

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.025

张惠妍, 李燕羽, 訾佳玉, 等. 基于 CiteSpace 的磷化氢研究热点可视化分析(2004—2023 年)[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 211-218.
ZHANG H Y, LI Y Y, ZI J Y, et al. Visualization analysis of research status and hot spots of phosphine based on CiteSpace (2004—2023)[J].
Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 211-218.

基于 CiteSpace 的磷化氢研究热点 可视化分析 (2004—2023 年)

张惠妍^{1,2}, 李燕羽²✉, 訾佳玉^{1,2}, 陈鑫², 崔鹏程²,
周桂明³, 陶海华³, 田小卫¹✉

(1. 天津农学院 园艺园林学院, 天津 300392;
2. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食储运研究所, 北京 100037;
3. 沧州渤海新区盛泰化工有限公司, 河北 沧州 061113)

摘要: 磷化氢在化学、材料科学、物理学及农业等研究领域都发挥着重要的作用, 广泛应用于半导体、塑料工业及储藏物熏蒸等方面。为系统梳理磷化氢各研究领域, 深入了解在农业领域的研究动态, 基于 Web of Science 核心合集数据库, 从年度发文量、关键词、作者及机构等维度, 利用 CiteSpace 完成文献计量分析。结果表明: 磷化氢研究的发文量总体呈现上升趋势, 研究主要分布在化学、材料科学等领域。在农业领域研究中, 美国、澳大利亚、中国、希腊和巴西占据主导地位。此外, 应重点关注《Journal of Stored Products Research》《Journal of Economic Entomology》和《Pest Management Science》期刊, 紧跟该领域的最新研究动态。在研究热点方面, 当前主要集中在磷化氢熏蒸手段的优化及磷化氢抗性机制的研究。RNA 干扰 (RNAi) 技术在磷化氢研究中的应用可能成为未来受关注的前沿热点之一。本次文献计量研究侧重于阐明磷化氢在农业领域的科研动态, 对当前的研究进行系统分析, 可供对该领域感兴趣的行业专业人士和研究人员使用。

关键词: 磷化氢; 文献计量学; 农业领域; 研究热点; CiteSpace

中图分类号: TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)06-0211-08

网络首发时间: 2024-11-11 11:58:18

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20241108.1800.004>

Visualization Analysis of Research Status and Hot Spots of Phosphine Based on CiteSpace (2004—2023)

ZHANG Hui-yan^{1,2}, LI Yan-yu²✉, ZI Jia-yu^{1,2}, CHEN Xin², CUI Peng-cheng²,
ZHOU Gui-ming³, TAO Hai-hua³, TIAN Xiao-wei¹✉

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China;
2. Institute of Grain Storage and Logistics, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration,

收稿日期: 2024-01-16

基金项目: 国家重点研发计划 (2023YFD1701200)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No.2023YFD1701200)

第一作者: 张惠妍, 女, 1999 年出生, 在读硕士生, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: 15303887174@163.com

通信作者: 田小卫, 男, 1976 年出生, 博士, 副教授, 研究方向为植物保护, E-mail: tianxiaowei@tjau.edu.cn

李燕羽, 女, 1980 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为生物科学, E-mail: lyy@ags.ac.cn

Beijing 100037, China; 3. Cangzhou Bohai New Area Shengtai Chemical Co., Ltd, Cangzhou, Hebei 061113, China)

Abstract: Phosphine plays an important role in chemistry, materials science, physics, agriculture and other fields, and is widely used in semiconductor, plastic industry and storage fumigation. In order to systematically sort out the research hotspots of phosphine and deeply understand the research trends in the field of agriculture, this paper has utilized the Web of Science Core Collection database and employed CiteSpace for bibliometric analysis from dimensions such as annual publication output, keywords, authors, and institutions. The results showed that the publication output on phosphine research generally exhibited an upward trend, with research mainly concentrated in fields like chemistry and materials science. In the agricultural field, the United States, Australia, China, Greece, and Brazil occupy leading positions. In addition, attention should be focused on ' *Journal of Stored Products Research* ', ' *Journal of Economic Entomology* ' and ' *Pest Management Science* ' to keep up with the latest research trends in this field. In terms of research hotspots, current efforts are primarily centered on optimizing phosphine fumigation methods and investigating mechanisms of phosphine resistance. The application of RNAi technology in phosphine research may become one of the frontier hotspots in the future. This bibliometric study has emphasized elucidating the research dynamics of phosphine in the agricultural field, providing a systematic analysis of current research that can be utilized by industry professionals and researchers interested in this domain.

Key words: phosphine; bibliometrics; agriculture field; research hotspot; CiteSpace

磷化氢在环境中以气体自由态和基质结合态两种形式存在,是自然界磷循环的重要物质形态和气相载体,与水环境^[1]、自然环境中的降解^[2]、工农业生产^[3-4]等密切相关。1988 年,Devai 等^[5]对露天污水处理厂的磷循环进行了研究,发现磷质量平衡存在一个赤字(≈30%~45%)。通过开发特殊的采样和气相色谱-质谱联用(GC/MS)分析方法,发现从污水处理厂和从浅层水域的沉积物中释放的气体中含有磷化氢。随后,在湖泊沉积物^[1]、海洋^[6]、稻田^[4]、盐碱湿地^[7]等环境中均检测到磷化氢,进一步证实磷化氢在大气、水圈和土壤中普遍存在。磷化氢广泛用于半导体^[8]、塑料工业^[9]以及储存谷物中的杀虫剂^[3]等领域。阅读磷化氢相关领域的综述性文章发现,目前系统总结磷化氢研究的文献多是定性的总结和整理分析,还没有文献计量学关于磷化氢在农业领域中的研究。

文献计量学根据总发文量、影响因子、总被引次数和其他一些参数来评估不同国家/地区、机构和作者的研究,在阐明特定领域或学科的发展历史、预测该领域未来的研究热点以及增进研究人员之间的交流方面起着至关重要的作用^[10]。CiteSpace 是一种分析科学文献的工具,通过创建

可视化模型来表示知识领域及其随时间的演变。利用 CiteSpace 对作者、期刊、参考文献进行共被引分析,并进一步构建关键词共现的时间轴视图,明确领域的兴起和发展时期^[11]。

本文从研究领域出发,归纳了磷化氢的各研究领域,采用文献计量分析和综述相结合的方法,有效直观地分析了过去 20 年间在农业领域热点动态,有助于指导该领域的学者对磷化氢在粮食储藏方面进行更深入、全面的研究。

1 实验方法

1.1 数据源

文献数据来源于 Web of Science 核心合集数据库,是研究领域最权威的科学出版物数据库^[12]。搜索主题词“phosphine”,检索与下载日期为 2024 年 3 月 5 日,文献类型包括研究型 and 综述性文章,时间段为 2004—2023 年,总文献数为 27 769 篇,其中农业领域共 549 篇。文献数据批量导出为纯文本格式文件,记录内容包括“全记录(作者、机构、摘要、关键词等)与引用的参考文献”。

1.2 参数设置

将农业领域文献导入 CiteSpace 软件,并剔除

重复文献,共 549 篇。CiteSpace 时间区间设定为 2004—2023 年,切片的年份设定为 1 或 4。为了突出网络重点,采用寻径网络方法 (Pathfinder network, PFNET),对网络中的连线进行裁剪,用于降低网络的密度及提高网络的可读性。

使用 Excel 及 CiteSpace 软件对磷化氢的研究进展及在农业领域的研究现状进行可视化分析,包括发文趋势、研究主体、热点和前沿四个维度,全面分析发文量、作者和机构的分布情况、关键词共现与聚类,以及突现词的探测。

2 结果与讨论

2.1 研究领域文献计量学分析

2.1.1 发文趋势量化分析

发文数量是专业领域发展的缩影。近 20 年磷

化氢在各研究领域共发表文献 27 769 篇,平均每年发表 1 388.45 篇。从年发文量来看,2004 年发文量最少 (977 篇),2015 年发文量最多 (1 541 篇)。对发文量的分布进行线性拟合,趋势线为 $Y = 25.466X + 1\,025.3$ 。这一发现表明,磷化氢研究的发文趋势总体呈现稳定上升的趋势 (图 1)。

2.1.2 研究领域分布情况

重点研究领域可以反映一个研究主题的主题集中度,从宏观角度可以了解该研究主题的研究方向^[13]。对磷化氢研究发文量排名前 10 的领域在 2004—2023 年进行分析可知:化学、材料科学和科学技术自 2004 年以后,发文量增速明显,且呈现逐年上升趋势;晶体学领域发文量逐年下降,而其他领域呈现波动平缓增长趋势 (图 2A)。

由图 2 可以发现,磷化氢涵盖了广泛的研究

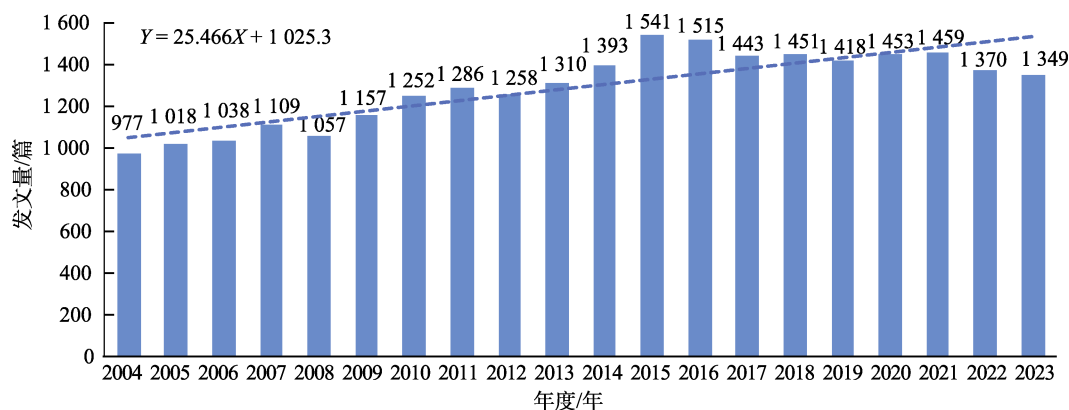
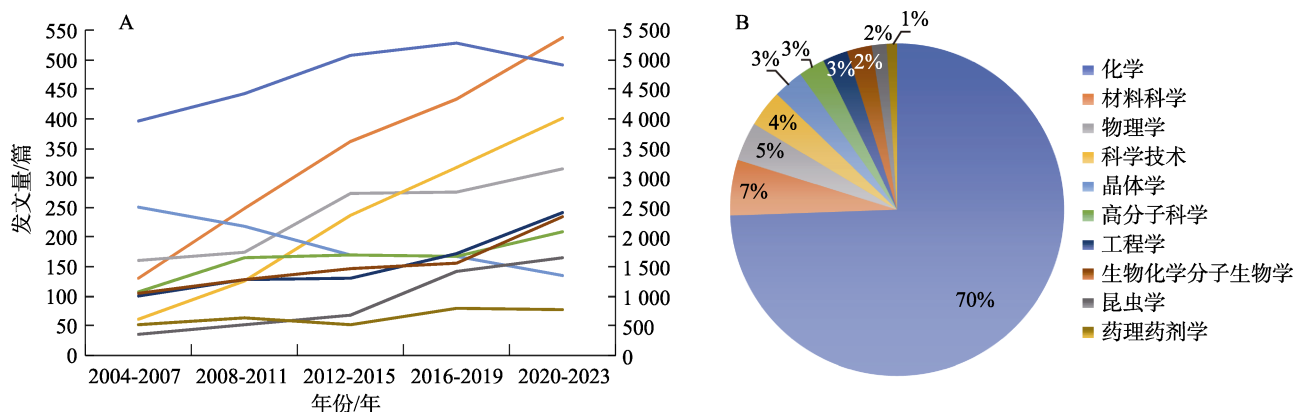


图 1 2004—2023 年磷化氢研究的年度发文量

Fig. 1 Number of annual publications from 2004 to 2023 related to phosphine research



注: A: 2004—2023 年文献产出量。化学研究领域显示于次坐标轴,其余研究领域显示在主坐标轴。B: 2004—2023 年磷化氢研究领域主要分布。

Note: A: Literature output from 2004 to 2023. The field of chemical research is shown on the sub-coordinate axis, and the remaining research fields are shown on the principal coordinate axis. B: The main research fields of phosphine are distributed from 2004 to 2023.

图 2 磷化氢研究领域分布概览

Fig. 2 Overview of research areas in phosphine studies

领域。它们主要集中在化学、材料科学、物理学、科学技术、晶体学、高分子科学、工程学、生物化学分子生物学、昆虫学和药理药剂学等领域(图 2 B)。约有 23 665 篇文献在“化学”,成为最常见的研究领域,涉及合成、无机及核化学等。“材料科学”领域有 1 710 篇,涉及纳米粒子、有机半导体等研究。多样化的研究领域向我们展示了磷化氢知识链中的不同参与角色。

2.2 农业领域文献计量分析

2.2.1 论文类型和发展趋势

年发文量可以直观地反映磷化氢在农业领域中应用的文献分布情况。被引次数是衡量文章影响力的关键指标,能够反映各研究机构对相关研究的接受和认可程度^[14]。图 3A 显示磷化氢在农业领域研究文献的时间分布,关于磷化氢共有 549 篇文献,包括 530 篇实验文章和 19 篇综述文章。年度趋势如图 3A 所示,文献发表数量稳定增长,关于磷化氢抗性的研究不断增加。

2.2.2 国家/区域和机构的分布情况

所有文献分布在 58 个国家/区域和机构中,美国的文献数量最高,有 148 篇,其次是澳大利亚(103 篇)、中国(63 篇)、希腊(57 篇)、巴西(44 篇)。2008 年以前,磷化氢农业综合方面的相关研究在各国较少,自 2008 年开始,该领域相关文献数量呈上升趋势,表明磷化氢在农业领域中的研究仍受到各国越来越多的关注(图 3B)。

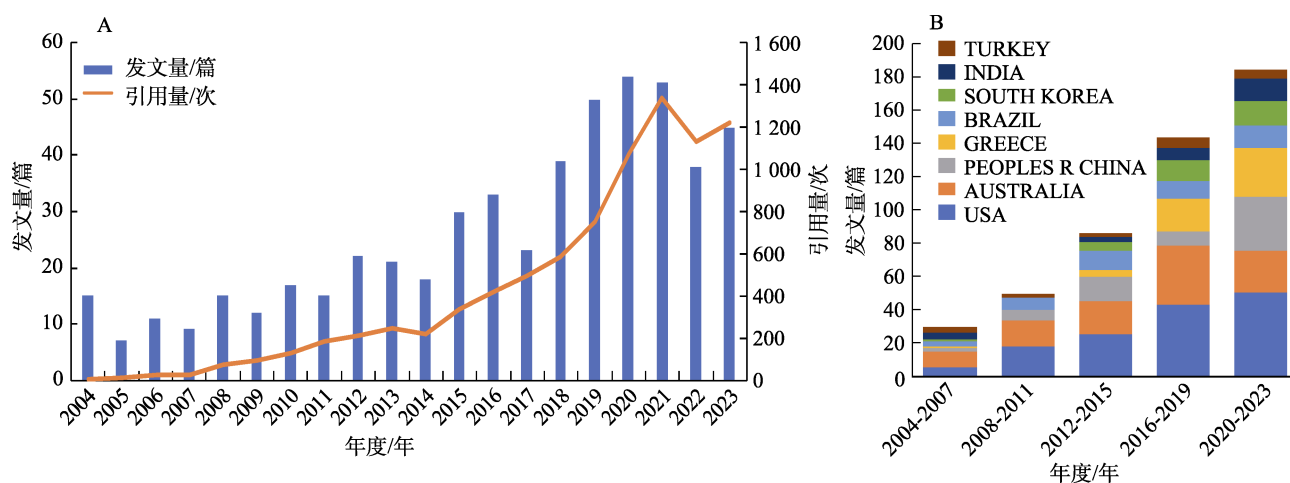
为了进一步分析国际合作情况,利用 CiteSpace 构建了网络可视化图谱。中介中心性(Betweenness centrality)是测度节点在网络中重要性的一个指标,中心性越高,节点的重要性越大。美国发文量领先,但中心性相对较低(0.07)。巴西为 0.64,排名第一(图 4A),表明巴西在农业综合研究领域全球合作网络中的“桥梁”作用。机构的协同性分析图 4B 所示。美国农业部以绝对领先的发文量(70 篇,美国)排名第一,其次是色萨利大学(53 篇,希腊)、堪萨斯州立大学(44 篇,美国),磷化氢主要研究机构来源丰富,可进一步加强国际交流合作。

2.2.3 发文的主要国际刊物

期刊分析有利于指导科研人员快速找到适合发表磷化氢相关论文的优质期刊。磷化氢研究文献发文量前十的期刊见表 1。《Journal of Stored Products Research》《Journal of Economic Entomology》和《Pest Management Science》是发表文章排名前三位的期刊。

2.2.4 作者及共被引作者分析

作者分析的目的是找出发文量最多的学者,并展示不同学者在研究中的合作关系。作者合作网络图谱中,共有 269 位作者为磷化氢在农业综合方面研究做出了贡献,其中发文量排名前 5 的作者是 Athanassiou CG(47 篇)、Nayak MK(29 篇)、Phillips TW(26 篇)、Daglish GJ(22 篇)

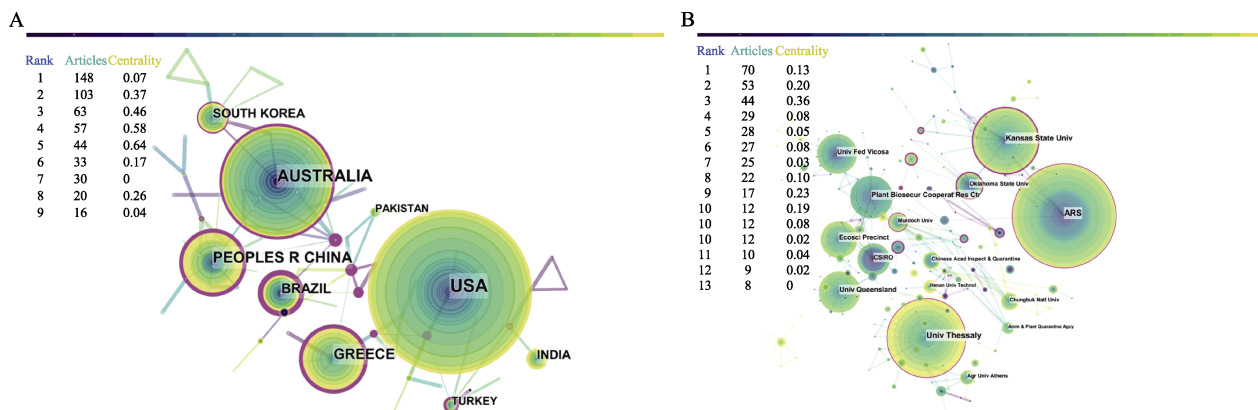


注: (A) 世界范围年发文量; (B) 发文前 8 国家/地区的文献数量和引用量。

Note: (A) Annual worldwide publication output; (B) The number and centrality of top 8 countries.

图 3 农业领域中磷化氢的文献发展趋势

Fig. 3 The development trend of phosphine literature in the field of agriculture field



注：(A) 国家/地区的合作分析；(B) 机构的协同性分析。

Note: (A) Cooperation analysis of countries / regions; (B) Synergetic analysis of institutions.

图 4 农业领域研究领域中磷化氢国际合作 Cite Space 网络可视化图谱分析

Fig. 4 CiteSpace network visualization map for international cooperation on phosphine in the field of agriculture field

表 1 磷化氢研究期刊 (TOP 10)

Table 1 Phosphine research journal (TOP 10)

序号	期刊	数量	影响因子
1	Journal of Stored Products Research	157	1.24
2	Journal of Economic Entomology	82	1.04
3	Pest Management Science	44	1.54
4	Insects	35	1.25
5	Journal of Pest Science	28	2.18
6	Pesticide Biochemistry and Physiology	22	1.53
7	Journal of Agricultural and Food Chemistry	13	1.39
8	Journal of Asia Pacific Entomology	11	0.67
9	Crop Protection	10	1.00
10	International Journal of Tropical Insect Science	9	0.50

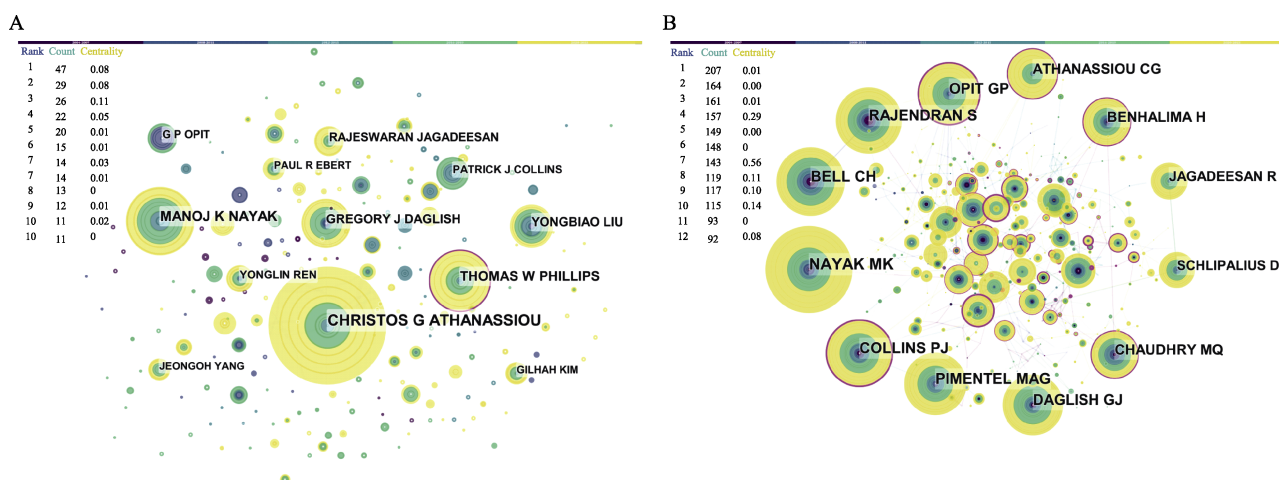
和 Liu YB (20 篇)。中介中心性最高的是 Phillips TW (中心性=0.11), 说明 Phillips TW 与其它研

究者合作发文十分紧密 (图 5A)。

共有 490 位被引作者为磷化氢在农业综合方面研究做出了贡献, 有 10 位作者被引用次数超过 100 次, 其中被引频次前 5 名的分别是 Nayak MK (207 次)、Bell CH(164 次)、Rajendran S (161 次)、Collins PJ (157 次) 和 Pimentel MAG(149 次) (图 5B)。结合图 5 的分析结果, Nayak MK、Athanassiou CG、Collins PJ 和 Daglish GJ 不仅是高产作者, 还是被引次数较多的作者。

2.2.5 研究热点

2.2.5.1 共现关键词的量化分析 通过分析文献的关键词共现网络, 可以探究关键词与特定学术领域研究热点的关联性^[15]。图 6A 为 CiteSpace 生成的关键词共现网络。每个节点代表一个关键词。

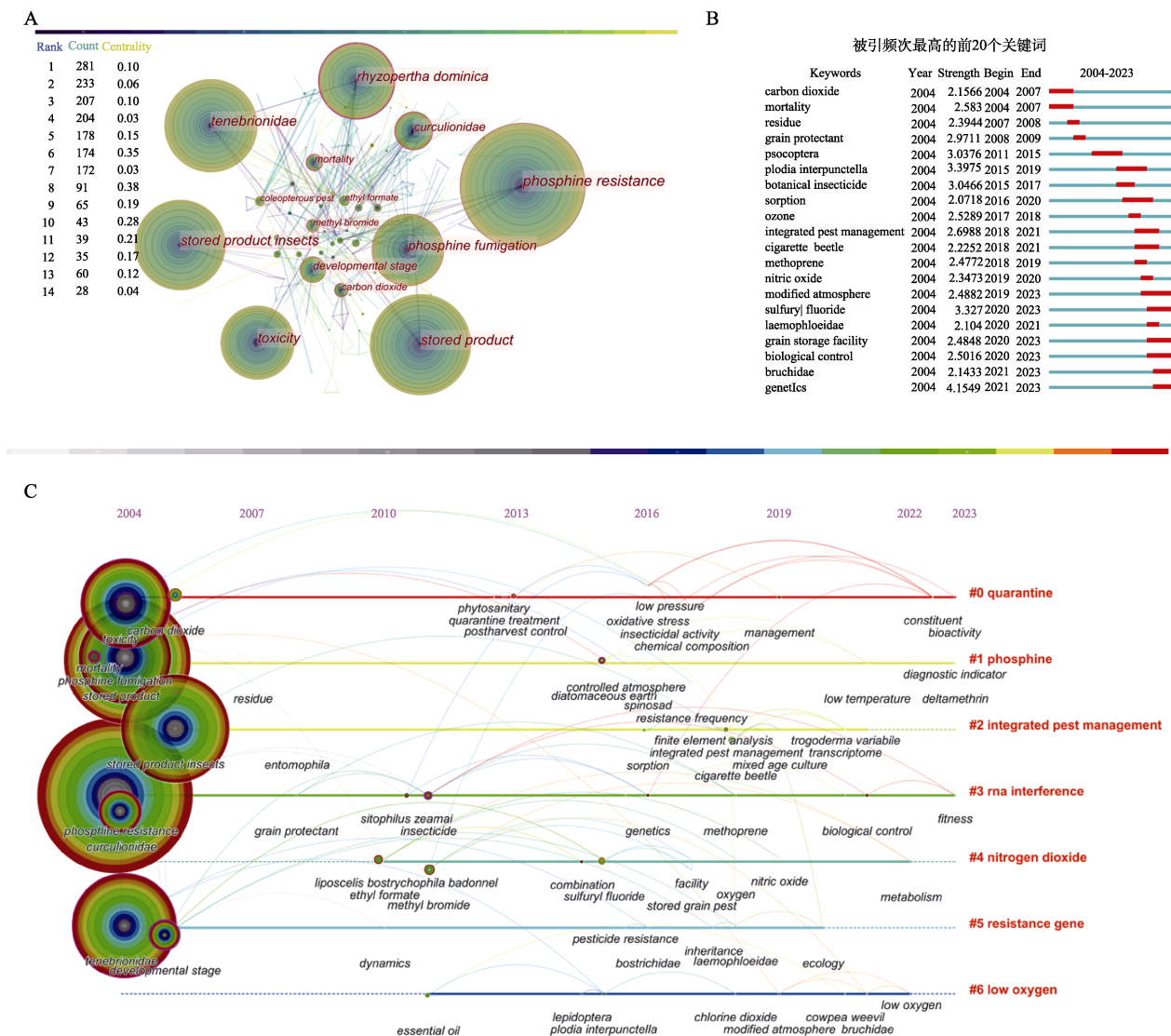


注：(A) 作者；(B) 共被引作者。

Note: (A) authors; (B) co-cited authors.

图 5 磷化氢相关文献的作者和共被引作者的 Cite Space 网络可视化图谱

Fig.5 CiteSpace network visualization map of authors and co-cited authors of the articles related to phosphine



注：(A) 共现关键词的 Cite Space 网络可视化图谱；(B) 被引频次最高的前 20 个关键词 (C) 时间线视图。

Note: (A) CiteSpace network visualization map of co-occurring keywords; (B) Top 20 Keywords with the Strongest Citation Bursts; (C) Timeline view.

图 6 关键词共现分析

Fig. 6 Analysis of keyword co-occurrence

节点越大，关键词出现的频率越高。图中最上方的色条表示年份变化。最早在左边，越往右看，年份越新。此外，节点中的不同颜色描述了关键词在不同时期的出现频率。因此，圆心的年份是最早的。中心性高的节点用粉紫色外环标记，以呈现关键词的重要性。phosphine resistance (磷化氢抗性) 是最高频的主题词，与 stored product insects (储粮害虫)、toxicity (毒性)、phosphine fumigation (磷化氢熏蒸)、stored product (储藏物) 等密切相关，表明了储粮害虫对磷化氢的抗性一直是农业领域关注的重点。在世界范围内，许多储粮害虫对常用杀虫剂产生了抗性^[16]，

主要储粮害虫出现磷化氢抗性的频率很高。与其它杀虫剂一样，害虫对磷化氢抗性是由基因控制且可遗传。其中二氢硫辛酰胺脱氢酶 (Dihydrolipoamide dehydrogenase, DLD) 突变、解毒能力增强及表皮结构和成分的改变是主要抗性机制^[17]。

共现分析中频次大于 30 的关键词有 12 个，词频和中心性较高的显著节点包括 phosphine fumigation (磷化氢熏蒸)、*Rhyzopertha dominica* (谷蠹)、curculionidae (象甲科)、developmental stage (发育阶段)、mortality (死亡率)、carbon dioxide (二氧化碳)、methyl bromide (溴甲烷)

等, 这些关键词反映了磷化氢在储粮害虫防治方面的主要防治对象和应用, 为下文研究主题的综述提供了参考。

为进一步研究磷化氢相关热点的知识结构, 探寻关键词的组合分类, 使用对数似然算法 (Log-likelihood ratio, LLR) 对高频关键词进行聚类, 采用 Timeline (时间线) 方法展示聚类分析结果 (图 6C)。关键词节点在时间轴上的位置显示了关键词首次出现的年份, CiteSpace 生成的关键词聚类标签显示在右侧。7 个聚类类别中, #0 检疫、#2 害虫综合治理、#4 二氧化氮、#6 低氧主要针对磷化氢熏蒸手段的优化; #1 磷化氢、#3 RNAi、#5 抗性基因主要致力于磷化氢抗性机制的研究。时间线展示了每个聚类中关键词的发展情况, 促进对该研究领域主题演化路径的理解^[18]。在过去的几十年里, 储粮对磷化氢的过度依赖, 使其使用面临越来越大的挑战。储粮害虫对磷化氢的全球抗性也在不断增加^[3]。这种抗性对磷化氢作为最经济实惠且广泛应用的熏蒸剂在熏蒸消毒储藏物方面的可持续性构成了严重威胁。为了预防或延缓储藏物害虫抗性种群的发展, 应当采取综合性的策略治理, 包括抗性检测、优化磷化氢熏蒸手段、替代熏蒸剂的战略使用等^[17]。

2.2.5.2 关键词突现分析 关键词突现是指一段时间内被频繁引用的关键词, 其可以探索某一领域的发展趋势^[19]。应用 CiteSpace 提取了前 20 个最具突破性的关键词 (图 6B), 其中, 青线代表整个时间段 (2004—2023 年), 红线代表某个关键词的突现持续时间。

早期阶段, 关键词 carbon dioxide (二氧化碳, 2004—2007) 和 mortality (死亡率, 2004—2007) 突现持续时间较长, residue (残留, 2007—2008) 及 grain protectant (谷物保护剂, 2008—2009) 体现该时期对磷化氢熏蒸效果及熏蒸后储藏物品研究较多。自 2011 年开始, ozone (臭氧, 2017—2018)、integrated pest management (虫害综合治理, 2018—2021)、methoprene (烯虫酯, 2018—2019) 及 nitric oxide (一氧化氮, 2019—2020) 等关键词增多, 对该领域进行探索的文章越来越多, 研究方法也不断变化。此外, 关键词 modified

atmosphere (气调)、sulfuryl fluoride (硫酰氟)、grain storage facility (储粮设施)、biological control (生物防治)、bruchidae (豆象科) 及 genetics (遗传学) 一直突现至今。该时期的关键词 genetics (遗传学) 突变强度最大, 为 4.154 9, 远超其余所有关键词。传统的抗性监测方法主要建立在生物测定之上, 为了更有效地筛选抗性变异, 近年来开始使用分子鉴定来筛选抗性变异^[20]。通过鉴定抗性基因, 可以筛选新的杀虫剂作用靶标, 为磷化氢抗性治理提供新的思路。RNAi 技术兼顾特异性和广谱性, 具有高效性、高生物安全性易推广的特点, 其可能成为未来受关注的前沿热点之一^[21]。如采用 RNAi 技术探究表皮相关基因 TcYellow-h 在赤拟谷盗磷化氢抗性形成过程中的功能, 进而证明了 TcYellow-h 与赤拟谷盗磷化氢抗性相关^[22]。

3 存在问题

作为首个磷化氢研究的文献计量学分析, 本研究存在一定的局限性。仅考虑综述、文章; 没有专利、摘要纳入分析。其次, 该研究选择英语作为纳入标准, 可能忽略了其他语言中一些有价值的文献。最后, 由于检索仅限于 Web of Science 核心合集的期刊, 未考虑该数据库未收录的文献。

4 结论

综上所述, 磷化氢研究主要集中在化学、材料科学、科学技术、物理学、工程学、生物化学、高分子科学、昆虫学等领域。通过文献计量学对农业领域的文献进行了深入剖析, 研究结果揭示了磷化氢目前仍是储粮害虫防治的研究重点, 美国、澳大利亚和中国在这一领域处于领先地位, 彰显了国家的学术影响力。近 20 年来在农业领域磷化氢研究受到众多研究者关注, 该领域的研究力量、内容逐渐增强。当前的研究主要集中在磷化氢熏蒸手段的优化及磷化氢抗性机制的研究。此外, 近年来开始使用分子鉴定来筛选抗性变异, 通过鉴定抗性基因, 可以筛选新的杀虫剂作用靶标, 为磷化氢抗性治理提供新的思路。RNAi 技术在磷化氢研究中的应用可能成为未来受关注的前沿热点之一。

参考文献:

- [1] GENG J J, NIU X J, JIN X X, et al. Simultaneous monitoring of phosphine and of phosphorus species in taihu lake sediments and phosphine emission from lake sediments[J]. Biogeochemistry, 2005, 76(2): 283-298.
- [2] MA J L, CHEN W Y, NIU X J, et al. The relationship between phosphine, methane, and ozone over paddy field in guangzhou, china[J]. Global Ecology and Conservation, 2019, 17: e00581.
- [3] NAYAK M K, DAGLISH G J, PHILLIPS T W, et al. Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective[J]. Annual Review of Entomology, 2020, 65(1): 333-350.
- [4] HAN S H, ZHUANG Y H, LIU J A, et al. Phosphorus cycling through phosphine in paddy fields[J]. Science of The Total Environment, 2000, 258(3): 195-203.
- [5] DÉVAI I, FELFÖLDY L, WITTNER I, et al. Detection of phosphine: New aspects of the phosphorus cycle in the hydrosphere[J]. Nature, 1988, 333(6171): 343-345.
- [6] HONG Y, GENG J, QIAO S, et al. Phosphorus fractions and matrix-bound phosphine in coastal surface sediments of the southwest yellow sea[J]. Journal of hazardous materials, 2010, 181(1): 556-564.
- [7] DEVAI I, DELAUNE R D. Evidence for phosphine production and emission from louisiana and florida marsh soils[J]. Organic Geochemistry, 1995, 23(3): 277-279.
- [8] WANG Y, LIU X H, WANG R B, et al. Secondary phosphine oxide functionalized gold clusters and their application in photoelectrocatalytic hydrogenation reactions[J]. Journal of the American Chemical Society, 2021, 143(25): 9595-9600.
- [9] BUCHON L, BECHT J M, RUBATAT L, et al. Towards safe phosphine oxides photoinitiators with good cytocompatibility for 3d printing of thermoplastics[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2023, 140(47): e54694.
- [10] HUANG T J, ZHONG W Y, LU C, et al. Visualized analysis of global studies on cervical spondylosis surgery: A bibliometric study based on web of science database and vosviewer[J]. Indian Journal of Orthopaedics, 2022, 56(6): 996-1010.
- [11] CHEN C M. Science mapping: A systematic review of the literature[J]. Journal of Data and Information Science, 2017, 2(2): 1-40.
- [12] LYU T Y, TIAN C X, TAN T Y, et al. Amp-activated protein kinase(ampk) channel: A global bibliometric analysis from 2012 to 2021[J]. Channels, 2022, 16(1): 60-71.
- [13] MENG H F, BAI G Z, WANG L W. Research trends and areas of focus on water rights: A bibliometric analysis 1971–2020[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(50): 75119-75133.
- [14] ZONG X Y, WEN L, WANG Y T, et al. Research progress of glucoamylase with industrial potential[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(7): e14099.
- [15] WANG C, KONG J Q, QI H Y. Areas of research focus and trends in the research on the application of vr in rehabilitation medicine[J]. Healthcare, 2023, 11(14): 2056.
- [16] PARKIN E A. The onset of insecticide resistance among field populations of stored-product insects[J]. Journal of Stored Products Research, 1965, 1(1): 3-8.
- [17] 张惠妍, 陈鑫, 张洪清, 等. 储粮害虫对磷化氢的抗性现状及综合管理策略[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 161-167.
- ZHANG H Y, CHEN X, ZHANG H Q, et al. Resistance of stored grain pests to phosphine and its integrated management strategy [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 161-167.
- [18] XU X M, FENG C. Mapping the knowledge domain of the evolution of emergy theory: A bibliometric approach[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(32): 43114-43142.
- [19] 余如霞, 姜婧, 王湫澄, 等. 人工智能在阿尔兹海默病临床诊疗中的研究热点及前沿趋势: 近 20 年文献计量学分析[J]. 中国全科医学: 1-9.
- YU R X, JIANG J, WANG Q C, et al. The hotspots and frontier trends of artificial intelligence in the clinical diagnosis and treatment of alzheimer's disease: bibliometric analysis of the past 20 years[J]. Chinese General Practice: 1-9.
- [20] JAGADEESAN R, SCHLIPALIUS D I, SINGARAYAN V T, et al. Unique genetic variants in dihydrolipoamide dehydrogenase (dld) gene confer strong resistance to phosphine in the rusty grain beetle, *cryptolestes ferrugineus* (stephens)[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2021, 171: 104717.
- [21] 王争艳, 张闪, 刘之源, 等. 磷化氢的毒理及害虫对磷化氢的抗性机制研究进展[J]. 昆虫学报, 2024, (3): 1-9.
- WANG Z Y, ZHAGN S, LIU Z Y, et al. Progress in mechanisms of phosphine toxicology and resistance in insect pests[J]. Acta Entomologica Sinica, 2024, (3): 1-9.
- [22] 陈二虎, 孟宏杰, 陈艳, 等. 表皮蛋白基因 tccp14.6 和 tclcpa3a 参与介导赤拟谷盗对磷化氢的抗性形成[J]. 中国农业科学, 2022, 55(11): 2150-2160.
- CHEN E H, MENG H J, CHEN Y, et al. Cuticle protein genes TcCP14.6 and TcLCPA3A are involved in phosphine resistance of *Tribolium castaneum*[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(11): 2150-2160. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。