

# 基于CiteSpace的水稻降镉技术的研究现状和发展趋势预测

谢荣欣<sup>1</sup>, 舒伍星<sup>2</sup>, 施颖<sup>2</sup>, 陈建萍<sup>2</sup>, 姜亚楠<sup>3</sup>, 薛丹晨<sup>1</sup>

<sup>1</sup>安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

<sup>2</sup>鹰潭市余江区农业农村局, 江西 鹰潭

<sup>3</sup>江西洁地环境治理生态科技有限公司, 江西 鹰潭

收稿日期: 2023年5月2日; 录用日期: 2023年6月1日; 发布日期: 2023年6月9日

## 摘要

近年来, 随着工业化和城市化进程加快, 我国耕地受重金属污染严重, 而作为我国重要的粮食作物之一的水稻, 对重金属镉的富集能力较强, 受污染风险较大, 严重威胁我国粮食安全, 其治理迫在眉睫。该研究利用CNKI中国知网数据为样本, 利用CiteSpace6.1.R6软件对水稻重金属镉污染降镉技术进行了可视化分析, 明确了该领域的当前的研究现状以及热点方向和趋势, 并为进一步研究提供了参考。

## 关键词

水稻, 镉, CiteSpace, 可视化分析

# Research Status and Development Trend Prediction of Rice Heavy Metal Cadmium Pollution Reduction Technology Based on CiteSpace

Rongxin Xie<sup>1</sup>, Wuxing Shu<sup>2</sup>, Ying Shi<sup>2</sup>, Jianping Chen<sup>2</sup>, Yanan Jiang<sup>3</sup>, Danchen Xue<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

<sup>2</sup>Yingtian Yujiang District Agriculture, Rural and Grain Bureau, Yingtian Jiangxi

<sup>3</sup>Jiangxi Jiedi Environmental Treatment & Ecological Technology Co., Ltd., Yingtian Jiangxi

Received: May 2<sup>nd</sup>, 2023; accepted: Jun. 1<sup>st</sup>, 2023; published: Jun. 9<sup>th</sup>, 2023

文章引用: 谢荣欣, 舒伍星, 施颖, 陈建萍, 姜亚楠, 薛丹晨. 基于 CiteSpace 的水稻降镉技术的研究现状和发展趋势预测[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(3): 513-521. DOI: 10.12677/aep.2023.133064

## Abstract

In recent years, with the acceleration of industrialization and urbanization, China's arable land is seriously polluted by heavy metals. As one of the important food crops in China, rice has a strong ability to accumulate heavy metal cadmium, posing a significant risk of pollution, posing a serious threat to Chinese food security, and its governance is imminent. This study used CNKI database as a sample and CiteSpace6.1.R6 software to conduct a visual analysis of the cadmium reduction technology for heavy metal cadmium pollution in rice, clarifying the current research status, hot spots, and trends in this field, and provide references for further studies.

## Keywords

Rice, Cadmium, CiteSpace, Visual Analysis

Copyright © 2023 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/>



## 1. 引言

国以民为本，民以食为天，耕地是粮食作物生长的前提，也是生存和发展的重要资源。但是随着工业化和城市化进程加快，我国耕地受重金属污染严重。2023年中央一号文件提出“加强农用地土壤镉等重金属污染源头防治。强化受污染耕地安全利用和风险管控”。目前，我国耕地土壤污染点位超标率平均为21.49%，其中轻度、中度、重度污染点位比例分别为13.97%、2.50%和5.02%。重金属污染物以Cd、Ni、Cu、Zn和Hg为主，污染比重分别为17.39%、8.41%、4.04%、2.84%和2.56% [1]，且我国每年进入农田的镉量高达1417吨[2]。由此可见，重金属镉已成为污染耕地环境的重要组成部分之一。

据国家统计局发布信息，2022年我国粮食产量68,653万吨，玉米产量27,720万吨，小麦产量13,772万吨，稻谷产量20,849万吨。研究表明：稻谷、花生中镉的平均富集系数高于蔬菜，镉污染农田可种植玉米、番薯替代水稻，降低污染风险[3]，由此可见，作为我国重要的粮食作物之一的水稻，对重金属镉的富集能力较强，受污染风险较大。

相对于其他微量金属元素，水稻选择性地“优先”吸收镉，干扰了水稻对其他微量元素的吸收，妨碍人体对有益的微量元素的吸收和利用，这是镉易于进入人的食物链的一个重要原因[4]。镉进入人体主要经由呼吸道和消化道，含镉的液体也可以通过接触皮肤进入，但是经过消化道进入人体的镉更容易在人体内存留[5]。有机体内镉主要与蛋白质结合为镉-蛋白质，以降低正常机体内所必需的酶的活性，如置换了锌蛋白酶中的锌，使人严重缺锌，诱发相应的健康危机如食管癌、胃癌和大肠癌等[6]。因此，水稻重金属镉污染严重威胁我国粮食安全，其治理迫在眉睫。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 数据来源

本研究的中文文献均来源于CNKI中国知网，为保证最终结果的准确性，采用数据高级检索的方法，以((主题 = (水稻镉)并且(主题 = (降镉)或(主题 = (水稻 Cd)或(主题 = (降 Cd))) 在2003~2023年2月进行

检索, 通过在数据总库中选择学术期刊, 经过筛选和去除, 最终留下 316 篇文献, 并以此为样本进行后续分析。

## 2.2. 数据处理与统计方法

利用 CNKI 数据库自带的计量可视化分析、Excel 软件、CiteSpace 软件对 2003~2023 年(2 月)期间发表的有关水稻重金属镉污染降镉技术文献进行计量分析导出, 导出格式为 Refworks, 导出后借助 CiteSpace6.1.R6 软件对数据进行格式转换, 得到 CiteSpace6.1.R6 可识别的文本文件, 作为软件分析的数据库, 以此为依据, 进行对水稻镉污染降镉修复技术相关研究及应用的文献研究进行可视化和量化分析, 研究其发展现状、知识热点以及未来发展趋势。

## 2.3. CiteSpace 主要功能及应用现状

CiteSpace 是在科学计量学、数据可视化背景下逐渐发展起来的引文可视化分析软件, 着眼于分析科学文献中蕴含的潜在知识, 通过可视化的手段来呈现科学知识的结构、规律和分布情况。近 10 年来, 随着软件的逐渐普及, 使用 CiteSpace 开展的研究、发表的论文呈逐年递增的趋势, 其优秀的文献分析能力得到各领域学者的充分认可, 成为了文献计量分析的热门工具和热门主题, 其研究主体以中国学者和中国高校为主, 占比在 95% 以上[7]。

## 2.4. CiteSpace 软件选取依据

目前使用频繁的两款可视化软件为 VOSviewer 和 CiteSpace, 通过对这两者进行比较可知: CiteSpace 可视化软件的聚类算法主要是利用名词性术语来探测学科研究热点, 可以帮助研究人员发现图谱中的突变词, 探析研究热点, 把握研究方向。CiteSpace 选取的是基于时间和图的可视化呈现方法, 前者在分析图谱中主题随时间变化的规律上有着很大的优势, 在基于图的可视化图谱中, 元素的位置是可以灵活移动的, 可以描述聚类之间的结构特征[8]。故在要对水稻降镉技术进行现状研究和发展趋势预测的时候, 选择 CiteSpace 软件构造知识图谱更为合适。

# 3. 数据分析

## 3.1. 发文数量分析

数据库中已发表的文章数量在一定程度上能够反应水稻镉污染降镉技术发展的现状情况以及发展趋势。2003~2023 年(2 月)水稻镉污染降镉技术相关领域的发文数量见图 1。由图 1 可见, 自 2003 年起, 相关发文数量慢慢波动式上涨, 期间略有下降, 但总体呈上升趋势, 说明人们已经逐渐开始重视水稻重金属镉污染的问题。2016 年国家发布了《土壤污染防治行动计划》(简称“土十条”), 随着公众对土壤镉污染的关注度的提升, 在水稻镉污染防治的方面人们也越发关注, 所以在 2016 年发文数量有较大的提升。但在此之前相关发文数量较少, 研究仍停留在表面, 直到 2021 年发文数量达 36 篇, 达到最高峰。在 2003~2023 年(2 月)期间发文数量大体上有前一年上升后一年下降的规律, 推测由于水稻降镉研究周期相对较长导致, 所以到了 2022 年该领域相关的研究成果较少。但根据 2023 年中央一号文件提出的“加强农用地土壤镉等重金属污染源头防治。强化受污染耕地安全利用和风险管控”的相关内容, 预测 2023 年对该研究方向的研究会更加深入, 文章数量会有所上升。

## 3.2. 核心发文作者及合作关系分析

图 2 为通过 CiteSpace 软件进行发文作者分析, 得到的核心发文作者及其合作关系图。旨在了解有哪些作者在研究领域内做出了卓越贡献, 摸清研究领域内发文最多的作者及合作情况能更快掌握该研究领

域的发展情况[9]。图中字体和节点大小体现核心作者的发文数量的多少，节点之间的线条疏密程度体现作者之间合作关系的紧密程度。看图可知，在该研究领域，发文数量较多的是纪雄辉、廖柏寒、谢运河、周航等几位学者，其中，纪雄辉教授在该研究领域发表的《污染稻田水分管理对水稻吸收积累镉的影响及其作用机理》最高被引 220 次。诸位学者形成了各自的合作关系，团队内合作关系较为紧密，但研究团队之间的合作较为分散，并未形成联系深、范围大的合作网络。但团队中发文时间跨度较大，以纪雄辉、谢运河为核心的团队主要发文在 2017 年前，而以廖柏寒、周航为核心的团队主要发文在 2013~2020 年间。大部分作者在 2017~2021 年间发布文章，进一步说明水稻镉污染降镉应用领域研究在此阶段开始持续发展，但 2022 年略有下降。

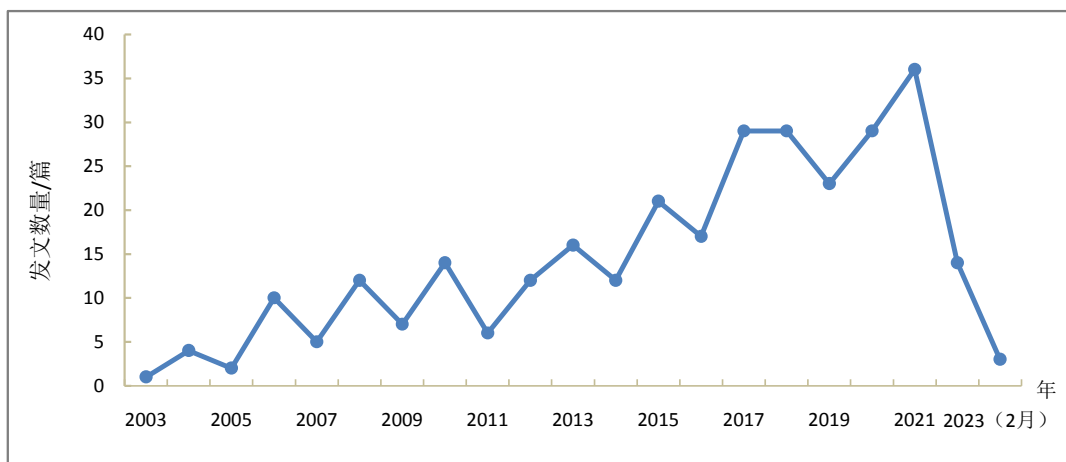


Figure 1. Number of publications from 2003 to 2023 (February)

图 1. 2003~2023 年(2 月)发文数量

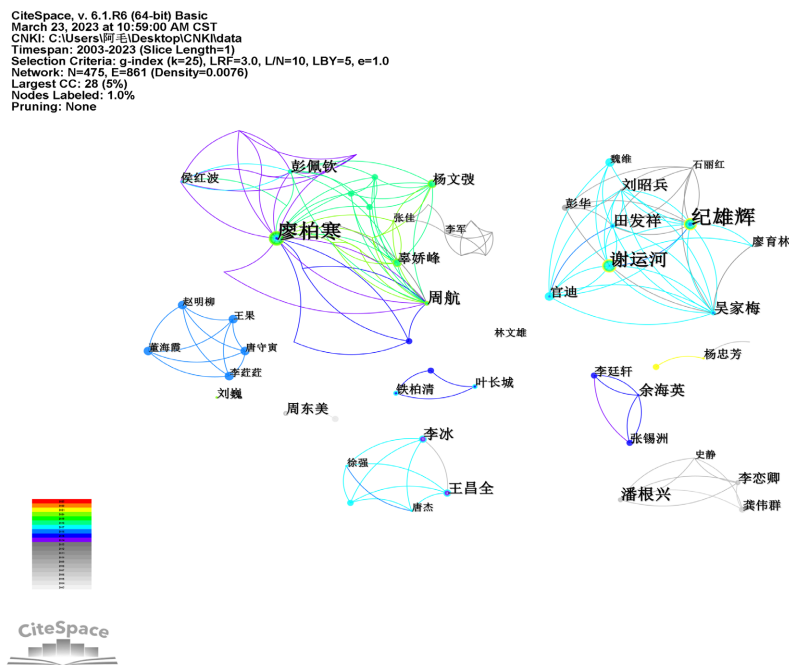


Figure 2. Core author and collaboration diagram

图 2. 核心发文作者及其合作关系图

### 3.3. 核心发文机构及合作关系分析

图3和表1为通过CiteSpace软件进行发文机构分析,得到的核心发文机构及其合作关系图。旨在了解有哪些研究机构在研究领域内做出了卓越贡献,摸清研究领域内发文最多的机构及相关合作情况,能更快掌握该研究领域的发展现状与方向。图中字体和节点大小体现核心发文机构的发文数量的多少,节点之间的线条疏密程度体现机构之间合作关系的紧密程度。表1中所列出的机构皆为发文数量较多的机构,其发文数量为7~15篇。可以看出相关领域的研究高校学院的占比较高,社会研究机构占比较少。其中,发文数量最多的机构是南京农业大学资源与环境科学学院,发文量15篇,其次是湖南农业大学资源环境学院发文12篇。进一步分析可得知,由于南方多种植水稻,且南方耕地重金属污染重于北方[1],故研究水稻镉降镉相关内容的高校多为南方地区农业大学。从合作结构上来看,各机构内部合作紧密,机构之间合作较少,未形成系统的合作网络,总体上呈大分散,小聚集状态。

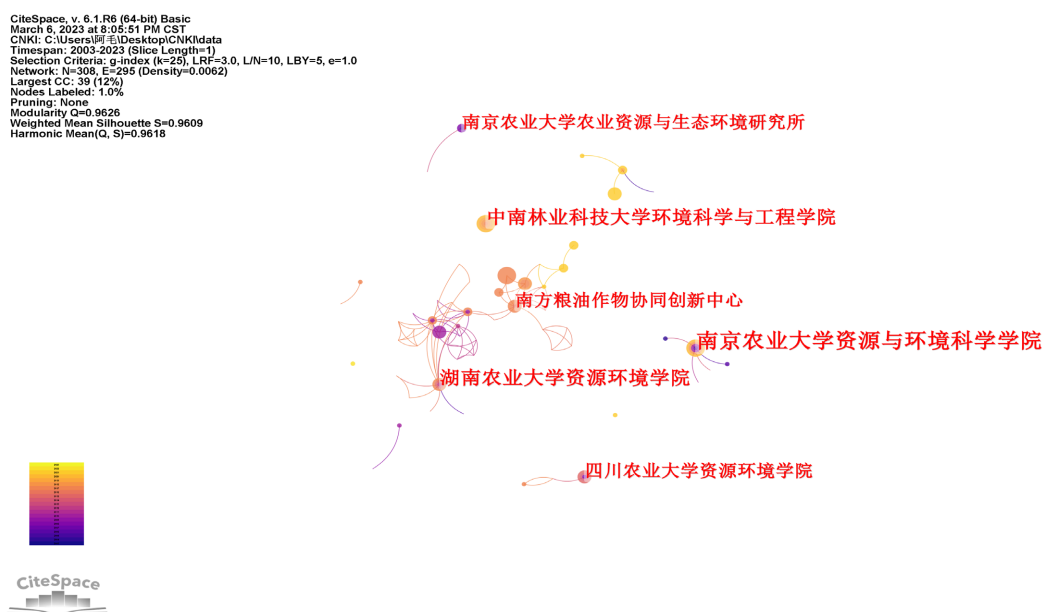


Figure 3. Core publishing institutions and cooperative relationships

图3. 核心发文机构及合作关系

Table 1. Number of documents issued by the issuing institution

表1. 发文机构发文量

序号	机构	发文量/篇	首次发文的时间
1	南京农业大学资源与环境科学学院	15	2006年
2	湖南农业大学资源环境学院	12	2006年
3	中南林业科技大学环境科学与工程学院	11	2015年
4	南方粮油作物协同创新中心	9	2016年
5	南京农业大学农业资源与生态环境研究所	9	2003年
6	四川农业大学资源环境学院	9	2008年
7	农业农村部环境保护科研监测所	8	2018年
8	四川农业大学资源学院	7	2015年
9	贵州大学农学院	7	2005年

### 3.4. 关键词突现

关键词突现图见图 4。图中从左到右依次代表关键词、年份、强度、开始年份、结束年份以及关键词爆发时间，体现了研究的关键词的出现时间、持续时间以及十年间文章出现的频次，可以由此反映出相关研究领域的阶段性研究热点与其热度持续的时间以及预测未来的发展趋势。由图 4 可知，2005~2013 年，水稻镉污染问题开始凸显，越来越多人开始关注；2014~2021 年间，不同方向的降镉技术与方法开始出现，如采取冬种紫云英来降低土壤 Cd 有效性[10]、配施石灰提高土壤的 pH 值，降低镉的有效性[11] 等。随着研究的逐步深入，近几年间突现了持续的关键词有“淹水”“生物质炭”“钝化剂”等，这可能是水稻降镉技术研究领域中新颖的研究热点，这反映了水稻降镉技术研究领域同时致力于物理方法、化学方法以及生物方法的研究，同时助力我国加强农用地土壤镉防治以及强化受污染耕地安全利用和风险管控。

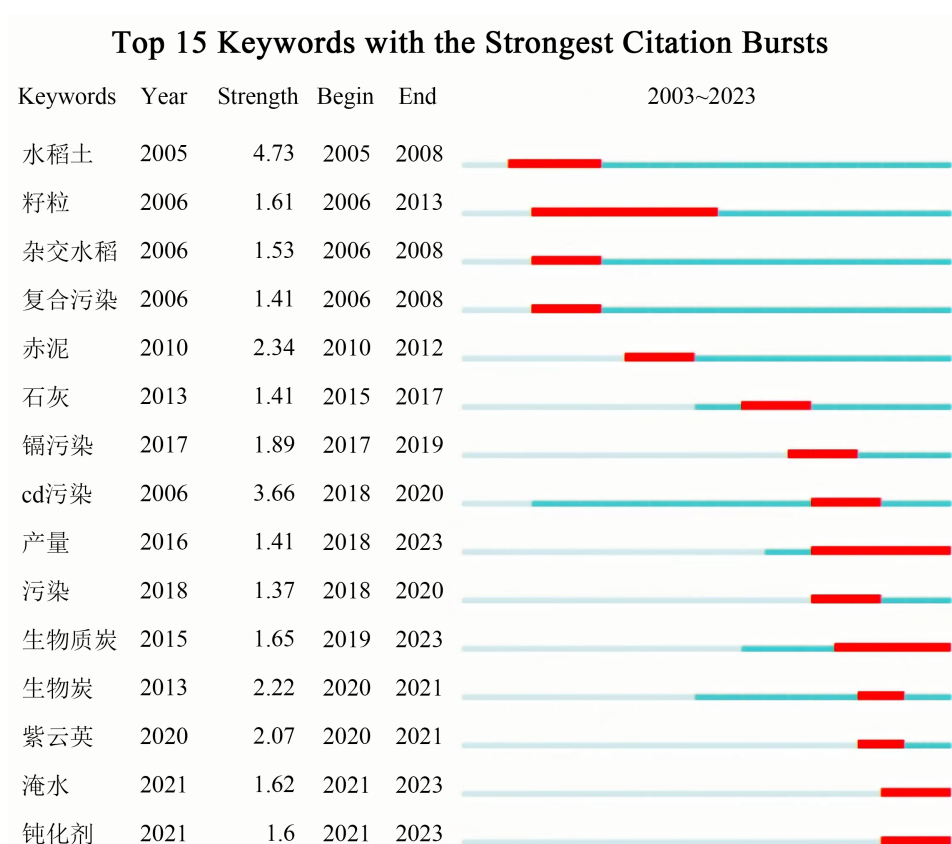


Figure 4. Keyword emergence chart  
图 4. 关键词突现图

### 3.5. 关键词时间线分析

关键词的时间线分析图见图 5。可以根据此图快速了解关键词的时间上的发展历程及发文数量。右侧的关键词对应左侧的时间线，上方数字是年份，时间线从上往下按照持续时间排列，线上点越多，说明该关键词方向的学者研究越多，点后无时间线表明该研究方向出现瓶颈。由图 5 可知这些年对水稻土质量、水稻产量的关注持续至今，且近些年在淹水(不同水管理)条件下采取降镉措施在水稻降镉方面研究较多。

CiteSpace, v. 6.1.R6 (64-bit) Basic  
 March 6, 2023 at 10:14:52 PM CST  
 CNKl: C:\Users\阿毛\Desktop\CNKldata  
 Timespan: 2003-2023 (Slice Length=1)  
 Selection Criteria: g-index (k=25), LRF=3.0, L/N=10, LB=5, e=1.0  
 Network: N=343, E=783 (Density=0.0133)  
 Largest CC: 313 (91%)  
 Nodes Labeled: 1.0%  
 Pruning: None  
 Modularity Q=0.5891  
 Weighted Mean Silhouette S=0.9161  
 Harmonic Mean(Q, S)=0.7171

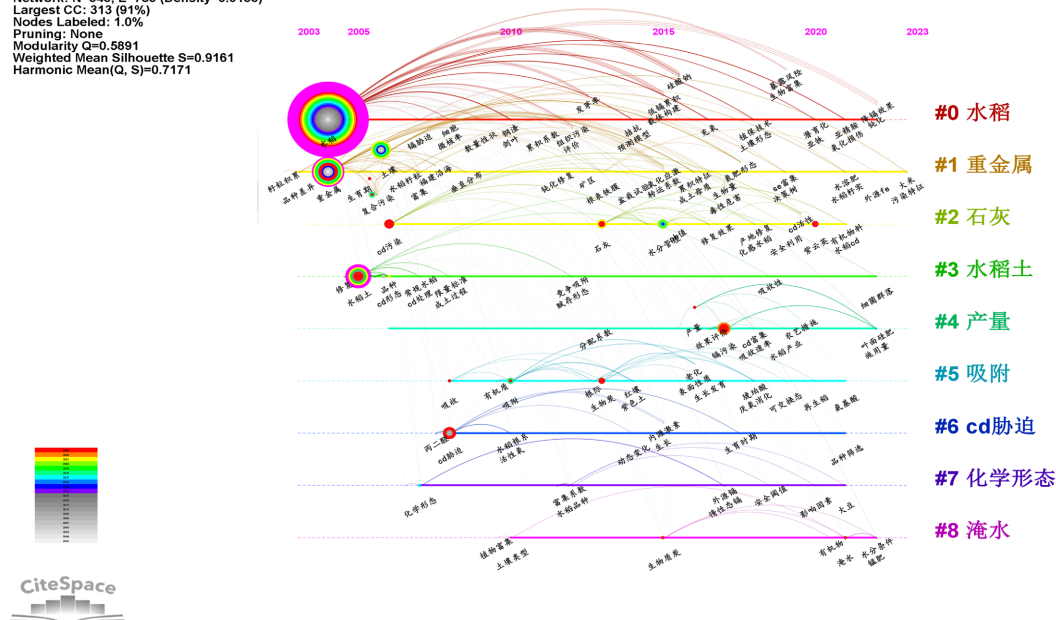


Figure 5. Keyword timeline  
 图 5. 关键词时间线图

根据以上 CiteSpace 软件的分析结果, 得出以下对水稻降镉技术方面的研究进展分析及未来展望预测。

### 3.6. 研究进展与预测

根据关键词突现和时间线分析可得出以下对水稻镉污染降镉技术的热点词有:

1) 生物炭: 生物炭是生物质在高温限氧条件下制备得到的富碳物质, 具有发达的孔隙结构、丰富的比表面积和表面官能团, 能够通过表面络合、离子交换、静电吸附以及共沉淀作用等机制吸附固定重金属[12]。其吸附 Cd(II) 的机制主要为表面沉淀和阳离子交换作用[13]。由于生物炭具备生产制备简单易行、成本低廉、修复土壤效果显著等优良特性, 但在简单制备后的吸附效果并没有达到理想水平, 还有较大的提升空间[14], 故预测通过深入研究如何提高生物炭应用效果(如改性)或成为今后的研究热点;

2) 钝化剂: 施用土壤钝化剂作为农作物降 Cd 的重要措施, 对 Cd 的生物有效性存在显著影响[15]。其作用机理是通过增加土壤有机质、阳离子代换量、Eh 值和电导率等理化性质, 使土壤中的镉由生物活性高的可交换态和碳酸盐结合态向生物有效性低的有机结合态和残渣态转化, 降低其生物有效性[16]。不同钝化剂对重金属污染土壤的修复效果有较大的差异[17], 故预测研究寻找更高效钝化剂种类或成为今后研究热点;

3) 淹水: 稻田淹水管理能够有效地降低土壤 Cd 活性, 被认为是降低水稻镉富集的有效措施之一[18], 持续的淹水过程促进了土壤胶体对镉的吸附固定, 镉有效性降低[19]。但研究表明单一水分管理对降低水稻对镉的吸收效果有限[20], 故预测在淹水条件下或不同水分管理条件下, 采取联合修复技术模式(如叶面喷施植物生长调节物质[20], 持续淹水下添加外源有机物料[21]等)或成为今后研究热点。

以上三个热点词分别是化学、物理方面的降镉技术, 除此之外水稻降镉在生物方向的技术研究也有所进展。2022 年, 马建锋教授的团队研究历时十多年, 发现了抑制水稻籽粒镉积累的新机制, 并成功培

育了低镉水稻品种。该品种水稻在镉土上栽培时,与日本品质优良的主栽品种越光相比,其籽粒及稻草中镉含量降低了一半左右,且产量和稻米的品质没有受到任何影响。不仅如此,该低镉水稻还为今后培育其他低镉水稻品种提供了有用的育种素材[22]。故预测今后在培育不同低镉水稻品种等生物降镉技术上会持续发展,但相较于物理、化学方面的技术研究,生物技术研究周期或较长。

#### 4. 结论

1) 从整体上来看,我国关于水稻镉污染降镉技术研究领域的文献发文量呈上升趋势,虽在 2022 年略有下降,但 2023 年中央一号文件中提出了“加强农用地土壤镉等重金属污染源头防治。强化受污染耕地安全利用和风险管控”等相关内容,人们会因此更加重视水稻镉污染的防治问题,由此预测 2023 年发文量将有所上升;

2) 研究水稻镉污染降镉技术相关领域的高校学院的占比较高,社会研究机构占比较少。其中,高校多为南方地区农业大学,发文量最多的是南京农业大学资源与环境科学学院,其次是湖南农业大学资源环境学院;

3) 根据关键词突现和时间线分析可得在水稻镉污染降镉技术研究领域近些年热词有:生物炭、钝化剂、淹水等。预测在深入研究如何提高生物炭应用效果(如改性)、研究寻找更高效钝化剂种类、在淹水条件下或不同水分管理条件下,采取联合修复技术模式等方向或成后续研究热点。除此之外,预测在培育不同低镉水稻品种等生物降镉技术上或有持续性发展。今后,水稻降镉技术研究应该在物理、化学、生物三个方向上不断深入,使水稻重金属镉污染严重问题尽快得到解决,从而保障我国的粮食安全。

#### 参考文献

- [1] 尚二萍, 许尔琪, 张红旗, 黄彩红. 中国粮食主产区耕地土壤重金属时空变化与污染源分析[J]. 环境科学, 2018, 39(10): 4670-4683. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.201802139>
- [2] Cai, K., Yu, Y.Q., Zhang, M.J., et al. (2019) Concentration, Source, and Total Health Risks of Cadmium in Multiple Media in Densely Populated Areas, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 2269-2269. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132269>
- [3] 张耿苗, 赵钰杰. 诸暨市不同作物对土壤镉铅吸收的研究: 富集系数和安全阈值[J]. 中国农学通报, 2022, 38(18): 100-106.
- [4] 蒋彬, 张慧萍. 水稻精米中铅镉砷含量基因型差异的研究[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2002(3): 37-40.
- [5] 郑瑶. 土壤重金属镉污染的危害及治理分析[J]. 中国新通信, 2020, 22(14): 239-240.
- [6] 黄秋婵, 韦友欢, 黎晓峰. 镉对人体健康的危害效应及其机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007(9): 2528-2531. <https://doi.org/10.13989/j.cnki.0517-6611.2007.09.008>
- [7] 吕俊杰. CiteSpace 应用现状研究[J]. 现代信息科技, 2022, 6(7): 105-111. <https://doi.org/10.19850/j.cnki.2096-4706.2022.07.026>
- [8] 付健, 丁敬达. Citespace 和 VOSviewer 软件的可视化原理比较[J]. 农业图书情报, 2019, 31(10): 31-37. <https://doi.org/10.13998/j.cnki.issn1002-1248.2019.10.19-0776>
- [9] 刘璇, 赵健, 鄢永庚, 王跃虎, 张术俊, 陈卓. 基于 CiteSpace 的稀土元素应用研究现状与发展趋势分析[J/OL]. 中国矿业, 2023, 32(4): 8-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3033.TD.20230303.1200.002.html>, 2023-03-06.
- [10] 彭曦, 谭长银, 曹雪莹, 王腾飞, 柏佳, 黄硕霏. 冬种绿肥对后茬土壤 Cd 有效性及水稻 Cd 积累的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2020, 43(5): 10-16.
- [11] 郑沈. 稻草/紫云英还田配施石灰水稻降镉效应及土壤微生物响应[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西农业大学, 2021. <https://doi.org/10.27177/d.cnki.gjxnu.2021.000385>
- [12] 刘昶, 刘颖, 王丽娜, 杨璐, 邓绍坡, 韦婧, 毛萌. 桑秆生物炭对污染土壤氧化还原过程中重金属的固持效应[J/OL]. 生态与农村环境学报: 1-13. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1673-4831.2022.0955>, 2023-03-19.
- [13] Zama, E.F., Zhu, Y.G., Reid, B.J., et al. (2017) The Role of Biochar Properties in Influencing the Sorption and De-



- sorption of Pb(II), Cd(II) and As(III) in Aqueous Solution. *Journal of Cleaner Production*, **148**, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.125>
- [14] 孙家婉, 张振华, 赵玉萍, 樊广萍, 高岩, 卢信. 生物炭改性及其在农田土壤重金属修复中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(10): 9-15. <https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2022.10.002>
- [15] 唐仲, 周明, 张隽, 赵方杰. 生物炭和碳酸钙粉对高、低镉积累型水稻镉积累及根际微生物群落的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(10): 2102-2110.
- [16] 陈思慧, 张亚平, 李飞, 沈凯, 岳修鹏. 钝化剂联合农艺措施修复镉污染水稻土[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(3): 563-572.
- [17] 谢炜, 徐立军, 石一珺, 王洁, 倪中应. 钝化剂对酸性镉轻度污染土壤的修复效果[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(12): 2521-2524. <https://doi.org/10.16178/j.issn.0528-9017.20212262>
- [18] 张雨婷, 田应兵, 黄道友, 张泉, 许超, 朱捍华, 朱奇宏. 典型污染稻田水分管理对水稻镉累积的影响[J]. 环境科学, 2021, 42(5): 2512-2521. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202008305>
- [19] 李剑睿, 徐应明. 长期淹水、传统灌溉、湿润灌溉条件下海泡石修复镉污染水稻土效应[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(17): 226-231. <https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2021.17.040>
- [20] 张明富, 王松, 李佳原, 王雪彬, 李蒙, 牙丰硕, 黄丹妮, 何冰, 顾明华, 王学礼, 韦燕燕. 乙烯和水分管理对水稻 Cd 积累和健康风险指数的影响[J/OL]. 热带作物学报: 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1019.S.20221230.1105.001.html>, 2023-03-02.
- [21] 郭岚岚. 持续淹水下外源有机物料对酸性土壤水稻镉积累的影响[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2021. <https://doi.org/10.27441/d.cnki.gyzdu.2021.001557>
- [22] 马建锋教授团队发现抑制水稻籽粒镉积累新机制[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(21): 257.