

## 基于 Citespace 文献可视化分析的解磷菌研究

周华珍, 潘俊成, 程麒瑞, 蔡秋亮\*

广西芒果生物学重点实验室、百色学院农业与食品工程学院、百色学院亚热带特色农业产业学院 广西百色

**【摘要】目的** 为了解我国解磷菌筛选及其机制研究的发展现状、规模及应用等问题;**方法** 采用信息可视化分析软件 CiteSpace, 以中国知网 (CNKI) 数据库 1994-2024 年收录的 591 篇与解磷菌相关主题的文章作为研究对象, 绘制作者、机构、关键词可视化图谱进行分析, 对我国近 30 年来的解磷菌研究概况进行阐述;**结果** 结果显示, 我国解磷菌研究正处于发展期阶段; 主要资助对象为国家自然科学基金、国家支撑计划和国家重点研发计划; 被引频次最多的作者是洪坚平; 发表解磷菌相关研究文献最多的期刊是《中国土壤与肥料》, 其次是《江苏农业科学》《华中农业大学》《生物技术通报》等。研究热点主要集中在解磷菌的筛选及其机制研究方向。**结论** 该研究有助于科研工作者了解我国解磷菌领域研究现状和最新进展, 为其研究提供参考与启示, 对进一步推动我国解磷菌研究具有重要意义。

**【关键词】** 中国知网; 解磷菌; CiteSpace; 可视化分析

**【收稿日期】** 2024 年 8 月 12 日

**【出刊日期】** 2024 年 9 月 26 日

**【DOI】** 10.12208/j.jafs.20241015

### Research on phosphate-solubilizing bacteria based on Citespace literature visualization analysis

Huazhen Zhou, Juncheng Pan, Qirui Cheng, Qiuliang Cai\*

Guangxi Key Laboratory of Mango Biology, College of Agriculture and Food Engineering, College of Subtropical Agricultural Industry, Baise University, Baise, Guangxi

**【Abstract】 Objective** To understand the development status, scale and application of screening and mechanism research of phosphorus solubilization bacteria in our country. **Methods** The information visualization analysis software CiteSpace was used to analyze 591 articles on topics related to phosphorolytic bacteria collected in CNKI database from 1994 to 2024, and the visualization map of authors, institutions and keywords was drawn to analyze the research situation of phosphorolytic bacteria in China in the past 30 years. **Results** The results showed that the research of phosphorus solubilizing bacteria in China was in the stage of development; The main objects of funding are the National Natural Science Foundation, the National Support Plan and the national key research and development Plan; The most frequently cited author is Hong Jianping; The journal that published the most research literature on phosphorolytic bacteria was "China Soil and Fertilizer", followed by "Jiangsu Agricultural Science", "Huazhong Agricultural University" and "Biotechnology Bulletin". The research focus is mainly on the screening of phosphorus solubilizing bacteria and its mechanism research direction. **Conclusion** This study is helpful for researchers to understand the research status and the latest progress in the field of phosphorolytic bacteria in China, provide reference and inspiration for their research, and have important significance to further promote the research of phosphorolytic bacteria in China.

**【Keywords】** CNKI; Phosphate-Solubilizing Bacteria; CiteSpace; Visual Analysis

### 引言

研究意义: 磷元素是植物生长不可或缺的重要元素之一, 但土壤中缺乏能够被植物直接吸收利用

的有效磷很少<sup>[1]</sup>, 而土壤中能溶解不溶性磷的解磷菌能提高磷的利用率。目前, 在选育高效解磷菌株、研究其解磷机制及其溶解特性等方面已经发表大量

\*通讯作者: 蔡秋亮

文献, 阐明了解磷菌磷产生代谢产物(有机酸)和环境 pH 值分别对解磷能力具有一定影响。用更生态、更高效的解磷菌替代成本较高的磷肥, 为解磷菌肥提供更优质的来源, 推进农业的高效可持续发展。

前人研究进展: 目前, 国内外对于解磷菌的研究认为, 土壤中的磷可分为有机磷和无机磷<sup>[2]</sup>, 通常, 磷以  $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4$  形态才可以被植物吸收<sup>[3]</sup>。土壤中缺乏有效磷, 一个原因是土壤的固定作用太强, 进入土壤中的磷会与一些金属元素结合生成难溶的磷酸盐, 导致磷肥的当季利用率仅有 10%~20%<sup>[4]</sup>; 另一个原因是施入土壤的磷肥会随着水的运动而流失<sup>[5]</sup>。于是, 人类为获得高产作物而继续施加磷肥, 但是, 不合理的施肥造成土肥降低、水体富营养化等问题<sup>[6]</sup>。因此, 如何增加土壤中的有效磷、提高磷肥的利用率, 是农业急需解决的问题之一。

土壤中的解磷微生物能溶解土壤中的不溶性磷, 可提高磷的利用率<sup>[7]</sup>。解磷菌溶解矿物无机磷是通过分泌有机酸来实现的, 矿化有机磷是通过产生相应的酶来实现<sup>[8]</sup>。施用含有解磷微生物的菌肥, 增加了土壤中的有效磷、促进了植物的生长发育<sup>[2]</sup>。

目前, 解磷菌主要分为细菌、真菌和放线菌三大类, 常见的为解磷细菌<sup>[9]</sup>, 具有代表性的解磷细菌有芽孢杆菌属 (*Bacillus*)、肠杆菌属 (*Enterobacter*)、假单胞菌属 (*Pseudomonas*)、不动杆菌属 (*Acinetobacter*)、沙雷氏菌属 (*Serratia*)<sup>[1]</sup>。在已发现的解磷菌中, 多数的解磷能力较高, 例如从大麦根际分离出的阴沟肠杆菌 (*Enterobacter cloacae*) 和假单胞菌 (*Pseudomonas koreensis*), 在液体介质中溶解出的可溶性磷酸盐分别为 2040.6 $\mu\text{mol/L}$ 、1680.9 $\mu\text{M}$ <sup>[10]</sup>; 从马铃薯根际分离出的解淀粉芽孢杆菌 (*Bacillus amyloliquefaciens*) 的磷酸盐溶解度指数为 6.00<sup>[11]</sup>; 从荒漠绿洲过渡带白刺根际土壤分离筛选出的草酸青霉 (*Penicillium oxalicum*), 在液体培养中的最大溶磷量为 557 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ <sup>[12]</sup>; 从 Mahanadi 河三角洲的红树林土壤中分离的沙雷氏菌 (*Serratia sp*) 的最大磷酸盐增溶活性为 44.84 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ <sup>[13]</sup>。

解磷菌的应用常见于农业方面, 如磷酸盐溶解菌促进油菜的生长<sup>[14]</sup>, 可广泛用于解决重金属污染问题, 如磷酸盐溶解菌应用于固定土壤中的重金属镉和铅<sup>[15]</sup>、堆肥中磷的转化和利用<sup>[16]</sup>。在已发现的许多解磷菌中, 每种解磷菌的适应环境和解磷能力

都不相同<sup>[17]</sup>, 用更生态、更高效的天然产品替代成本较高的磷肥是一个不错的选择<sup>[18]</sup>。因此, 我们仍需要寻找更高效的解磷菌, 能够适应不同的环境并且拥有更好的解磷能力, 为解磷菌肥提供更优质的来源, 推进农业的高效可持续发展。

本研究切入点: 随着我国对解磷菌研究的重视, 对解磷菌相关方面研究发量呈高速增长阶段, 但对解磷菌的大体研究形势尚未报道。

拟解决的关键问题: 本研究通过采用信息可视化分析软件 CiteSpace, 以 CNKI 数据库 1994-2024 年收录的 591 篇与解磷菌相关主题的文章作为研究对象, 对我国近 30 年来的解磷菌研究概况进行阐述, 对解磷菌的研究领域的核心热点和前沿进行归纳, 为推动我国解磷菌研究进展提供参考。

## 1 研究方法及数据采集

### 1.1 数据来源

文献和知识图谱均来自于中国知网 (CNKI) 数据库, 为了确保数据的准确性, 可采用高级检索, 检索年限为 1994-2024 年。解磷菌研究的检索式设置“解磷菌”为主题词, 文献类型为中文文献, 筛选出时间、机构、作者均与解磷菌高度相关的文献, 中国期刊全文数据库 (CNKI) 共检索出中文文献 591 篇, 通过可视化分析以 Refwork 格式保存。

排除标准: ①报纸、成果、报告类文献; ②英文文献、信息不完整或与本研究主题无关的文献; 经复查后共纳入解磷菌研究文献 591 篇。

### 1.2 研究方法

信息可视化分析软件 CiteSpace 是由美国陈超美教授开发的一个应用程序。Citespace 主要基于“共现聚类”思想, 对科学文献中的信息单元进行提取, 根据信息单元间的联系类型和强度进行重构, 形成不同意义的网络结构。该软件应用广泛, 研究者可以通过此软件预测该领域的研究热点, 把握研究现状和发展趋势, 为研究工作提供有力的支持。本文采用可视化分析软件 CiteSpace (6.3.R1 版本)、Excel、Origin (2022) 和 CNKI 自带的统计工具进行分析, 对收集整理好的文献进行关键词共现分析、机构共现分析等等。进行 CiteSpace 可视化分析的准备工作 (图 1) 和运行工作 (图 2) 如图所示。

其中, 图谱中每一个节点代表一个关键词, 节点越大, 表示其出现的频次也就越高。两节点间由一条线连接, 线条代表两节点间有合作, 线条越粗,

代表其合作强度越强。而节点周围圆圈代表其年轮, 年轮越大表示中心性越大, 反之则小。

## 2 结果分析

### 2.1 研究阶段及特点

某一研究领域的发展概况可以随时间的变化趋势体现出来, 现将 1994 年 12 月-2024 年 5 月从中国知网收集到的 591 篇文献为研究对象, 其中学术期刊 361 篇, 学位论文 152 篇, 会议论文 9 篇等。可知在 1994-2001 年间, 关于解磷菌的文献极少甚至没有, 而从 2001 年开始解磷菌发文量呈波动趋势不断上升, 到 2023 年发文量更是达到了 51 篇, 说明我国从 2001 年开始, 有关解磷菌文献的发文量呈一定高速增长中, 反映出解磷菌逐渐成为研究热点。

### 2.2 期刊来源及分布情况

根据 1994-2024 年获得的刊载论文期刊情况, 得到 20 个期刊, 其具体分布情况如图 3。其中, 刊载解磷菌相关研究文献最多的期刊为《江苏农业科学》《中国土壤与肥料》, 两者发表的文献最多, 分

别发文 15 篇, 占比达到总量 9.8%, 并列第一; 其次是《生物技术通报》《华中农业大学》, 发文量为 12 篇, 占比达总量 7.41%, 并列第二; 其次是《安徽农业科学》《广东农业科学》和《湖北农业科学》等期刊。以上皆为解磷菌研究的核心期刊, 为以后研究工作展开解磷菌研究提供参考。

### 2.3 基金分布情况

基金资助研究是推动研究发展和创新的重要途径, 也从侧面反映出资助机构对该领域研究的支持以及肯定。根据基金资助有关解磷菌领域发文量进行排序得到表 1, 对发文量前 15 的基金进行分析得出: 解磷菌研究领域的主要资助对象为国家自然科学基金、国家科技支撑计划和国家重点研发计划。其中, 国家自然科学基金排名第一, 共支持了 118 篇解磷菌相关文献的发表; 其次为国家科技支撑计划, 排名第二, 共支持了 18 篇解磷菌相关文献的发表; 接下来是发表量排名第三的国家重点研发计划, 发表了 14 篇的支持基金。

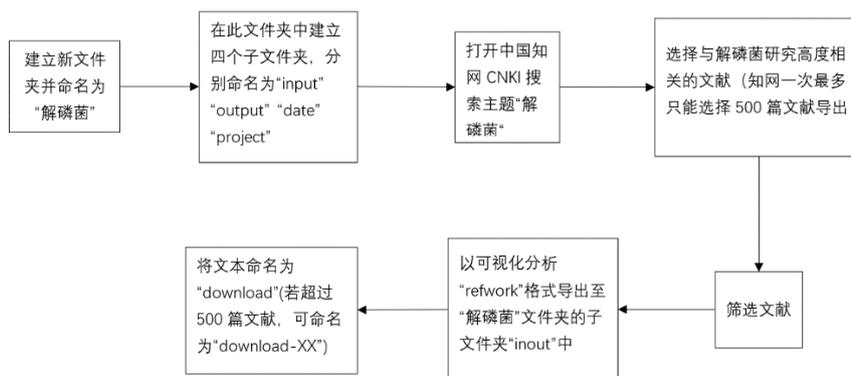


图 1 运用 Citespace 前的准备工作

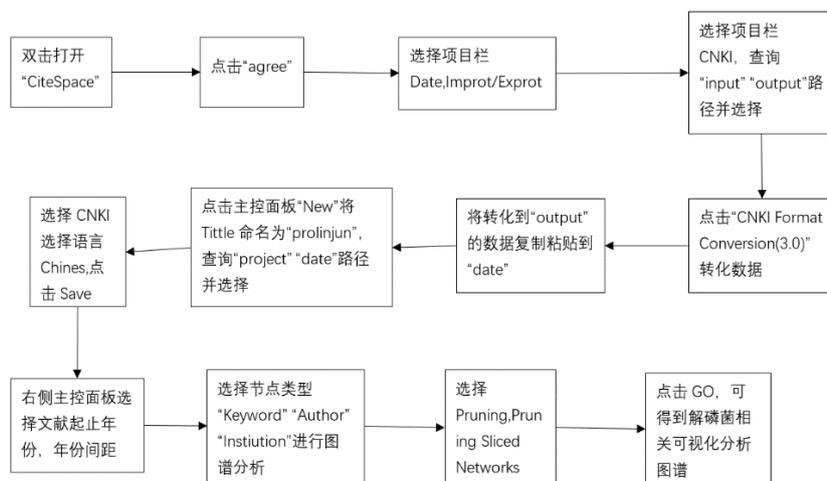


图 2 运用 Citespace 的工作流程

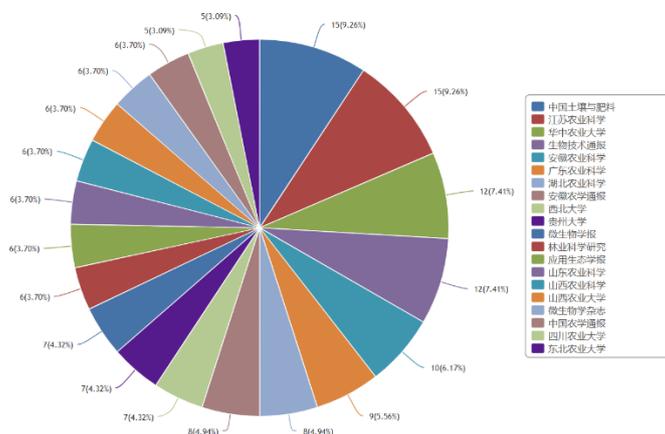


图 3 国内解磷菌主要期刊研究文献占比

表 1 解磷菌支撑基金文献量的比较

序号 No.	支撑基金 Support fund	文献量 Literature quantity
1	国家自然科学基金	118
2	国家科技支撑计划	18
3	国家重点研发计划	14
4	现代农业产业技术体系建设专项资金	8
5	国家高技术研究发展计划（863 计划）	8
6	山东省自然科学基金	7
7	国家重点基础研究发展规划（973 计划）	7
8	内蒙古自治区自然科学基金	7
9	黑龙江省自然科学基金	6
10	国家科技基础条件平台建设项目	6

## 2.4 主要研究力量分析

### 2.4.1 研究机构分布情况

对 1994-2024 年间各机构发表解磷菌相关文献发文量进行比较得出图 4，其中发文量在 7 篇以上的机构总有 20 家。其中，山西农业大学在解磷菌相关领域发文量达到 22 篇，位居第一；其次为华中农业大学，发文量共 21 篇；再者贵州大学，发文量共 20 篇；接下来则是福建农林大学发文量共 16 篇，东北农业大学发文量 15 篇和甘肃农业大学发文量 14 篇等等；以上发表文献单位作者对解磷菌研究均做出了贡献，从以上数据可以看出，解磷菌研究机构主力主要分布在全国各高等院校，也从侧面反映各研究机构对其重视程度以及解磷菌相关领域研究的可发展性。

图 5 为解磷菌研究机构的共现图谱，呈现了各研究结构的合作关系，一个节点代表一所研究机构，

两节点之间由一条直线连接，说明两者之间有合作关系，直线的颜色表明其合作年份，直线的粗细则表明二者的合作强度，合作强度越强则直线越粗，反之则细。一般来说，文献中心性大于 0.1 或者等于 0.1，说明该机构在解磷菌这一研究领域研究力度大，得到的结果更有说服力。从图 7 可以看出，此次机构共现的文献中心性均小于 0.1，也从侧面说明该领域的研究力度还有待提高。

### 2.4.2 发文作者分析

统计发文量前 10 的作者，得出发文量最多的前三位作者分别是洪坚平（10 篇）、孟慧生（7 篇）和谢承卫（7 篇），见图 6。根据普赖斯定律<sup>[19]</sup>得出核心作者的最低发文量约为 3 篇（ $M=2.37$ ），核心作者共有 48 位。

对取发文量大于并等于 3 篇的作者构建共现图谱分析，得到图 7。共现图谱中，每一个节点代表一

位作者, 节点越大, 表明其发文量越多。两个节点之间由一条线连接, 表明两位作者之间有合作关系, 合作关系越强, 线条越粗。由图 7 可知, 进行解磷菌相关领域研究的核心作者大致形成了四个简单的关系网络, 由洪坚平为核心的研究体系与孟会生、吴文丽和张杰有着密切联系, 构成解磷菌研究领域的网络结构。同时, 洪坚平也是被引频次最多的作者, 可见洪坚平是解磷菌研究领域的核心作者中的重要作者。但大多研究工作者往往由自己独立完成并发表文献, 社会联络少, 很少与其他研究工作者进行合作, 处于研究领域的边缘。总体看来, 我国解磷菌研究工作者互相合作交流较少, 不利于解磷菌相关领域研究的发展, 因此, 各位研究工作者应加强交流合作, 这将有利于我国解磷菌领域研究的长足发展。

## 2.5 关键词可视化

### 2.5.1 关键词共现分析

文献的关键词可以直观、准确地了解该领域的研究热点, 反映其研究的核心所在。对 CNKI 采集的文献进行分析并以关键词为节点, 运用 CiteSpace 软件, 按关键词频次从大到小依次排序, 取频次大于 10 的关键词, 构建 1994-2024 年解磷菌领域关键词共现图谱分析。解磷菌关键词共现研究图谱中形成节点 259 个, 连线 887 条, 见图 8。汇总出解磷菌研究领域频次排名前 10 的关键词, 见表 2。由表 2 可知, 按照关键词频次排序, 第一是解磷菌(294 次), 第二是解磷能力(72 次), 第三是解磷细菌(58 次), 第四是解磷(44 次), 关键词频次越高, 说明该研究内容越受关注。另外, 取中心性前 10 的关键词, 中心性从高到低依次排序, 排名第一是解磷菌, 中

心性为 0.63, 第二是解磷细菌, 中心性为 0.26, 第三是解磷能力, 中心性是 0.19, 第四是筛选, 中心性是 0.13, 第五是有机酸, 中心性 0.08, 关键词中心性越高, 影响力越大, 说明该关键词相关文献量发表的多。由此可见, 解磷菌相关领域研究热点聚焦一直处于较稳定状态。

### 2.5.2 关键词突现分析

关键词突现分析能够反映某一时间段集中爆发的研究热点, 进行关键词突现分析便于我们掌握研究热点发展方向与趋势。关键词爆发会在首次出现的年份开始叠加, 图 9 为解磷菌研究关键词共现图谱中前 20 个爆发率最高的关键词, 从图 9 可以看出解磷菌研究关键词爆发首次出现的年份。由解磷菌的关键词突现图谱可知, 有机磷的研究强度是在 2003-2018 年, 解磷菌群的研究强度是在 2006-2008 年, 解磷的研究强度是在 2009-2018 年, 解磷量的研究强度是在 2010-2013 年, 解磷菌肥的研究强度是在 2015-2018 年。结合图 8 和图 9 来看, 解磷菌研究是一个漫长而持久的过程, 先是对其相关领域方面进行分开研究, 而后才开始多研究相互整合, 多方面推进研究进程, 最后, 才是对解磷菌研究领域的细化, 从关键词知识图谱中可以看出, 其研究热点可以总结为解磷菌, 从文献中可以看出, 我国已经在多方面进行了解磷菌研究方面的细化, 如小麦的解磷研究、生物炭的解磷研究和大豆的解磷研究等等。

从单一研究到整合研究之后再细化, 把研究应用到实作上去, 侧面反映出我国逐渐完善的解磷菌研究架构, 解磷菌研究开始逐渐完善, 研究有了更深的进展。

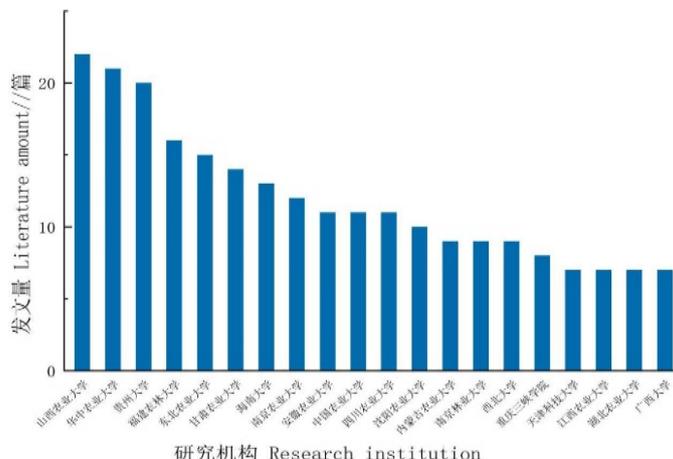


图 4 不同机构发文量的比较

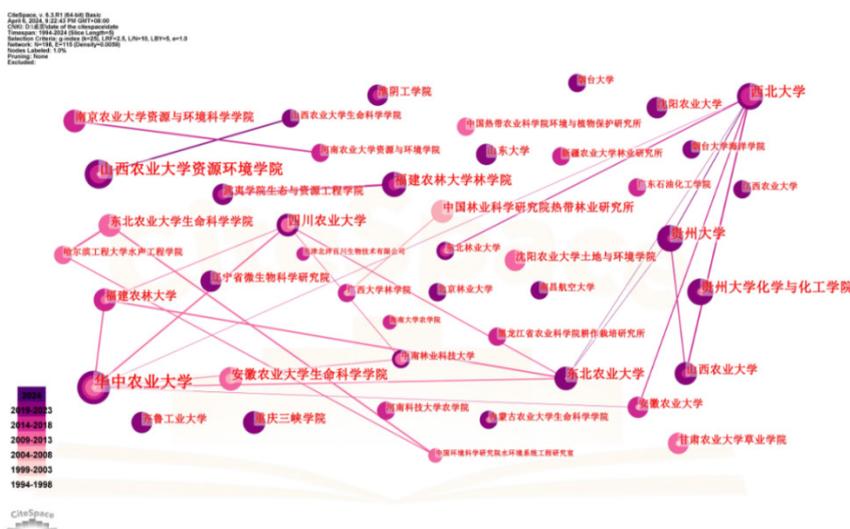


图 5 研究机构共现图谱

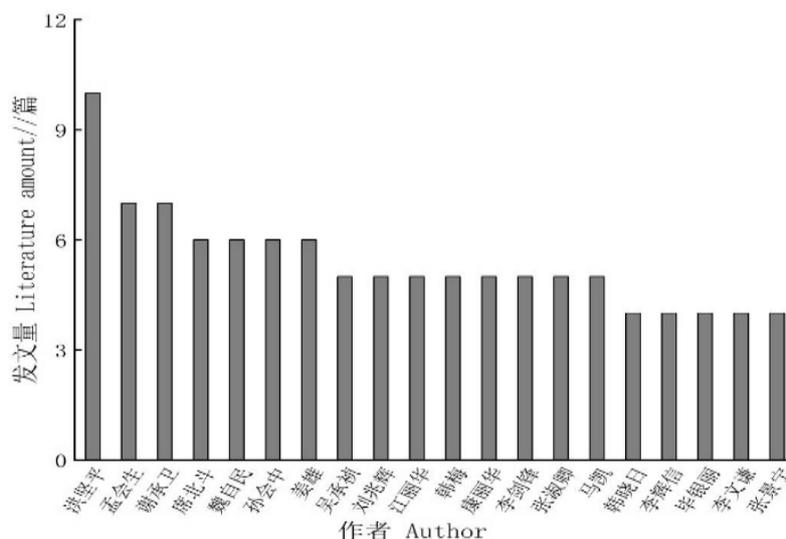


图 6 研究作者发文章量情况

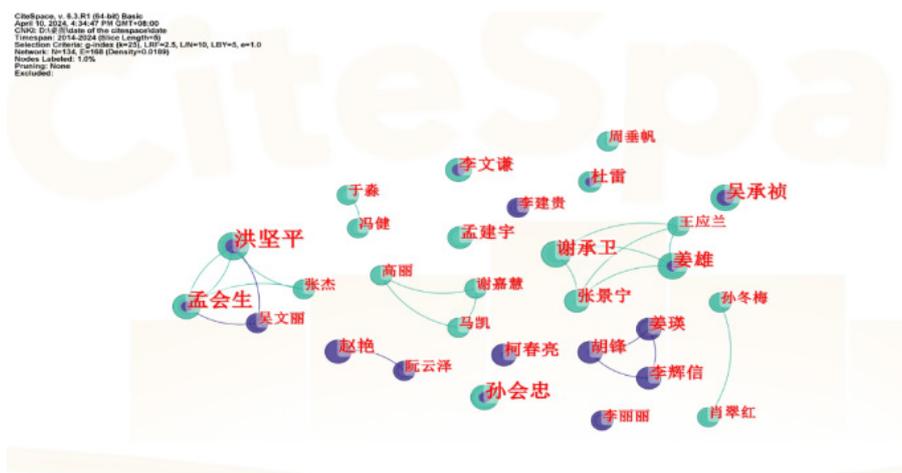


图 7 研究作者共现图谱

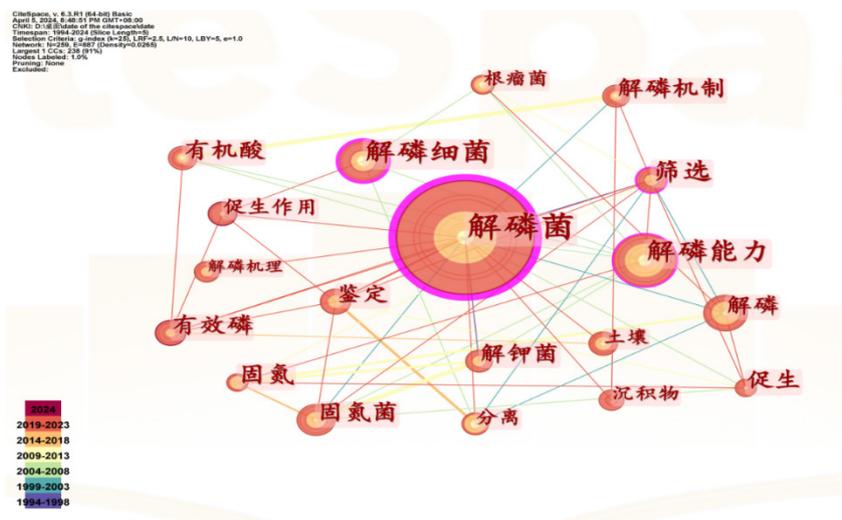


图 8 关键词共现图谱

表 2 研究关键词

关键词 Keywords	中心性 Centrality	频次 Frequency
解磷菌	0.63	294
解磷能力	0.19	72
解磷细菌	0.26	58
解磷	0.05	44
固氮菌	0.04	35
筛选	0.13	34
解钾菌	0.03	32
鉴定	0.03	30
有效磷	0.07	17
土壤	0.03	16

Top 20 Keywords with the Strongest Citation Bursts

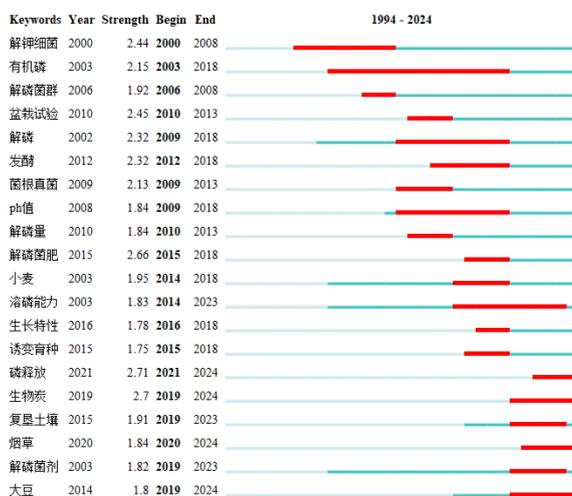


图 9 关键词突现图

### 3 结论与展望

该研究对 1994-2024 年我国近 30 年来解磷菌相关领域的研究进行了整理与分析, 通过运用 CiteSpace 可视化分析软件构建知识图谱, 分析了解磷菌研究的关键词、核心作者群、研究机构以及基金支持情况等。

结果表明, 我国解磷菌研究正处于发展期阶段, 总发文量 600 篇左右, 反映了我国在解磷菌研究领域等方面还具有广阔的发展前景; 基金支持主要资助来源为国家自然科学基金、国家支撑计划和国家重点研发计划, 反映了我国对于解磷菌研究的重视; 解磷菌研究相关文献发表量最多和被引频次最多的作者是洪坚平, 其次发文量较多的是孟会生和谢承卫, 发表量较多的作者对解磷菌研究有极大贡献, 作者之间若加强协作, 紧密联系, 形成社会关系网络, 将会极大推进解磷菌相关领域研究; 发表解磷菌相关研究文献最多的期刊是《中国土壤与肥料》, 其次是《江苏农业科学》《华中农业大学》《生物技术通报》等等。研究热点主要集中在解磷菌的筛选及其机制研究等方向, 研究热点稳定, 呈现出未来解磷菌研究一定的发展趋势。

最后, 解磷菌研究是为了减少化肥的使用、提高土壤中磷的利用率, 符合我国绿色发展的生态理念, 践行提高作物产量和质量的发展思想, 具有广阔的发展前景。

### 参考文献

- [1] Kumar A. Phosphate solubilizing bacteria in agriculture biotechnology: diversity, mechanism and their role in plant growth and crop yield[J]. *International Journal of Advanced Research*, 2016, 4(04): 116-124.
- [2] 唐岷宸, 李文静, 宋天顺, 等. 一株高效解磷菌的筛选及其解磷效果验证[J]. *生物技术通报*, 2020, 36(06): 102-109.
- [3] 韩明月. 解磷海洋菌的筛选及其在盐碱土改良中的应用[D]. 济南: 山东大学, 2021.
- [4] 梁翠月, 廖红. 植物根系响应低磷胁迫的机理研究[J]. *生命科学*, 2015, 27(03): 389-397.
- [5] 于海洋. 土壤磷活性调控微生物的筛选及特性研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2021.
- [6] 郑丽霞, 王玉书, 刘海, 等. 吡虫啉对伯克霍尔德氏菌生长和溶磷作用的影响[J]. *土壤学报*, 2020, 57(01): 174-182.
- [7] 林英, 司春灿, 韩文华, 等. 解磷微生物研究进展[J]. *江西农业学报*, 2017, 29(02): 99-103.
- [8] 常远, 詹亚斌, 陶兴玲, 等. 外源添加剂对富磷餐厨废弃物堆肥磷素活化的影响[J]. *环境工程*, 2022, 40(10): 112-119.
- [9] 骆韵涵, 柯志滨, 钟超, 等. 红树林土壤解磷菌的分离鉴定及解磷特性[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(06): 2664-2673.
- [10] Ibáñez A, Díez-Galán A, Cobos R, et al. Using rhizosphere phosphate solubilizing bacteria to improve barley (*hordeum vulgare*) plant productivity[J]. *Microorganisms*, 2021, 9(08): 1619.
- [11] Marpaung A E, Susilowati D N. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria from potato rhizosphere on andisol[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021.
- [12] 薛应钰, 叶巍, 杨树, 等. 一株溶磷菌的分离鉴定及溶磷促生作用[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(04): 253-262.
- [13] Behera B C, Yadav H, Singh S K, et al. Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *serratia* sp. isolated from mangrove soil of Mahanadi river delta, Odisha, India[J]. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 2017, 15(01): 169-178.
- [14] Valetti L, Iriarte L, Fabra A. Growth promotion of rapeseed (*Brassica napus*) associated with the inoculation of phosphate solubilizing bacteria[J]. *Applied Soil Ecology*, 2018, 132: 1-10.
- [15] Yuan Z M, Yi H H, Wang T Q, et al. Application of phosphate solubilizing bacteria in immobilization of Pb and Cd in soil[J]. *Environmental science and pollution research*, 2017, 24(3): 1-8.
- [16] Wei Y Q, Zhao Y, Fan Y Y, et al. Impact of phosphate-solubilizing bacteria inoculation methods on phosphorus transformation and long-term utilization in composting[J]. *Bioresource Technology*, 2017, 241: 134-141.
- [17] 李豆豆, 尚双华, 韩巍, 等. 一株高效解磷真菌新菌株的筛选鉴定及解磷特性[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(07): 2384-2392.
- [18] Yadav H, Gothwal R K, Nigam V K, et al. Optimization of culture conditions for phosphate solubilization by a thermo-

tolerant phosphate-solubilizing bacterium *brevibacillus* sp. BISR-HY65 isolated from phosphate mines[J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2013, 2(03): 217-225.

- [19] 宗淑萍. 基于普赖斯定律和综合指数法的核心著者测评——以《中国科技期刊研究》为例[J]. *中国科技期刊研*

究, 2016, 27(12): 1310-1314.

**版权声明:** ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



**OPEN ACCESS**