下主要结论:

1) 中国在该领域发表文献数量方面处于国际领先地位,约是排名第二的美国的 2 倍; Web of Science 数据库中,发文量 TOP10 的中国科研机构占据 7 个;但是文献引用率 TOP20 的文章主要由美国、澳大利亚和新西兰等国家发表。因此,我国在该领域的研究与国际水平还有一定差距。

2) CNKI 数据库中,发文量较多的机构是河南农业大学、山西省农业科学院和中国农业科学院,发文量最多的作者是刘世亮; Web of Science 数据库中发文量最高的是中国科学院,而发文量最多的作者是美国康奈尔大学的 Johannes Lehmann, 并且也是该领域内被引频次最高的作者。

3) CNKI 数据库关键词聚类的结果显示:当前研究的热点主要有土壤保氮能力、酸性棕壤、亚硝酸盐、氮流失、产量、反硝化作用、 $N_2O$  排放、有机菌

肥、土壤改良剂和硝化抑制剂等方向; Web of Science 数据库得到的研究热点主要集中在生物生产量、土壤钾元素和硼元素、土壤有机碳、溶解性有机质、溶解性有机氮、脲酶活性、氮吸收、微生物生物量等方面。

未来该领域的研究可能主要集中于生物质炭对土壤品质改善及土壤可持续发展、生物质炭对土壤氮元素迁移转化过程的影响机制研究及氮循环相关微生物对生物质炭添加的响应等方面。

#### 4 参考文献

- [1] POKHAREL P, MA Z, CHANG S X. Biochar increases soil microbial biomass with changes in extra- and intracellular enzyme activities: a global meta-analysis[J]. *Biochar*, 2020, 2: 65
- [2] COOPER J, GREENBERG I, LUDWIG B, et al. Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size fractions under field conditions[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, 295: 1
- [3] 张阿凤, 潘根兴, 李恋卿. 生物黑炭及其增汇减排与改良土壤意义[J]. *土壤学报*, 2009, 28(12): 2459
- [4] EL-NAGGAR A, SANG S L, AWAD Y M, et al. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils[J]. *Geoderma*, 2018, 332(15): 100
- [5] SONG X, RAZAVI B S, LUDWIG B, et al. Combined biochar and nitrogen application stimulates enzyme activity and root plasticity[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 735: 1
- [6] XIANG Y Z, DENG Q, DUAN H L, et al. Effects of biochar application on root traits: a meta-analysis[J]. *GCB Bioenergy*, 2017, 9: 1563
- [7] XU X T, HE C, YUAN X, ZHANG Q, et al. Rice straw biochar mitigated more N<sub>2</sub>O emissions from fertilized paddy soil with higher water content than that derived from *ex situ* biowaste[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 263: 1
- [8] GE X G, CAO Y H, ZHOU B Z, et al. Combined application of biochar and N increased temperature sensitivity of soil respiration but still decreased the soil CO<sub>2</sub> emissions in moso bamboo plantations[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 730: 1
- [9] 王洁. 青藏高原不同植被类型土壤氮形态组成及分布研究[D]. 天津: 天津师范大学, 2015
- [10] 贾佳, 白军红, 高照琴, 等. 黄河三角洲潮间带盐沼土壤碳、氮含量和储量[J]. *湿地科学*, 2015, 13(6): 714
- [11] JIA J, BAI J H, GAO H F, et al. Different effects of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on soil net nitrogen mineralization in coastal wetlands[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, 199: 1
- [12] ULYETT J, SAKRABANI R, KIBBLEWHITE M, et al. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils[J]. *European Journal of Soil Science*, 2014, 65(1): 96
- [13] SINGH B P, HATTON B J, SINGH B, et al. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2010, 39(4): 1224
- [14] MANDAL S, THANGARAJAN R, BOLAN N S, et al. Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat[J]. *Chemosphere*, 2016, 142: 120
- [15] 赵光昕, 刘杏认, 张晴雯, 等. 施用生物炭对农田土壤 N<sub>2</sub>O 的减排效应[J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37(12): 2872
- [16] XIAO Z G, RASMANN S, YUE L, et al. The effect of biochar amendment on N-cycling genes in soils: a meta-analysis[J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 696: 1
- [17] ZHOU Y X, BERRUTI F, GREENHALF C, et al. Increased retention of soil nitrogen over winter by biochar application: implications of biochar pyrolysis temperature for plant nitrogen availability[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2017, 236: 61
- [18] LUO X X, CHEN L, ZHENG H, et al. Biochar addition reduced net N mineralization of a coastal wetland soil in the Yellow River Delta, China[J]. *Geoderma*, 2016, 282: 120
- [19] 王洪媛, 盖霞普, 翟丽梅, 等. 生物炭对土壤氮循环的影响研究进展[J]. *生态学报*, 2016, 36(19): 5998
- [20] 李艳梅, 周亚文, 廖上强, 等. 基于文献计量学的生物炭基肥领域发展态势分析[J]. *中国农业信息*, 2019(2): 98
- [21] 范利超, 韩文炎. 基于 Web of Science 数据库的生物炭研究发展态势分析[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(3): 541
- [22] 李彬彬, 许明祥, 巩晨, 等. 国际土壤质量研究热点与趋势: 基于大数据的 CiteSpace 可视化分析[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(11): 1983
- [23] 罗杨, 吴永贵, 段志斌, 等. 基于 CiteSpace 重金属生物给性的文献计量分析[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(1): 17
- [24] 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
- [25] 郭大勇, 郭凯丽, 王旭刚, 等. 基于 Web of Science 和 CNKI 的生物炭研究文献计量分析[J]. *东北农业科学*, 2017, 42(4): 49

- [26] DONG D, FENG Q B, MCGROUTHER K, et al. Effects of biochar amendment on rice growth and nitrogen retention in a waterlogged paddy field[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15: 153
- [27] GU J X, WU Y Y, TIAN Z Y, et al. Nitrogen use efficiency, crop water productivity and nitrous oxide emissions from Chinese greenhouse vegetables: a meta-analysis[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 743: 1
- [28] 李卓瑞, 韦高玲. 不同生物炭添加量对土壤中氮磷淋溶损失的影响[J]. *生态环境学报*, 2016, 25(2): 333
- [29] 金碧辉, 汪寿阳, 任胜利, 等. 论期刊影响因子与论文学术质量的关系[J]. *中国科技期刊研究*, 2000, 11(4): 202
- [30] CAYUELA M L, SÀNCHEZ-MONEDEROL M A, ROIG A, et al. Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N<sub>2</sub>O emissions?[J]. *Scientific Reports*, 2013, 3: 1732
- [31] HU Y L, WU F P, ZENG D H, et al. Wheat straw and its biochar had contrasting effects on soil C and N cycling two growing seasons after addition to a black chernozemic soil planted to barley[J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2014, 50(8): 1291
- [32] SCHEER C, GRACE P R, ROWLINGS D W, et al. Effect of biochar amendment on the soil-atmosphere exchange of greenhouse gases from an intensive subtropical pasture in northern New South Wales, Australia[J]. *Plant and Soil*, 2011, 345(1): 47
- [33] ANGST T E, SIX J, REAY D S, et al. Impact of pine chip biochar on trace greenhouse gas emissions and soil nutrient dynamics in an annual ryegrass system in California[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2014, 191: 17
- [34] VERHOEVEN E, SIX J. Biochar does not mitigate field-scale N<sub>2</sub>O emissions in a Northern California vineyard: an assessment across two years[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 191: 27
- [35] SHEN J, TANG H, LIU J, et al. Contrasting effects of straw and straw-derived biochar amendments on greenhouse gas emissions with double rice cropping systems[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, 188: 264
- [36] NELISSEN V, SAHA B K, RUYSSCHAERT G, et al. Effect of different biochar and fertilizer types on N<sub>2</sub>O and no emissions[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, 70: 244
- [37] XU H J, WANG X H, LI H, et al. Biochar impacts soil microbial community composition and nitrogen cycling in an acidic soil planted with rap[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(16): 9391
- [38] ZHANG A F, CUI L Q, PAN G X, et al. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 139(4): 469
- [39] KARHU K, MATTILA T, BERGSTRM I, et al. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity: results from a short-term pilot field study[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2011, 140(1): 309
- [40] AMELOOT N, DE NEVE S, JEGAJEEVAGAN K, et al. Short-term CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and microbial properties of biochar amended sandy loam soils[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2013, 57: 401
- [41] 冯政君. 不同环境条件下生物炭对土壤N<sub>2</sub>O排放的影响及机制[D]. 杭州: 浙江大学, 2017
- [42] SUN L, LI L, CHEN Z Z, et al. Combined effects of nitrogen deposition and biochar application on emissions of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> from agricultural and forest soils[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2014, 60(2): 254
- [43] MUKHERJEE A, LAI R, ZIMMERMAN A R. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 487: 26
- [44] 何甜甜, 刘天, 云菲, 等. 生物炭对农田N<sub>2</sub>O排放的影响机制研究[J/OL]. *中国农业科技导报*, (2020-05-18)[2020-12-15]. <https://doi.org/10.13304/j.nykjdb.2019.1081>
- [45] 朱浩宇, 高明, 龙翼, 等. 化肥减量有机替代对紫色土旱坡地土壤氮磷养分及作物产量的影响[J]. *环境科学*, 2020, 41(4): 1921
- [46] 张星, 张晴雯, 刘杏认, 等. 施用生物炭对农田土壤氮素转化关键过程的影响[J]. *中国农业气象*, 2015, 36(6): 709
- [47] 张军, 周丹丹, 吴敏, 等. 生物炭对土壤硝化反硝化微生物群落的影响研究进展[J]. *应用与环境生物学报*, 2018, 24(5): 993
- [48] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 211
- [49] ZHANG J, LIU J, LIU R L. Effects of pyrolysis temperature and heating time on biochar obtained from the pyrolysis of straw and lignosulfonate[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 176: 288
- [50] 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

## Biochar modulation of the soil nitrogen cycle: a Cite Space-based bibliometric study

WANG Wei<sup>1)</sup> BAI Junhong<sup>1)†</sup> ZHANG Ling<sup>1)</sup> JIA Jia<sup>1)</sup> YU Lu<sup>1)</sup> ZHANG Shuyan<sup>2)</sup>

(1) State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2) Huanghekou Management Station, Shandong Yellow River Delta National Nature Reserve Administration, 257500, Dongying, Shandong, China)

**Abstract** To identify proactive areas in biochar modulation of the soil nitrogen cycle, Cite Space was applied to Web of Science and CNKI, to analyze total number of publications, countries of origin, author home institution, highly-cited authors and keywords, from 1998-2019. The total number of articles in both Chinese and foreign languages gradually increased, those in foreign languages increased at a higher rate. Most published papers were found to be from China and the United States, but the latter showed a high proportion in top 20 (TOP20) highly cited papers. Top institutions with most published articles written in Chinese include Henan Agricultural University, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, and Chinese Academy of Agricultural Sciences. Of the 10 top institutions with the most numerous articles published in international journals, seven were located in China. However, author group analysis revealed limited academic exchange among different research groups. Analysis of keyword clustering and burst terms identified research areas that will need to be addressed more extensively in the future: soil quality improvement by biochar, biochar modulation of soil nitrogen cycling (mineralization, nitrification and denitrification), and nitrogen cycle-related microbe modulation of biochar addition.

**Keywords** biochar; soil nitrogen; Cite Space software; bibliometric analysis