

基于CiteSpace的中国农田土壤重金属研究热点演化分析

周正鑫, 郑朴之, 魏安妮, 王松良*

福建农林大学农学院, 福建 福州

收稿日期: 2025年7月1日; 录用日期: 2025年7月27日; 发布日期: 2025年8月5日

摘要

随着工业化、城市化和农业集约化的加速, 农田土壤重金属污染已成为威胁全球粮食安全和生态安全的重大环境问题。为研究农田土壤重金属的研究热点及演变情况, 研究人员检索了2005年1月1日至2025年4月25日在中国知网(CNKI)上发表的相关文献, 并使用CiteSpace对收集到的文献进行可视化分析, 绘制知识图谱以揭示研究热点的变化模式和发展趋势。基于绘制的图谱, 他们进一步探究了核心作者和机构、关键词演变路径等。结果表明, 自2005年以来, 关于农田土壤重金属的研究数量显著增加, 形成了“重金属”、“农田土壤”、“污染评估”等热门关键词, 反映出研究热度与国家粮食安全战略以及农业用地污染风险管理需求之间的紧密联系。其中, 核心研究力量集中在诸如中国科学院大学、中国环境科学研究院以及部分高校等机构。关键词聚类也表明, 有关“风险评估”、“土壤污染”和“重金属污染”的研究较多, 研究重点已逐渐从最初的分析评估转向对重金属污染的深入研究, 不断细化环境研究。然而, 当前研究仍存在不足: 一是重金属阈值体系尚不完善; 二是技术应用仍局限于小规模实验。因此, 未来有必要加强跨学科融合, 将人工智能融入地理信息系统技术, 构建“风险预警-精准修复-标准制定”的全链条防治体系, 以支撑国家土壤安全和农业可持续发展, 并增强技术支撑。

关键词

农田土壤, 重金属污染, CiteSpace, 污染评价, 国家土壤安全

Evolutionary Analysis of Research Hotspots on Heavy Metals in Farmland Soil in China Based on CiteSpace

Zhengxin Zhou, Puzhi Zheng, Anni Wei, Songliang Wang*

College of Agriculture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian

Received: Jul. 1st, 2025; accepted: Jul. 27th, 2025; published: Aug. 5th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 周正鑫, 郑朴之, 魏安妮, 王松良. 基于 CiteSpace 的中国农田土壤重金属研究热点演化分析[J]. 可持续发展, 2025, 15(8): 62-71. DOI: 10.12677/sd.2025.158222

Abstract

With the acceleration of industrialization, urbanization and agricultural intensification, heavy metal pollution in farmland soil has become a major environmental problem threatening global food security and ecological security. To study the research hotspots and evolution of heavy metals in farmland soil, researchers retrieved relevant literature published on China National Knowledge Infrastructure (CNKI) from January 1, 2005 to April 25, 2025, and conducted a visual analysis of the collected literature using CiteSpace. Draw a knowledge graph to reveal the changing patterns and development trends of research hotspots. Based on the drawn map, they further explored the core authors and institutions, the evolution paths of keywords, etc. The results show that since 2005, the number of studies on heavy metals in farmland soil has significantly increased, forming popular keywords such as “heavy metals”, “farmland soil”, and “pollution assessment”, reflecting the close connection between research popularity and the national food security strategy as well as the demand for agricultural land pollution risk management. Among them, the core research forces are concentrated in institutions such as the University of Chinese Academy of Sciences, the Chinese Research Academy of Environmental Sciences, and some universities. Keyword clustering also indicates that there are more studies on “risk assessment”, “soil pollution” and “heavy metal pollution”. The research focus has gradually shifted from the initial analysis and assessment to in-depth research on heavy metal pollution, continuously refining environmental research. However, the current research still has deficiencies: First, the threshold system for heavy metals is not yet perfect; Second, the application of technology is still limited to small-scale experiments. Therefore, in the future, it is necessary to enhance interdisciplinary integration, incorporate artificial intelligence into geographic information system technology, and build a full-chain prevention and control system of “risk early warning-precise remediation-standard setting” to support national soil security and sustainable agricultural development, and enhance technical support.

Keywords

Farmland Soil, Heavy Metal Pollution, CiteSpace, Pollution Assessment, National Soil Security

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国作为世界农业大国，耕地资源紧缺与土壤污染问题交织叠加，粮食生产安全与可持续生产上存在的问题尤其严重[1]。根据 2025 年《全国土壤污染状况调查报告》，全国遭受重金属污染的土地面积较大，且涉及不同利用类型的土地[2]。耕地、林地、草地等不同利用类型的土地均受到不同程度的影响。研究表明重金属污染是土壤污染的主要类型，镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)、砷(As)、铜(Cu)、铬(Cr)和锌(Zn)等重金属污染较为普遍，其中镉和汞的污染程度最高[3]。2014 年《全国土壤污染状况调查公报》显示，我国耕地土壤重金属点位超标率为 19.4%，其中镉、镍、砷、铜、汞、铅的超标率分别为 7.0%、4.8%、2.7%、2.1%、1.6%、1.5% [4]。农田土壤重金属污染不仅影响农作物的产量和品质，还可能通过食物链影响居民健康。因此，加强土壤重金属污染的监测预警、污染源控制和生态修复是很重要，也很有实际价值的研究。

CiteSpace 是一个基于 Java 语言的文献计量和可视化分析工具，主要用于科学文献数据的分析和可视

化。其核心功能包括共被引分析、共现分析、协同网络分析、话题演变分析、突发检测等。通过这些功能, CiteSpace 可以将文献数据转化为科学知识图谱, 帮助科研人员发现各自研究领域的热点、趋势和协作网络。此外, CiteSpace 支持从 Web of Science、CNKI、Scopus 等数据库导入数据, 并提供集群视图、时区视图、时间轴视图等可视化选项, 直观显示文献的分布和演变过程。在实际应用中, CiteSpace 广泛应用于学术研究、文献管理、教育培训等领域, 帮助科研人员更好地了解和探索科学文献的知识结构和发展趋势[4]-[6]。

本研究基于中国知网(CNKI), 使用 CiteSpace 6.3 R1。利用软件对 2005~2025 年农田土壤重金属的相关文献进行可视化分析。获取近 20 年来农田土壤重金属污染研究领域的核心文献, 进行直观分析。系统揭示研究热点的时空演化规律和知识结构特征, 为今后的研究布局提供科学依据。

2. 数据来源与数据处理

2.1. 数据来源

本研究数据来源于国内权威数据平台中国知网(CNKI), 通过检索关键词“中国农田土壤重金属”、“农田土壤重金属”、“重金属”得到 850 篇学术期刊论文, 刷选 2005~2025 年的相关论文得到 844 篇有效论文。利用 CiteSpace 6.3.R1 软件进行去重, 最终得到 836 篇有效论文, 检索的时间跨度为 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日。

2.2. 数据处理

在中国知网(CNKI)检索主题词“中国农田土壤重金属”的中文文献(如 2005~2025), 导出文献数据(标题、作者、关键词、摘要等)。数据清洗: 删除非研究性文献, 规范关键词(合并“Cd/镉”等同义词), 统一机构名称。清理后的数据导入到 CiteSpace 软件中。在 CiteSpace 中设置相关参数(时间为 1 年), 分别构建关键词、机构、作者共现网络。利用 Pathfinder 算法对网络进行裁剪, 通过关键词共现分析确定核心研究课题[7]。使用 Burst Detection 跟踪热点的变化[8]; 采用对数似然比(Log-Likelihood Ratio, LLR)算法进行聚类分析, 并对主题聚类进行标记, 识别不同阶段的研究重点[9]。结合关键词中心性和时区视图, 可视化研究热点的演变路径和趋势[10]。综合分析共现、聚类、突现及时序结果, 揭示中国农田土壤重金属研究热点的动态演化规律。该方法体系兼顾软件规范性与领域特殊性, 为解析中国农田重金属研究的知识演进提供量化支撑。

3. 结果

3.1. 发文趋势

2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日发表的关于“中国土壤重金属”中文文献年度发文量见图 1。中国农田土壤重金属相关研究的发文量呈现显著的阶段性增长特征。2005~2010 年为缓慢探索期, 年均发文量不足 20 篇。2011 年开始至 2014 年, 研究进入了高速增长期, 年均发文跃升至 51 篇以上。2015 年至 2019 年, 年度发文量还在持续上升, 达到了新高峰 86 篇。从 2019~2020 年开始出现了阶段性的下降, 2020~2022 年也只平稳地从 72 篇上升至 76 篇, 发文量增长较为缓慢。在 2022 年以后, 发文量逐年下滑仅在 2024 年, 发文量为 22 篇, 仅仅是 2019 年发文量的四分之一左右。2025 年由于文献仅能检索到 2025 年 4 月 25 日的文献, 发文量只有 11 篇。从总体来看, 中国土壤重金属研究发文量呈三阶段表现: 缓慢探索期 - 高速增长期 - 持续下滑期。从总体上看, 近几年对于中国农田土壤重金属污染的热度在持续下降, 未来需要调整符合国家土壤治理的战略需求, 使更多的研究者能投入对于农田土壤的治理研究中。

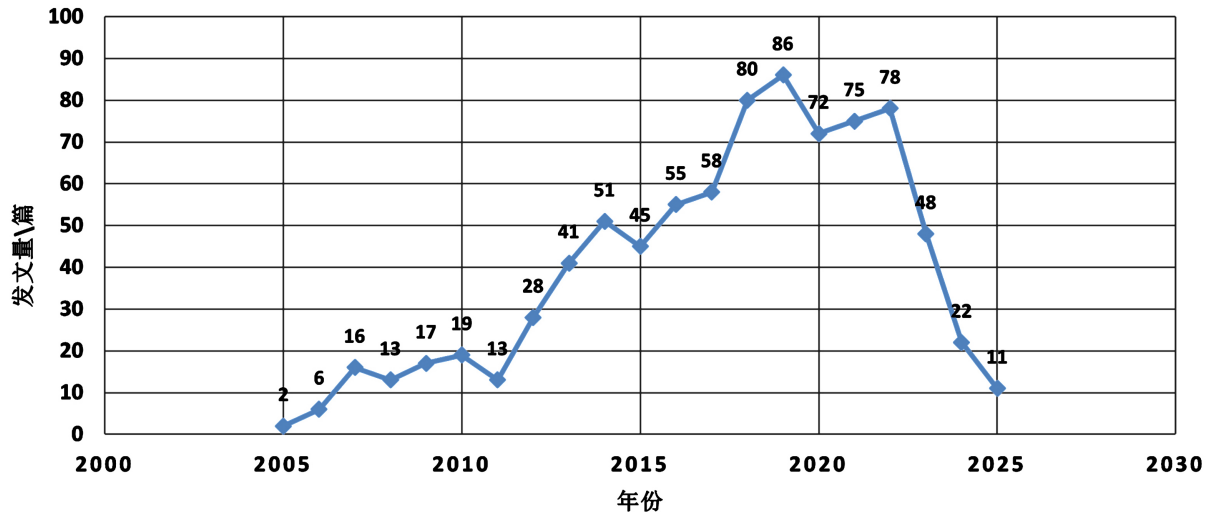


Figure 1. Distribution of annual publications on heavy metals in soils in China from January 1, 2005 to April 25, 2025
图 1. 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日关于中国土壤重金属研究年度发文量分布

3.2. CNKI 中国农田土壤重金属的研究

3.2.1. 作者

利用 CiteSpace 软件对 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日的作者数据进行分析,得到如图 2 所示。作者的节点数量为 $N = 253$, 各个节点的连接数量 $E = 348$, $Density = 0.0109$ 。从这些数据可以知道, 纳入合作网络图的作者有 253 位, 各作者之间合作关系有 348 个, 构成了网络密度为 0.0109 的作者合作可视化图谱。



Figure 2. Co-occurrence map of authors who published research papers on heavy metals in Chinese soils from January 1, 2005 to April 25, 2025
图 2. 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日关于中国土壤重金属研究发文作者共现图谱

由表 1 可知发文量为 5 篇以上的作者有 15 人。核心作者发文数量大于等于 3 篇的为 51 人，一共发表了 220 篇，约占文献总数的 26.32%。本研究基于普莱斯定律(Price's Law)对中国农田土壤重金属领域的高产作者分布进行分析。定律指出，核心作者数量约等于全部作者总数的平方根，且其发文量应占文献总量的 50%。由于数据小于 50%，未能满足普莱斯定律中核心作者群主导研究的成熟标准，所以该领域核心作者群体尚未成熟[11]。根据图 2 可知发文作者形成了以艾则孜·麦麦提吐尔逊(10 篇)、徐友宁(9 篇)、买买提·艾尼瓦尔(8 篇)等为代表的研究团队。然而，随着时间推移，新作者陆续加入，核心作者群也在动态演化，反映出领域研究热点的扩散与传承并存，整体呈现“核心引领、多元参与”的阶段性特征。在未来也还需更多核心作者的加入，为中国农田土壤重金属的研究提供更大的动力。

Table 1. Authors who have published more than five papers on the research of heavy metals in Chinese soil from January 1, 2005 to April 25, 2025

表 1. 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日关于中国土壤重金属研究发文 5 篇以上作者

序号	发文量	作者
1	10	艾则孜·麦麦提吐尔逊
2	9	徐友宁
3	8	买买提·艾尼瓦尔
4	8	马木提·阿吉古丽
5	8	黄标
6	6	刘毅刚
7	6	安玉琴
8	6	何立环
9	6	王业耀
10	6	陆泗进
11	6	张江华
12	5	胡明
13	5	李发生
14	5	刘瑞平
15	5	胡文友

3.2.2. 机构

通过对发文机构进行可视化分析，得到图 3 的知识图谱。通过普莱斯定律分析发现，中国农田土壤重金属研究领域形成了显著的核心机构群。由图 3 可知参与发文大于等于 3 篇的核心机构有 38 个，一共发表 206 篇文章，占文献总数的 51.37%。由表 2 可知发文量前 8 名的机构中，以中国科学院大学(27 篇)、中国环境科学研究院(12 篇)、新疆师范大学地理科学与旅游学院(10 篇)等多家发文机构为核心，其数量仅占参与机构总数的约 22.89%(符合平方根比例)，但贡献了超过 51%的总发文量，充分印证了核心机构的主导地位。例如，2012~2025 年，中国科学院大学在农业环境科学学报等多个期刊上发表了共计 66 篇论文，调查了吉林省、华北地区等地的农田土壤重金属污染情况，为全国重金属污染情况的明晰做出了很大的贡献[12][13]。这些机构不仅是高产主体，更是研究网络的核心枢纽。核心机构持续引领领域知识创新，主导了从早期污染调查到健康风险预警、绿色修复等前沿议题的演化路径，并通过人才流动与项目合作深刻影响了全国研究格局的演变。

CiteSpace v. 5.10.R (64-bit)
Date: 10/20/2025, 12:54:58 PM CST
L1: 0.1, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821, L2: 0.1, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821
Resolution: 0.001, Modularity (M): 0.9821, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821
Number of Nodes: 271, Number of Edges: 312, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821
Centrality: 0.001, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821
Pruning: Pathfinder, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821
Centrality: 0.001, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821
Centrality: 0.001, Weighted Mean Silhouette (Q): 0.9821

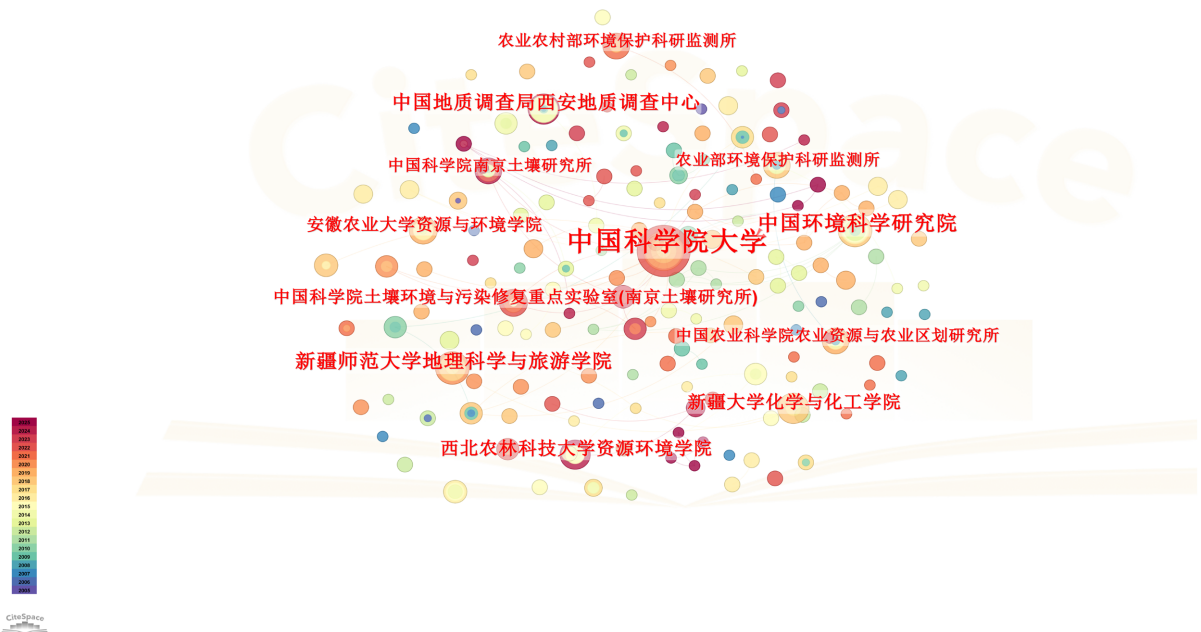


Figure 3. Co-occurrence map of institutions publishing research on heavy metals in soils in China from January 1, 2005 to April 25, 2025

图 3. 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日关于中国土壤重金属研究发文机构共现图谱

Table 2. The top 8 institutions in terms of the number of research papers on heavy metals in Chinese soil from January 1, 2005 to April 25, 2025

表 2. 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日关于中国土壤重金属研究发文量前 8 的机构

序号	数量	年份	机构
1	27	2012	中国环境科学研究院
2	12	2010	中国环境科学研究院
3	10	2017	新疆师范大学地理科学与旅游学院
4	9	2007	中国地质调查局西安地质调查中心
5	8	2014	西北农林科技大学资源环境学院
6	8	2017	新疆大学化学与化工学院
7	7	2015	中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所)
8	7	2013	安徽农业大学资源与环境学院

3.2.3. 关键词

基于 CiteSpace 软件的关键词共现分析显示,中国农田土壤重金属研究领域形成了高度协同的知识网络。绘制出 $N = 271$, $E = 312$ ($Density = 0.0085$) 的关键词共线图谱如图 4 所示。根据关键词共现的频率进行排序统计,对排前十的频率得出表 3。中心性靠前的关键词是“污染”(46 次, $Centrality = 0.76$) 其次是“来源”(13 次, $Centrality = 0.71$) 和“农田污染”(309 次, $Centrality = 0.63$), 这些词形成显著共现关系(中介中心性 > 0.1), 证实基础数据积累对治理决策的支撑作用[14]。

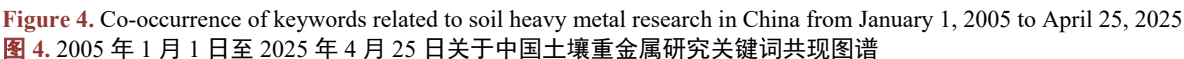
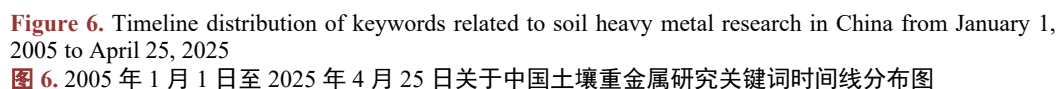
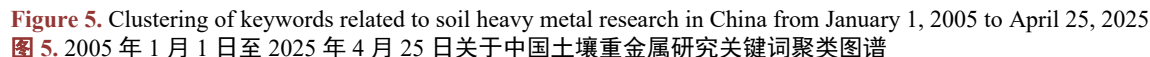


表 3. 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日关于中国土壤重金属研究共现频率前 10 的关键词

在对关键词进行共现分析的基础上对中国土壤重金属研究文献的关键词聚类分析,利用 log likelihood ratio (LLR)算法对该领域形成了 13 个特征鲜明的主题群如图 5 所示。其中 LLR 越大的关键词,就越具有代表性。[15]由图中可知 Modularity $Q = 0.8465 > 0.7$, 因此表面聚类结构的相关结果较为可靠。将这 13 个主题群绘制出时间线视图如图 6 所示。从时间视图中可知,同一条时间线上从左至由年份越接近现代,其中的关键词越多,就代表对该聚类领域的研究种类越多[16]。结合图 5 和图 6 可知,对土壤的相关研究



对关键词进行突现分析制作出图 7，从图中可知有 5 个突现词，其中“评价”持续的时间最长，2013 年开始出现“含量”的突现词，紧随其后的突现词为“风险评价”、“来源解析”、“源解析”。这些现象表明，最开始的研究只是对农田重金属污染的评价分析。由于研究的深入，开始对农田土壤重金属的含量进行测定分析。在研究的不断积累下，开始对农田土壤重金属的来源进行解析。整体的演化过程为风险评价 - 含量测定 - 来源分析的不断深入，对污染治理探索的阶段性深化。

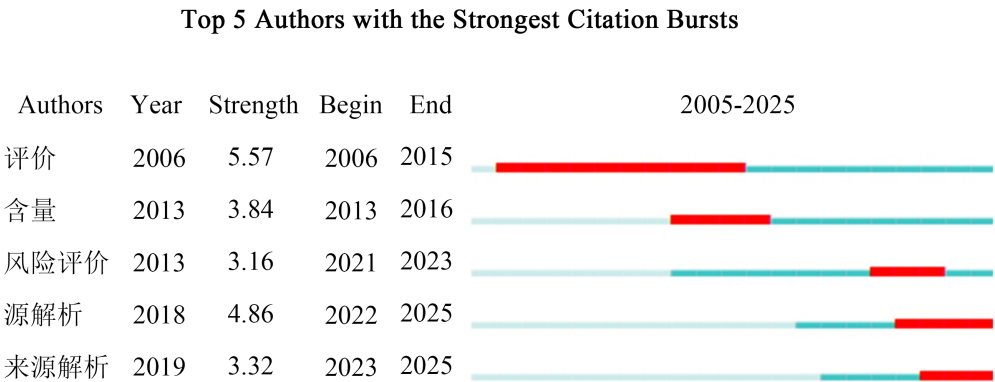


Figure 7. Keyword bursts in China’s soil heavy metal research from January 1, 2005 to April 25, 2025
图 7. 2005 年 1 月 1 日至 2025 年 4 月 25 日关于中国土壤重金属研究关键词突现图谱

4. 结论与展望

- 1) 从发文趋势来看，从 2005 年发文量开始出现缓慢的增长趋势，此阶段属于起步状态，这可能由于此时的政策关注度不足，但是由于 2005 年《全国土壤状况调查》启动后[18]，促进了研究者对于该领域的研究，同时促进了这几年的发文量。2022 年发文量开始出现持续下降的趋势，其可能主要源于政策阶段性转向，技术转化瓶颈及数据更新周期的三重影响。总的来说，发文趋势的变动是研究范式升级的一个结构性调整。接下来随着 2023 年土壤普查数据的释放以及“十四五”修复工程全面铺开，研究重点转向精准防控模型构建、智慧监管技术开发等新领域，预计 2024 年后的发文量能得到回升[19]。
- 2) 基于 CiteSpace 知识图谱对发文作者和发文机构进行分析，当前中国农田土壤重金属研究领域呈现“高校主导，院所协调”的特征。分析可知发文作最多的作者的发文量主要集中在近几年，主要由于各项政策对于科研的支持，为科研者提供了更多的机会和空间。发文量核心机构主要集中在中国科学院大学、中国环境科学研究院等优势研究高校和国家级科研院所，但是跨区域、跨学科实质性合作网络比较稀少。但是科研人员和机构还需深化环境、信息、材料学科融合，实现“实验室 - 农田”技术闭环，守护耕地安全。
- 3) 利用图谱对关键词的深入分析显示，该领域已形成稳定且紧密关联的核心知识群，以“重金属”“土壤污染”“污染评价”“土壤修复”等高频关键词共同勾勒出“污染识别 - 风险评估 - 修复探索”三位一体的系统性研究框架。关键词突现的时序变化则生动刻画了研究热点的阶段性跃迁。这些关键词的持续突现，深刻揭示了镉、砷污染与粮食安全问题的长期核心地位[20]。同时国家需强化政策适配性研究，在“耕地质量保护”和“碳中和”国家战略框架下，推动研究成果向防控政策与技术标准的高效转化[21]。
- 总体而言，该领域已形成从问题识别到风险管控再到技术研发的完整链条，未来应进一步拓展系统边界、融合前沿技术，实现从污染治理到安全利用的范式升级，为保障国家粮食安全与生态文明建设提供坚实科技支撑。

基金项目

福建省科技厅引导性项目“闽江流域稻田重金属生态风险评价、污染源解析与平衡管理”(编号: KJY24009XA)。

参考文献

- [1] 左秀平, 叶林祥, 高国生. “中国碗装中国粮”的理论逻辑、科学内蕴及实践路径[J]. 南开经济研究, 2024(12): 22-35.
- [2] 姬慧, 赵红润, 银超慧, 等. 中国农用地土壤重金属污染分区管治研究[J]. 农学学报, 2025, 15(5): 62-71.
- [3] 罗庆睿, 刘嫦娥, 赵奕乔, 等. 土壤重金属污染的生物修复机制研究进展[J]. 环境生态学, 2025, 7(4): 87-96.
- [4] 王章凯, 张立航, 冯衍, 等. 基于文献计量的土壤重金属污染微生物修复研究现状分析[J]. 生态毒理学报, 2025, 20(1): 356-372.
- [5] 符航, 谭国华, 刘玮, 等. 基于 CiteSpace 和 VOSviewer 软件的城市土壤食物网研究趋势分析[J]. 生物灾害科学, 2025, 48(1): 51-65.
- [6] 李慧, 赵娅茹, 魏佳媛, 等. 草地生态系统固碳功能研究现状——基于文献计量分析[J]. 中国草地学报, 2025, 47(3): 121-135.
- [7] 吴贺, 蔚霖, 刘昊, 等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别及策略: 以河南省为例[J/OL]. 环境科学: 1-17. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202412076>, 2025-06-29.
- [8] 李芷萱, 向云, 陆倩. 农业经济高质量发展领域研究进展、热点与展望——基于 CiteSpace 可视化分析[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(7): 106-115.
- [9] 沈良英, 王福军, 刘彦培, 等. 基于文献计量的白三叶草栽培技术[J]. 草业科学, 2023, 40(4): 1027-1038.
- [10] 李璐, 段存存, 龚逸伟, 等. 城市生态环境风险评估方法与模型研究进展[J/OL]. 中国环境科学: 1-13. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20250220.002>, 2025-06-29.
- [11] 常瑞雪, 王琳瑛, 王光玉. 中国森林康养研究现状及展望——基于 Cite Space 分析 Basedon Cite Space Analysis[J]. 现代农业研究, 2025, 31(4): 76-85.
- [12] 崔政武, 王洋, 于锐, 等. 吉林省农田长期施用猪粪的土壤—玉米重金属含量特征及健康风险[J]. 土壤与作物, 2022, 11(4): 470-481.
- [13] 刘进, 潘月鹏, 师华定. 华北地区农田土壤镉来源及大气沉降的贡献[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(8): 1698-1708.
- [14] 陈贵, 范巧红, 苏凯, 等. 我国农业现代化研究热点与趋势分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(5): 877-895.
- [15] 杨笑萌, 刘操, 任少东. 基于文献计量学的重金属生态风险评估研究进展[J]. 绿色科技, 2025, 27(2): 213-219.
- [16] 夏威夷, 王清威, 王占生, 宋权威, 杜显元, 贺美. 化学表面活性剂性能综合评价及其淋洗石油烃污染土壤条件优化研究[J]. 生态科学, 2025, 44(3): 254-264.
- [17] 王子麒, 陈军民, 张雪丽. 农田土壤重金属污染研究进展与展望——基于 CiteSpace 和 VOSviewer[J]. 应用化工, 2025, 54(4): 1054-1060, 1066.
- [18] 罗晓萌, 钱建财, 王锴, 等. 低分子量有机酸在植物修复土壤重金属污染中的作用研究进展[J]. 山东农业科学, 2025, 57(5): 171-180.
- [19] 易诗懿, 刘睿, 李笑诺, 等. 基于“双修”和“双碳”背景的城市棕地再生价值核算[J]. 环境保护科学, 2025, 51(2): 130-139.
- [20] 黄泉鑫, 蒋珍茂, 木志坚, 等. 渝西典型区域稻田土壤-水稻系统重金属污染评价与关键制约因子分析[J/OL]. 环境科学: 1-30. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202501066>, 2025-06-29.
- [21] 杜国明, 李升生, 卢汇川. 农户耕地轮作决策的前因条件与组态路径[J]. 东北农业大学学报(社会科学版), 2025, 23(2): 64-73.