



张頔,王鑫,李龙威,等.基于文献计量方法的农田 $N_2O$ 研究热点与趋势分析[J].黑龙江农业科学,2023(10):117-125.

# 基于文献计量方法的农田 $N_2O$ 研究热点与趋势分析

张 頔<sup>1</sup>,王 鑫<sup>1</sup>,李龙威<sup>2</sup>,赵胜楠<sup>1</sup>,谭 笑<sup>1</sup>,孙浩翔<sup>1</sup>,王彦靖<sup>1</sup>

(1. 吉林省农业科学院 农村能源与生态研究所,吉林 长春 130033; 2. 长春市净月潭水库管理处,吉林 长春 130000)

**摘要:**农田氧化亚氮( $N_2O$ )排放是温室气体重要排放源之一,为进一步了解农田 $N_2O$ 领域研究热点与趋势,以2014—2023年Web of Science TM核心合集数据中研究型 and 综述型论文为研究对象,采用文献分析软件CiteSpace、HistCite对文献进行分析。重点分析农田 $N_2O$ 研究领域的研究热点、研究机构以及发展趋势。结果表明,近10年内,农田 $N_2O$ 研究在全球范围内具有较高的关注度,发文量不断上升;研究力量主要分布在中国、美国和德国等;各研究机构和研究人员之间合作关系密切;关于农田 $N_2O$ 的研究主要集中在 $N_2O$ 产生及排放路径、外界环境因素对农田 $N_2O$ 排放的影响以及抑制农田 $N_2O$ 排放等方面;该领域内的高被引文献主要集中在土壤温室气体排放及对全球增温潜力的影响;关键词突现结果显示,“硝化抑制剂”“氮循环”“减缓温室气体排放”等是目前国内外的研究热点。

**关键词:**农田; $N_2O$ ;文献计量;可视化分析;研究热点

全球气候变化已经成为人类社会可持续发展面临的严峻挑战,中国作为发展中国家,由于社会经济发展、产业结构调整 and 生态环境保护等方面的原因,比发达国家更容易受到气候变化的不利影响。联合国政府间气候变化和专门委员会的第六次评估报告显示,人类的生产活动产生的温室气体排放是导致全球大气、海洋和陆地生态系统变暖的主要原因,近10年全球地表温度较20世纪初提升了 $1.09\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>。

农业生产活动是温室气体重要的排放源之一, $N_2O$ 的排放影响尤为显著<sup>[2-3]</sup>。畜牧业的动物肠道发酵、动物粪便处理、大量的化肥施用,以及农作物秸秆燃烧等都对农业温室气体排放具有一定的影响。《中国气候变化第三次国家信息通报》显示,中国温室气体排放总量约为8.28亿t二氧化碳当量( $\text{CO}_2\text{-eq}$ ),农业温室气体排放约占温室气体排放总量的7.9%,其中 $N_2O$ 的贡献约为3亿t $\text{CO}_2\text{-eq}$ 。农田土壤中氮素的硝化和反硝化过程对 $N_2O$ 的排放有着一定的贡献,各种环境

因素和人为因素也会影响 $N_2O$ 的排放,例如土壤的理化性质(含水率、pH、温度)和田间管理措施(作物类型、肥料的类型和使用量、耕作方式、灌溉方式)等。

文献计量学方法是近年来备受关注的一种文献分析方法,通过量化数据来分析特定主题的研究趋势和热点方向<sup>[4-5]</sup>,从国家、研究机构、作者、关键词、出版物等层面进行系统分析<sup>[6-7]</sup>。在此背景下,对农田系统 $N_2O$ 的研究热点与趋势通过CiteSpace软件进行文献可视化分析,系统梳理国家、作者、研究机构、研究热点等方面的合作关系和贡献水平,可为国内外研究工作提供理论参考。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

以“Web of Science TM核心合集”为检索数据库,检索日期为2022年11月1日,设定检索式为 $\text{TS}=(\text{"N}_2\text{O"}\text{ or "nitrous oxide"})$  and  $\text{TS}=(\text{"farmland"}\text{ or "cropland"}\text{ or "cultivated land"}\text{ or "agricultural land"}\text{ or "fields"})$ ,设定文章类型为“article” or “review”,设定检索时间跨度为2014—2023年,共得到8 473篇文献,筛选去重后得到8 343篇,将筛选后的文献选用“全纪录与引用的参考文献”格式下载为纯文本作为文献计量分析的数据样本。

收稿日期:2023-04-19

基金项目:吉林省农业科技创新工程项目(KYJF2021ZR114, CXGC2021ZY130)。

第一作者:张頔(1994—),女,硕士,助理研究员,从事农村废弃物处理与利用技术研究。E-mail:zhangdi6235@163.com。

通信作者:王彦靖(1981—),女,博士,副研究员,从事农业生态学研究。E-mail:15924504@qq.com。

1.2 研究方法

采用基于 JAVA 语言开发的 CiteSpaceV5. 7. R3 进行图谱的绘制和可视化分析。利用 CiteSpace 通过对文献进行分析,绘制出特定技术领域的知识图谱,可以直观地呈现出特定主题的结构,获取该研究领域的进展和前沿,尤其在科学引文分析方面,CiteSpace 是一款实用的可视化分析软件<sup>[8]</sup>。HistCite 软件是由 Thomson Reuters 公司开发的一款引文分析软件,可以快速地分析出某个研究领域的发展脉络,锁定该研究领域的重要文献和学术专家等,还可以找到某些具有创新性成果的无指定关键词的论文。

2 结果与分析

2.1 年发文量分析

由图 1 可知,近 10 年来,农田系统 N<sub>2</sub>O 的相关论文数量整体呈现逐渐升高的趋势。2014—2018 年发文量处于平稳增长阶段,2018—2021 年发文量增幅较为明显,在 2021 年达到峰值。N<sub>2</sub>O 作为重要的温室气体之一,其在大气中的滞留年限可达 114 a,能够在环境中长期存在,其百年增温潜势为 CO<sub>2</sub> 的 265 倍<sup>[9]</sup>。因此,在保持农业生产稳步向前的同时减少 N<sub>2</sub>O 的排放量是农业未来发展过程的一个重要考虑因素。

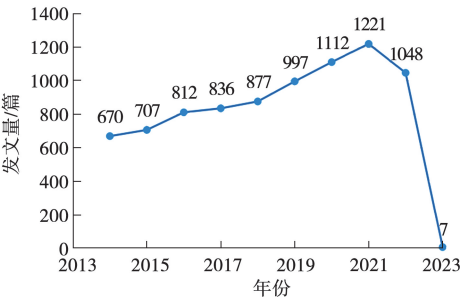


图 1 近 10 年农田系统 N<sub>2</sub>O 的相关论文年发文量

2.2 国家/地区分布

发文量可以反映该国家/地区在科研领域的研究现状和活跃程度<sup>[10-11]</sup>。由表 1 可知,发文量在前 10 名的国家当中,中国和日本属于亚洲国家,其他 8 个国家多数为欧洲和北美洲国家,表明欧洲和北美洲国家对农田 N<sub>2</sub>O 相关研究比较集中。中国在近 10 年共发表农田 N<sub>2</sub>O 研究相关文章 3 231 篇,占比 38.73%。美国发文量仅次于中国,为 1 740 篇,占比 20.86%。德国、英国位于第三位、第四位,占比分别为 9.80% 和 7.68%。中国发文量分别是美国和德国的 1.86 倍和 3.95 倍,中国作为发展中

国家,在农田 N<sub>2</sub>O 相关的研究发文量最多,从被引频次来看,也居于首位,表明中国的科学研究成果具有较大的影响力,广泛地被国内外的专家学者所引用。发文量占比前 10 名的其他国家分别为加拿大(7.31%)、澳大利亚(7.24%)、日本(4.51%)、西班牙(4.51%)、法国(3.99%)、意大利(3.42%)。

表 1 近 10 年农田 N<sub>2</sub>O 研究领域发文量 Top 10 的国家

序号	国家	发文量/篇	比例/%
1	中国	3231	38.73
2	美国	1740	20.86
3	德国	818	9.80
4	英国	641	7.68
5	加拿大	610	7.31
6	澳大利亚	604	7.24
7	日本	376	4.51
8	西班牙	376	4.51
9	法国	333	3.99
10	意大利	285	3.42

利用 Citespace 软件对农田 N<sub>2</sub>O 研究领域不同国家之间的合作关系进行可视化分析,结果如图 2 所示,图中节点大小代表国家的中心度,节点越大,表明该国家的影响力越大,节点之间的连线表示各个国家之间的合作关系<sup>[12]</sup>。中国和美国在农田 N<sub>2</sub>O 研究方面节点大小差距并不是很大,同德国、法国、英国等国家之间都具有合作关系。科研成果的产出是全球科研人员共同努力的结果,各个国家之间的合作关系可以很大程度上促进某一研究领域的发展。

2.3 作者分布

文章作者是一项科学研究的主体,在 8 343 篇文章中,共涉及 24 414 位国内外专家和学者,按照被引用次数进行排序,排名前 10 的作者如表 2 所示。高被引作者 Pete Smith 致力于再生农业对土壤碳汇增加的影响研究;Klaus Butterbach-Bahl 是卡尔斯鲁厄理工学院气象-气候与大气环境研究所高级教授、中国科学院大气物理所客座研究员,主要从事生态系统碳、氮微量气体排放过程的生物学和生物地球化学实验研究,在国内外均具有较高的影响力。

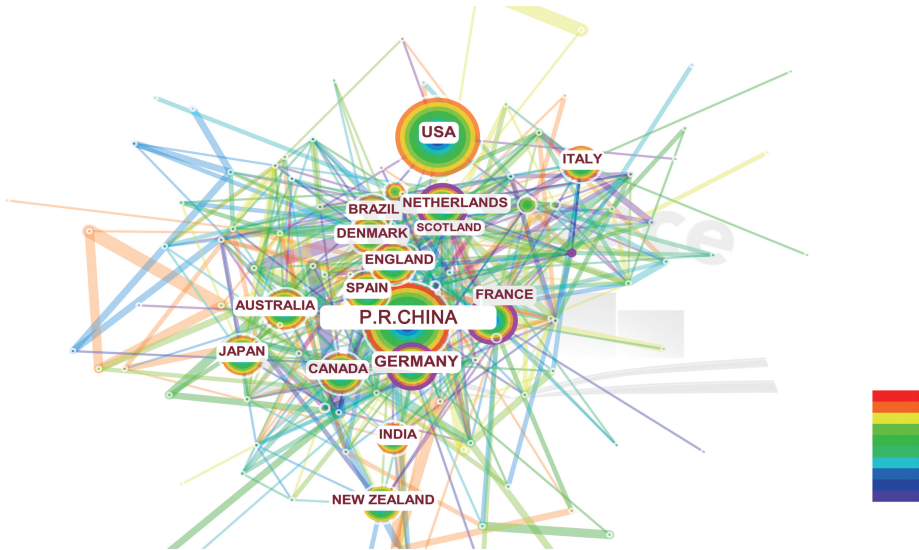


图 2 近 10 年农田 N<sub>2</sub>O 研究领域国家/地区合作关系

表 2 近 10 年农田 N <sub>2</sub> O 研究领域 Top 10 高被引作者			
序号	作者	发文量/篇	被引频次
1	Pete Smith	54	3185
2	Klaus Butterbach-Bahl	95	2335
3	Peter RGrace	21	2229
4	Christoph Mueller	65	1854
5	Yong Li	100	1752
6	Xiaoyuan Yan	49	1625
7	Cayuela Mapia Luz	14	1520
8	Cong Wang	75	1444
9	Rees Robert M	42	1408
10	Ying Liu	76	1320

由表 2 可以看出,Klaus Butterbach-Bahl 教授近 10 年关于农田 N<sub>2</sub>O 的发文量最多,为 95 篇,被引频次达到 2 335 次,仅低于 Pete Smith 所发表文章的被引频次。由图 3 可以看出,Klaus Butterbach-Bahl 教授和其他学者之间的有着较为密切的合作关系。来自中国科学院南京土壤研究所的颜晓元(Xiaoyuan Yan)研究员在农田 N<sub>2</sub>O 研究领域也具有一定的影响力,近 10 年共发表 49 篇文章,被引频次达到1 625次,主要研究方向为土壤碳氮生物地球化学循环、农业温室气体排放、农业面源污染等。相对来说,作者合作关系图中节点较为分散,研究人员或学者中的研究多以独立研究为主。

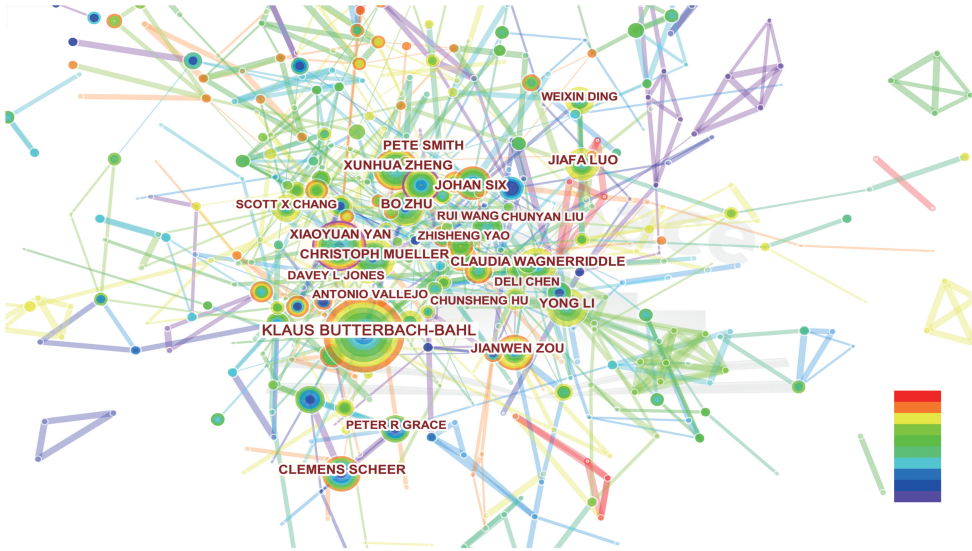


图 3 近 10 年农田 N<sub>2</sub>O 研究领域作者合作关系

2.4 研究机构分布

从 Web of Science TM 核心合集数据库中检索到 5 815 个研究机构,如表 3 所示,发文量前 10 名的研究机构中,共有 6 个来自中国。近10 年中,中国科学院在农田 N<sub>2</sub>O 研究领域共发表 1 000 篇文章,总被引频次达到 18 742 次;其次是中国科学院大学,发表文章 420 篇,总被引频次为 7 445 次;然后是中国农业大学,发表文章 272 篇,总被引频次为 5 971 次;中国农业科学院、西北农林科技大学等国内知名大学和科研院所对农田 N<sub>2</sub>O 的研究也较多且备受关注。加拿大农业及农业食品部、美国农业部、丹麦奥胡斯大学、德国卡尔斯鲁厄理工学院在农田 N<sub>2</sub>O 研究领域虽然发文量并不多,但是在本领域内获得的科研成果也被广泛引用,在国内外 also 具有很高的认可度。

2.5 高被引文献

当文章发表后被其他相关研究中的一篇或多篇文献所引用时,就构成了文献的共被引关系<sup>[13]</sup>。利用 HistCite 软件对检索结果进行整理,被引频次在前 10 名的文献如表 4。被引频次最多的是来自科罗拉多州立大学的 PAUSTIAN KEITH 教授发表在 *Nature* 上题为“Climate-smart soils”的文章,强调了土壤在减少温室气体排放方面的贡献,通过数据总结分析减缓土壤温室气体

排放的潜力和趋势,并提供减缓土壤温室气体排放的新方法和新技术<sup>[14]</sup>。来自中国复旦大学的 CHANG LIU 等在 2014 年发表了题为“Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis”的文章被引 466 次,研究秸秆还田对田间土壤温室气体排放的影响,结果表明秸秆还田导致稻田 N<sub>2</sub>O 的排放量下降 15.2±1.1%,而旱地土壤 N<sub>2</sub>O 的排放量增加 8.3±2.5%,建议未来农业生态系统在管理过程中应对稻田和旱地土壤区分开来研究秸秆还田对全球增温潜势的影响<sup>[15]</sup>。

表 3 近 10 年农田 N<sub>2</sub>O 研究领域发文量 Top 10 研究机构

序号	机构名称	国家/地区	发文量/篇	被引频次
1	中国科学院	中国	1000	18742
2	中国科学院大学	中国	420	7445
3	中国农业大学	中国	272	5971
4	中国农业科学院	中国	222	4341
5	西北农林科技大学	中国	193	4304
6	加拿大农业及农业食品部	加拿大	191	3272
7	南京农业大学	中国	185	4658
8	美国农业部	美国	171	3035
9	奥胡斯大学	丹麦	142	2630
10	卡尔斯鲁厄理工学院	德国	138	3916

表 4 近 10 年农田 N<sub>2</sub>O 研究领域高被引文献

文章序号	题目	第一作者	发表年份	被引频次
1779	Climate-smart soils	KEITH PAUSTIAN	2016	889
430	Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N <sub>2</sub> O) emissions to fertilizer nitrogen	IURI SHCHERBAK	2014	603
422	Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: a review and meta-analysis	CAYUELA M. L.	2014	571
362	Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis	CHANG LIU	2014	466
1482	Greenhouse gas emissions from soils a review	CORNELIUS OERTEL	2016	439
5864	A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks	HANQIN TIAN	2020	329
1730	The terrestrial biosphere as a net source of greenhouse gases to the atmosphere	HANQIN TIAN	2016	285
2346	Greenhouse gas emissions intensity of global croplands	KIMBERLY M. CARLSON	2017	238
827	Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems	BRUCE AL. LINQUIST	2015	217
1009	The effect of nitrificationinhibitors on the nitrous oxide (N <sub>2</sub> O) release from agricultural soils-a review	REINER RUSER	2015	217

2.6 关键词分析

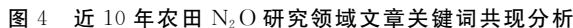
2.6.1 关键词共现分析 文章的关键词可以反映出该篇文章的主题或核心研究内容<sup>[16]</sup>,同时也可

120

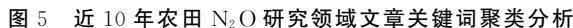
反映出某一研究领域的研究热点趋势,对关键词进行共现分析,如图 4 所示,nitrous oxide emission、methane emission、greenhouse gas emission、deni-



程,其生成  $N_2O$  的能力也远高于硝化作用,包括化学反硝化作用和生物反硝化作用<sup>[17]</sup>。同时,甲烷作为重要的温室气体,甲烷排放研究(methane emission)和农田  $N_2O$  排放具有复杂的交互影响机制。



土壤有机碳、硝化抑制剂、反硝化细菌、生命周期评估、甲烷、臭氧和生物炭 9 个聚类(图 5)。



北地区黑土 pH 一般在 5.8~6.2 左右,化学反硝化过程对黑土产生  $\text{N}_2\text{O}$  的贡献相对较小<sup>[20]</sup>。生物反硝化过程在细菌或真菌的驱动下进行,真菌反硝化过程的最终产物是  $\text{N}_2\text{O}$ 。研究发现,在正常的降水条件下,反硝化过程对东北地区黑土

$\text{N}_2\text{O}$ 的贡献不足 30%<sup>[21]</sup>,主要是因为东北地区黑土属于雨养旱作方式,土壤含水率 $<70\%$ ,无法形成充分的厌氧环境,不利于反硝化过程的进行。在孔隙度较低、透气性较差的条件下,土壤容易产生厌氧环境,促进  $\text{N}_2\text{O}$  的排放。

#1 eddy covariance 涡度相关法。涡度相关法是  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量测定的一种方法,与静态箱法等传统方法相比,涡度相关法测定  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量是最直接的气象学方法,测定结果变异性较低,涡度相关法测定  $\text{N}_2\text{O}$  排放通量的应用越来越广泛。

#2 soil organic carbon 土壤有机碳。土壤有机碳是反硝化过程的能源驱动之一,土壤有机碳含量变化引起  $\text{N}_2\text{O}$  排放变化<sup>[22]</sup>,有学者研究添加碳氮条件下土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放情况,发现添加有机碳后土壤的反硝化过程更强,从而增加土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放量<sup>[23-24]</sup>。土壤有机质的碳氮比(C/N)对  $\text{N}_2\text{O}$  排放有影响,当  $\text{C/N}<25$  时,有机质中氮源较为丰富,很大程度上满足了微生物的同化量,有机质被迅速分解的同时微生物的活性不断增强,进而促进  $\text{N}_2\text{O}$  排放<sup>[25]</sup>,很多研究证明了上述结果<sup>[26-27]</sup>。

#3 nitrification inhibitor 硝化抑制剂。研究表明,硝化抑制剂在减少土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放方面具有良好的效果<sup>[28]</sup>,添加或者施用硝化抑制剂后  $\text{N}_2\text{O}$  排放量呈现出不同程度的降低<sup>[29-31]</sup>。双氰胺(DCD)和 3,4-二甲基吡唑磷酸盐(DMPP)是较为常见的硝化抑制剂,两者的作用机制不同。在牧草土壤中施用 DCD 后, $\text{N}_2\text{O}$  排放总量减少 52%~69%,主要是由于 DCD 限制土壤氨氧化细菌(AOB)的生长,进而影响  $\text{N}_2\text{O}$  排放<sup>[32]</sup>。DMPP 在影响氨氧化细菌丰度和代谢活动的同时,也会抑制相关基因的表达<sup>[33-34]</sup>。在小麦和玉米轮作的土壤中,添加 DMPP 减少了 38%  $\text{N}_2\text{O}$  排放<sup>[35]</sup>。与 DCD 相比,DMPP 在碱性条件下对土壤的硝化作用抑制明显,DCD 则在酸性土壤中对  $\text{N}_2\text{O}$  的抑制作用更为明显<sup>[36]</sup>。

#4 denitrifiers 反硝化细菌。反硝化细菌对氮循环具有重要影响,通过还原作用将  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$  还原为  $\text{NO}$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{N}_2$ 。nosZ 型反硝化细菌( $\text{N}_2\text{O}$  还原菌)参与的还原途径被认为是目前已知的唯一能够将  $\text{N}_2\text{O}$  还原为  $\text{N}_2$  的途径<sup>[37]</sup>,不同的环境因素对  $\text{N}_2\text{O}$  还原菌产生的影响也受到广泛的关注<sup>[38]</sup>。pH、温度、含氧量等环境因素对微生物的反硝化过程产生一定的影响,在环境因

素的影响下,反硝化微生物的群落组成和丰度发生变化,进而影响  $\text{N}_2\text{O}$  还原过程<sup>[39]</sup>。

#5 life cycle assessment 生命周期评估。学者 Brenttrup 提出生命周期评估这一方法,用于对农作物生产过程进行评价,能够对农作物生产过程中产生的温室气体排放情况进行全面而系统的分析<sup>[40-41]</sup>。

#6 methane 甲烷。农业生产活动产生的温室气体排放是全球温室气体排放的重要来源之一,相较于能源生产排放和工业生产排放来说,农业生产活动导致的  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  减排成本较低<sup>[42]</sup>,研究  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  减排效果及影响机制对温室气体减排目标的实现具有重要的意义<sup>[43]</sup>。

#7 ozone 臭氧。 $\text{N}_2\text{O}$  不仅是重要的温室气体之一,同时也被认为是一种对臭氧层具有破坏作用的物质之一。有学者研究了东亚地区地表氮氧化物( $\text{NO}+\text{N}_2\text{O}$ )含量变化对北半球上对流层下平流层区域臭氧的影响,结果表明氮氧化物的排放对不同纬度的臭氧变化产生的影响机制不同,在紫外线辐射较弱的中纬度地区,氮氧化物排放的增加会导致臭氧浓度降低<sup>[44]</sup>。

#8 biochar 生物炭。生物炭对  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响也受到了广泛的关注,大量的研究表明,生物炭具备减少土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放的潜力。Sial 等<sup>[45]</sup>研究胡桃壳生物炭对北方小麦-玉米土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响,表明生物炭的加入能显著降低土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放,最大降幅可达 64.9%;持续 10 年添加生物炭对稻麦轮作系统农田  $\text{N}_2\text{O}$  排放的研究表明,生物炭的长期施用显著降低了  $\text{N}_2\text{O}$  排放量<sup>[46]</sup>;木渣生物炭和牛粪生物炭对  $\text{N}_2\text{O}$  排放也具有明显的抑制作用,降幅分别为 50.0% 和 23.0%<sup>[47]</sup>。生物炭是一种具有发达孔隙结构和大比表面积的高富碳固体<sup>[48]</sup>,能够提高土壤的透气性能,对反硝化过程中  $\text{N}_2\text{O}$  的排放具有良好的抑制效果<sup>[49]</sup>,施加生物炭会增加土壤的阳离子交换量<sup>[50]</sup>,促进氨氮、硝态氮的吸收,降低硝化/反硝化过程中的底物含量,抑制脲酶、蛋白酶等氮循环酶的活性<sup>[51]</sup>。在土壤碳氮比 $>10$  的情况下,施加生物炭可能会导致农田产生更好的氮氧化物排放<sup>[52]</sup>。

2.6.3 突现词汇分析 由图 6 可知,DCD(硝化抑制剂)是农田  $\text{N}_2\text{O}$  研究领域出现的具有最高突现性的关键词(突现性 8.74,持续时间 3 a),此外 water table(地下水)、water content(含水率)也是突现性相对较高的词汇。2019 年以来,关于

microbial community structure(微生物群落结构)、climate change mitigation(减缓气候变化)、nitrogen cycling(氮循环)等方面的研究逐渐增多。基于关键词聚类及突现词汇分析结果,关于农田 N<sub>2</sub>O 与其他温室气体排放的互相影响机制研究以及农田 N<sub>2</sub>O 排放对可持续农业发展的影响研究是本领域的研究热点所在。

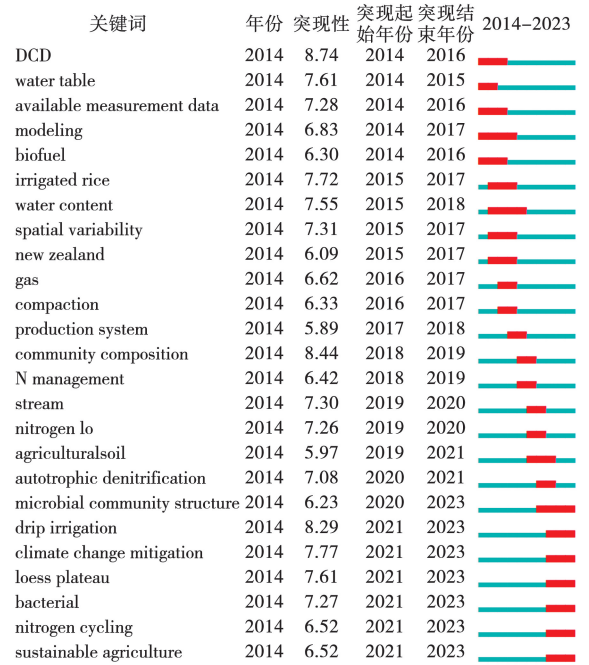


图 6 近 10 年农田 N<sub>2</sub>O 研究领域文章中突现词汇

3 结语

通过对农田 N<sub>2</sub>O 研究领域相关文献进行整理和可视化分析,在设定的研究时段内(近 10 年),关于农田 N<sub>2</sub>O 的研究热度保持持续增高,2021 年发文量达到最高。中国在农田 N<sub>2</sub>O 的研究发文量不断上升,中国的研究机构在本领域内的贡献也较多,中国科学院是发表文章数量最多的研究机构。但发文量和被引频次最高的作者均不是来自中国,表明中国学者在农田 N<sub>2</sub>O 方面的研究仍有进步的空间,需要进一步提高国际影响力。

近 10 年国内外研究热点主要集中在农田系统 N<sub>2</sub>O 的产生路径及影响因素,包括各种硝化过程和反硝化过程,这两种过程之间互相联系,同时又受到各种外界环境因素的影响,目前对于农田系统 N<sub>2</sub>O 的产生路径也大多集中在模拟阶段,揭示农田系统 N<sub>2</sub>O 的产生路径的文献相对较少。

同时气候变化及温室气体排放是全球性问题,N<sub>2</sub>O 作为重要的温室气体之一,其排放路径

及所产生的环境效应研究结论都较为清晰,一些非主要的温室气体同 N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>等重要温室气体之间的影响机制应受到进一步的关注。

参考文献:

[1] 傅伟军,徐向瑞,魏玲玲,等.生物炭农田应用的固碳减排研究进展[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2023,15(1):1-15.

[2] REAYD S,DAVIDSON E A,SMITH K A,et al. Global agriculture and nitrous oxide emissions[J]. Nature Climate Change,2012,2(6):410-416.

[3] 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心.中国气候变化第三次国家信息通报[R/OL].(2020-03-23)[2022-12-22].  
[http://www.ncsc.org.cn/SY/tjkhybg/202003/t20200323\\_770094.shtml](http://www.ncsc.org.cn/SY/tjkhybg/202003/t20200323_770094.shtml).

[4] MAOG Z,HUANG N,CHEN L,et al. Research on biomass energy and environment from the past to the future:a bibliometric analysis[J]. Science of The Total Environment,2018,635:1081-1090.

[5] MALLAWARACHCHI H,SANDANAYAKE Y,KARUNASENA G,et al. Unveiling the conceptual development of industrial symbiosis: bibliometric analysis [J]. Journal of Cleaner Production,2020,258:120618.

[6] ZHANG D,XU J,ZHANG Y Z,et al. Study on sustainable urbanization literature based on Web of Science,scopus,and China national knowledge infrastructure: a scientometric analysis in CiteSpace[J]. Journal of Cleaner Production,2020,264:121537.

[7] ZHOU W,KOU A Q,CHEN J,et al. A retrospective analysis with bibliometric of energy security in 2000-2017[J]. Energy Reports,2018,4:724-732.

[8] 陈敏,秦华,常健伟,等.基于文献计量分析的土壤微生物入侵研究现状及发展趋势[J].土壤学报,2022,59(6):1492-1503.

[9] THOMSON J,GIANNOPOULOS G,PRETTY J,et al. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B,Biological Sciences,2012,367(1593):1157-1168.

[10] 串丽敏,郑怀国,赵同科,等.基于 Web of Science 数据库的土壤污染修复领域发展态势分析[J].农业环境科学学报,2016,35(1):12-20.

[11] 张頔,徐建玲,李龙威.基于文献计量的人工湿地研究现状与发展趋势研究[J].环境科学与管理,2019,44(10):16-21.

[12] 马龙龙,杜灵通,丹杨,等.基于 CiteSpace 的陆地生态系统碳水耦合研究现状及趋势[J].生态学报,2020,40(15):5441-5449.

[13] 李晋毅,张蕾华.基于 CiteSpace 水库水源地重金属污染可视化研究[J].湖南师范大学自然科学学报,2022,45(3):88-97.

[14] PAUSTIAN K,LEHMANN J,OGLE S,et al. Climate-smart soils[J]. Nature,2016,532(7597):49-57.



- [15] LIU C, LU M, CUI J, et al. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis [J]. *Global Change Biology*, 2014, 20(5): 1366-1381.
- [16] 王伟, 白军红, 张玲, 等. 基于 CiteSpace 的生物质炭对土壤氮循环影响的文献计量分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 57(1): 76-85.
- [17] 张楠. 黑土氧化亚氮排放与有机碳组分特征的耦合效应研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2022.
- [18] HUH W, CHEN D, HE J Z. Microbial regulation of terrestrial nitrous oxide formation: understanding the biological pathways for prediction of emission rates [J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2015, 39(5): 729-749.
- [19] ZHU B X, CAVAZOS A R, OSTROM N E, et al. The importance of abiotic reactions for nitrous oxide production [J]. *Biogeochemistry*, 2015, 126(3): 251-267.
- [20] 韩晓增, 李娜. 中国东北黑土地研究进展与展望[J]. *地理科学*, 2018, 38(7): 1032-1041.
- [21] CHEN Z M, DING W X, XU Y H, et al. Increased  $N_2O$  emissions during soil drying after water logging and spring thaw in a record wet year [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2016, 101: 152-164.
- [22] BEAUCHAMPE G, TREVORS J T, PAUL J W. Carbon sources for bacterial denitrification [J]. *Advances in Soil Science*, 1989, 10: 113-142.
- [23] 吴浩浩, 徐星凯, 段存涛, 等. 碳氮添加对不同湿度条件下温带森林土壤融化过程中氧化亚氮排放的影响[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(7): 1807-1818.
- [24] SPEIRT W, KETTLES H A, MORE R D. Aerobic emissions of  $N_2O$  and  $N_2$  from soil cores: factors influencing production from  $^{13}N$ -labelled  $NO_3^-$  and  $NH_4^+$  [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(10): 1299-1306.
- [25] CHEN X P, XIA Y, SHEN J P, et al. Ammonia-oxidizing archaea: important players in paddy rhizosphere soil [J]. *Environmental Microbiology*, 2008, 10(8): 1978-1987.
- [26] 李玲, 饥少君, 刘京涛, 等. 土壤溶解性有机碳在陆地生态系统碳循环中的作用[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(5): 1407-1414.
- [27] DONG Z X, ZHU B, ZENG Z B. The influence of N fertilization regimes on  $N_2O$  emissions and denitrification in rain-fed cropland during the rainy season [J]. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2014, 16(11): 2545-2553.
- [28] 宋涛, 尹俊慧, 胡兆平, 等. 脲酶/硝化抑制剂减少农田土壤氮素损失的作用特征[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(4): 585-597.
- [29] QIAO C L, LIU L L, HU S J, et al. How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input [J]. *Global Change Biology*, 2015, 21: 1249-1257.
- [30] ZHANG M, FAN C H, LI Q L, et al. A 2-yr field assessment of the effects of chemical and biological nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions and nitrogen use efficiency in an intensively managed vegetable cropping system [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 201: 43-50.
- [31] FAN C, LI B, XIONG Z Q. Nitrification inhibitors mitigated reactive gaseous nitrogen intensity in intensive vegetable soils from China [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 612: 480-489.
- [32] DAI Y, DI H J, CAMERON K C, et al. Effects of nitrogen application rate and a nitrification inhibitor dicyandiamide on ammonia oxidizers and  $N_2O$  emissions in a grazed pasture soil [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 465: 125-135.
- [33] SHI X, HU H W, MÜLLER C, et al. Effects of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate on nitrification and nitrifiers in two contrasting agricultural soils [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2016, 82: 5236-5248.
- [34] DUAN Y F, KONG X W, SCHRAMM A. Microbial N transformations and  $N_2O$  emission after simulated grassland cultivation: effects of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2017, 83(1): e02019-16.
- [35] LIU C, WANG K, ZHENG X. Effects of nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on nitrous oxide emission, crop yield, and nitrogen uptake in a wheat-maize cropping system [J]. *Biogeosciences*, 2013, 10: 2427-2437.
- [36] LIU R, HAYDEN H, SUTER H, et al. The effect of nitrification inhibitors in reducing nitrification and the ammonia oxidizer population in three contrasting soils [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2015, 15(5): 1113-1118.
- [37] 申卫收, 熊若男, 张欢欢, 等. 微生物介导的农业土壤氧化亚氮减排研究进展[J]. *土壤学报*, 2023, 60(2): 332-344.
- [38] 邓文芳. 两株反硝化细菌  $N_2O$  还原的对比研究[D]. 广州: 广州大学, 2022.
- [39] PAN B, XIA L, SHU K L, et al. A global synthesis of soil denitrification: driving factors and mitigation strategies [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2022, 327: 107850.
- [40] 段智源, 李玉娥, 万运帆, 等. 不同氮肥处理春玉米温室气体的排放[J]. *农业工程学报*, 2014, 24(26): 216-224.
- [41] 张卫红, 李玉娥, 秦晓波, 等. 长期定位双季稻田施用生物炭的温室气体减排生命周期评估[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(20): 132-140.
- [42] 生态环境部应对气候变化司. 中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报[R/OL]. (2019-07-01)[2023-01-11]. <https://www.mee.gov.cn/ywyz/ydqbhb/wsqtkz/201907/P020190701762678052438.pdf>.
- [43] 李阳, 陈敏鹏. 中国农业源甲烷和氧化亚氮排放的影响因素[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(2): 710-717.
- [44] 肖娜, 张健恺, 田文寿, 等. 东亚地区氮氧化物排放对北半球 UTLS 区域臭氧和温度的影响[J]. *高原气象*, 2020, 39(2): 402-415.
- [45] SIAL T A, SHAHEEN S M, LAN Z L, et al. Addition of walnut shells biochar to alkaline arable soil caused contradictory effects on  $CO_2$  and  $N_2O$  emissions, nutrients availability, and enzymes activity [J]. *Chemosphere*, 2022, 293: 133476.
- [46] HE L L, XU Y X, LI J, et al. Biochar mitigated more N-related global warming potential in rice season than that in wheat



season: an investigation from ten-year biochar-amended rice-wheat cropping system of China [J]. Science of the Total Environment, 2022, 821: 153344.

[47] GINEBRA M, MUÑOZ C, CALVELO-PEREIRA R. Biochar impacts on soil chemical properties, greenhouse gas emissions and forage productivity: a field experiment [J]. Science of the Total Environment, 2022, 806: 150465.

[48] 徐建玲, 张颀, 聂苗青, 等. PEI 功能化秸秆生物炭对水中 Cr<sup>6+</sup> 的吸附性能 [J]. 高等学校化学学报, 2020, 41 (1): 155-161.

[49] HU A, LU Y H. The differential effects of ammonium and nitrate on methanotrophs in rice field soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 85: 31-38.

[50] HET T, YUN F, LIU T, et al. Differentiated mechanisms of biochar- and straw-induced greenhouse gas emissions in tobacco fields [J]. Applied Soil Ecology, 2021, 166: 103996.

[51] PUY L, ZHU B, DONG Z X, et al. Soil N<sub>2</sub>O and NO<sub>x</sub> emissions are directly linked with Ncycling enzymatic activities [J]. Applied Soil Ecology, 2019, 139: 15-24.

[52] HILBERI, BLUM F, LEIFELD J, et al. Quantitative determination of PAHs in biochar: a prerequisite to ensure its quality and safe application [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60 (12): 3042-3050.

## Research Hotspot and Trend Analysis of Farmland N<sub>2</sub>O Based on Bibliometric Method

ZHANG Di<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>1</sup>, LI Longwei<sup>2</sup>, ZHAO Shengnan<sup>1</sup>, TAN Xiao<sup>1</sup>, SUN Haoxiang<sup>1</sup>, WANG Yanjing<sup>1</sup>

(1. Institute of Rural Energy and Ecology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China; 2. Changchun Jingyuetan Reservoir Management Office, Changchun 130000, China)

**Abstract:** The nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission from farmland is one of the important emission sources of greenhouse gases. In order to further understand the research hotspots and trends in the field of farmland N<sub>2</sub>O, the research and review papers in the core collection data of Web of Science from 2014 to 2023 were analyzed. CiteSpace and HistCite were used to analyze the literature. Focused on the analysis of research hotspots, research institutions and development trends in the field of farmland N<sub>2</sub>O research. The results showed that in the past 10 years, farmland N<sub>2</sub>O research had a high degree of concern around the world, and the number of papers was increasing. The research force was mainly distributed in China, the United States and Germany. The research on farmland N<sub>2</sub>O focused on N<sub>2</sub>O generation and emission path, the impact of external environmental factors on farmland N<sub>2</sub>O emissions, and the inhibition of farmland N<sub>2</sub>O emissions. The highly cited literatures in this field mainly focused on soil greenhouse gas emissions and their impact on global warming potential. The results of keyword highlighting show that "nitrification inhibitor" "nitrogen cycle" "mitigation of greenhouse gas emissions" and so on were the current research focuses at home and abroad. Through sorting out and visual analysis of relevant literatures in the field of farmland N<sub>2</sub>O research in the Web of Science TM core collection database, the research focuses on the generation path and influencing factors. At present, the generation path of farmland N<sub>2</sub>O mostly concentrated in the simulation stage, and there were relatively few literatures that reveal the generation path of farmland N<sub>2</sub>O in situ. As one of the important greenhouse gases, N<sub>2</sub>O emission path and the environmental effects are relatively clear. The impact mechanism between some non major greenhouse gases and important greenhouse gases such as N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> should be further concerned.

**Keywords:** farmland; N<sub>2</sub>O; bibliometric analysis; visual analysis; research hotspots

欢迎关注本刊微信公众号

