

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.04.013

黄现民, 樊平, 闵建美, 等. 国际土壤农药污染研究进展与前沿——基于 CiteSpace 分析. 土壤, 2021, 53(4): 764–770.

# 国际土壤农药污染研究进展与前沿——基于 CiteSpace 分析<sup>①</sup>

黄现民<sup>1</sup>, 樊平<sup>2</sup>, 闵建美<sup>1</sup>, 刘倩<sup>1</sup>, 张淑娟<sup>1</sup>, 于富昌<sup>1</sup>

(1 山东省农业环境保护和农村能源总站, 济南 250100; 2 滨州市农业环境保护工作站, 山东滨州 256600)

**摘要:** 为了提高农作物产量, 农药施用强度不断增加, 导致土壤等环境介质含有大量农药残留。为了把握土壤农药污染领域发展历程和关系脉络, 明确该研究领域的重点和前沿方向, 本文利用 CiteSpace 5.6.R4 可视化软件, 基于 Web of Science(WOS)数据库获得的样本进行分析, 得到如下结论: ①国际土壤农药污染研究分为两个阶段: 平稳发展阶段和研究激增阶段。平稳发展阶段研究视角宽广, 研究内容宽泛, 为后续的深入研究提供了指导性意见。研究激增阶段热点多样, 研究热度持续时间长; ②中美法为主要贡献国家, 但国际研究机构合作并不紧密; ③该领域研究受到国际高水平期刊的重视, 值得后续深入探究; ④研究热点主要围绕污染类型、降解机制和风险评估展开; ⑤围绕农药生产、施用后遗留的有机污染展开污染源解析、污染空间分布、修复机理、风险评价等多角度探究为该领域的研究前沿。

**关键词:** 农药污染; 土壤; Citespace; 研究进展; 前沿分析

**中图分类号:** X53; X592 **文献标志码:** A

## Research Progress and Frontier of Pesticide Contamination in Soil—Based on CiteSpace Analysis

HUANG Xianmin<sup>1</sup>, FAN Ping<sup>2</sup>, MIN Jianmei<sup>1</sup>, LIU Qian<sup>1</sup>, ZHANG Shujuan<sup>1</sup>, YU fuchang<sup>1</sup>

(1 Shandong Agricultural Environmental Protection and Rural Energy Station, Jinan 250100, China; 2 Binzhou Agricultural Environmental Protection Station, Binzhou, Shandong 256600, China)

**Abstract:** The pesticide application is intensifying in order to promote crop yields for sustaining the increasing population, as consequence, more and more pesticide residues were left or entered into environmental media such as soil. The paper used CiteSpace5.6.R4 visualization software to analyze samples obtained from WOS database in order to grasp the development history and relationship of soil pesticide pollution field, and defined the focus and frontier direction of this research field. There results showed that: 1) The research could be divided into the steady and the surge stages, the steady stage had the broad perspective and content which provided the guidance for subsequent in-depth research, while the surge stage had diverse hotspots and long duration of research heat. 2) China, the United States and France were the main contributing countries, but international research institutions did not work closely together. 3) The research in this field was valued by international high-level journals and was worthy of further investigation. 4) Research hotspots mainly focused on pollution types, degradation mechanisms and risk assessment. 5) The research frontiers in this field were the analysis of pollution sources, the spatial distribution of pollution, the restoration mechanism, and risk assessment focusing on the organic pollution left over from the production and application of pesticides.

**Key words:** Pesticide pollution; Soil; CiteSpace; Research progress; Frontier hotspots

国家统计局发布数据显示, 截止 2019 年末, 我国人口突破 14 亿人, 占世界总人口约 20%。但《2015 年中国国土资源公报》显示, 全国耕地面积约为 1.35 亿 hm<sup>2</sup>, 仅占世界耕地面积的 7% 左右。

为满足人民日益增长的美好生活需要, 农作物产量逐年增加, 农药施用强度也不断增加。根据耕地面积测算的农药增长率约为 6%, 农药的单位面积使用量约为世界平均水平的 2.5 倍<sup>[1]</sup>, 但施用的农药仅有 0.1%

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0800900)、国家自然科学基金项目(41977144)、山东省重点研发计划项目(2018GSF117024)和中国博士后基金项目(2017T100488)资助。

作者简介: 黄现民 (1975—), 男, 山东淄博人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事农业环境监测与评价。E-mail: sdhxm75@163.com

能够发挥实际效能, 超过 80% 的施用农药残留于土壤等环境介质中<sup>[2-3]</sup>, 造成严重的环境污染。随着国家对农产品安全和品质要求的重视, 土壤农药污染防治与修复受到越来越多科技工作者的关注<sup>[4]</sup>, 经过多年的发展, 该领域研究成果丰富且总量仍在增长。早在 20 世纪 70 年代, 国外就开始了土壤农药污染的治理与修复工作, 特别是德国、丹麦等欧洲国家的研究处于领先地位<sup>[5]</sup>。已有的研究成果记录了农药污染研究领域的发展历程, 能够为后续的研究开展提供丰富的知识基础。仅通过文献回顾并不能清晰地把握该领域的发展历程和关系脉络, 但这些复杂的关系能够有效催化新知识的产生, 同时提供热点分析及前沿探索方向, 为科技工作者指明该领域的研究重点和方向, 提高科研效率。

知识图谱作为科学计量学的一种研究方法于 2005 年由陈悦和刘渊<sup>[6]</sup>率先提出, 并迅速得到了广泛关注与认可。通过陈悦等<sup>[7]</sup>开发的 CiteSpace 可视化分析软件, 可实现“一图谱春秋, 一览无余; 一图胜万言, 一目了然”。因此, 本文基于 Web of Science(WOS)核心数据库合集, 对国际农药污染研究历程和前沿进行可视化分析, 勾勒研究历程, 厘定前沿热点, 构建研究框架, 为我国在该领域的后续研究工作提供参考依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

为了更全面地掌握国际农药污染土壤的研究情况, 本文选择 WOS 核心数据库为文献检索数据库, 检索文献发表时间设置为 2001—2020 年, 以“TS=(pesticide OR biocide) AND TS=(soil pollution)”为检索条件进行高级检索, 并以“Article”和“Review”精炼, 共获取文献 1 677 篇。以“全纪录与引用的参考文献”为记录内容, 并以纯文本格式下载保存。

### 1.2 研究方法

CiteSpace 可视化软件通过共引分析理论和寻径网络算法, 对某领域的已有文献进行分析, 以得到包含作者、机构、国家、关键词、主题等不同种类的共现图谱和时间轴图谱, 进而帮助研究者分析领域演化路径、探测研究前沿并推断未来发展。

本文借助 CiteSpace 可视化软件, 以 WOS 核心数据库中有关农药污染的研究文献为样本, 推演国际农药污染领域的研究历程, 总结该领域的阶段性发展, 并把握研究热点和前沿, 进而帮助研究者了解发

展方向, 为我国农药污染评价和修复提供理论参考。

## 2 结果与分析

### 2.1 主题演变

发文量可直观地反映学术界对某一研究领域的重视程度, 一般情况下发文量越多, 表明该领域的研究越活跃<sup>[8]</sup>。通过该领域研究文献量的时间分布情况(图 1), 可基本了解农药污染领域国际研究的活跃程度。同时, 利用 CiteSpace5.6.R4 可视化软件, 将检索得到的文献以一年为单位进行时间切片, 以关键词为节点类型, 选取前 5% 引用次数最多或出现次数最多的项目得到 187 个节点、1 517 条连线的共现图谱, 并以时间图谱的方式进行展现(图 2)。

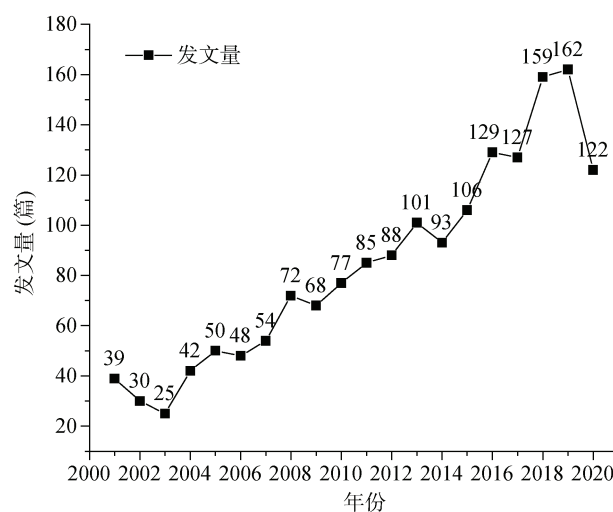


图 1 年度发文量

Fig. 1 Annual publication amount

本文将 2001—2020 年期间国际土壤农药污染研究分为两个阶段: 平稳发展阶段和研究激增阶段。

1) 平稳发展阶段(2001—2006 年)。该阶段的年度发文量均不超过 50 篇, 但自 2003 年起, 具有明显的上升趋势, 表明在此期间, 土壤农药污染领域研究逐步受到国际学者的关注。结合图 2 可知, 在此期间, 重金属污染、面源污染、农药残留等研究均有开展, 研究视角多样。深入研究该阶段发表论文, 被引频次前 10 位的研究论文见表 1。从表 1 可知, 该阶段被引频次前 10 位的研究论文中有半数论文的研究主题并未针对某区域或某污染物, 研究视角宽广, 研究内容宽泛, 为后续的深入研究提供了指导性意见。例如 Stoaite 等<sup>[9]</sup>提出, 为了尽可能减少农药对土壤、地表径流、地下水和空气的污染, 保证生物多样性和生态链的健康, 应融合社会文化进行土地多功能利用以达到经济和生态目标; Holland<sup>[10]</sup>赞同推行保护性耕作,

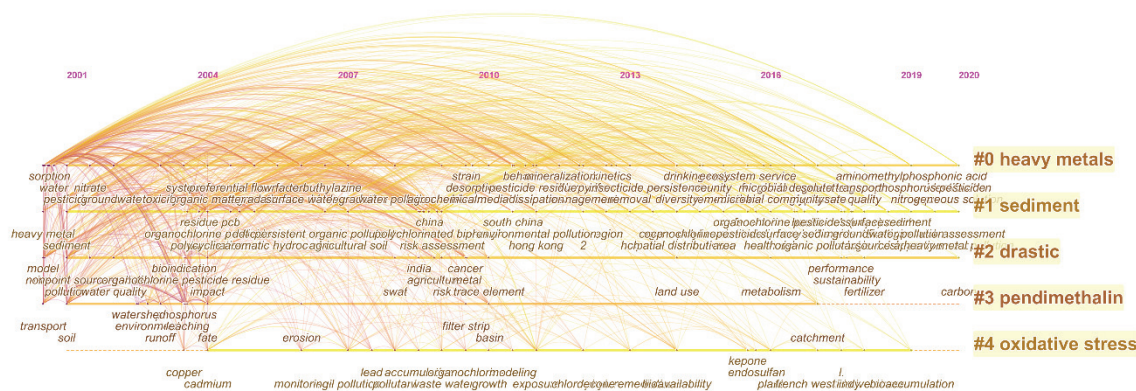


图 2 国际土壤农药污染研究关键词共现时间图谱

Fig. 2 Co-occurrence timeline of keywords in research on pesticide pollution in soil

以改善土壤结构和稳定性、降低农药对地表水的污染风险；Horrihan 等<sup>[11]</sup>评估了农药对人类的癌症风险，概述了食品生产相关的环境和人类健康问题，并讨论了如何使这些系统更具可持续性。另外半数论文的研究针对具体污染物，同时研究范围较大，为后续研究提供了数据参考。例如 Akcay 等<sup>[12]</sup>研究了布亚克、

孟德尔和格迪兹河沉积物中重金属污染及形态，与工业化之前和农药密集施用开始之前概述的测量结果比较，得出污染可能源自工业、农业和家庭废物排放的结论。中国学者 Zhou 等<sup>[15]</sup>探究了钱塘江表层水和沉积物中有机氯农药的分布，证明了污染源不同且污染程度较高。

表 1 2001—2006 年土壤农药污染研究被引频次前 10 位论文

Table 1 The top 10 cited papers related to pesticide pollution in soil from 2001 to 2006

| 文题  | 作者                         | 被引频次 | 出版年  |
|---|----------------------------|------|------|
| Ecological impacts of arable intensification in Europe  | Stoate 等 <sup>[9]</sup>    | 713  | 2001 |
| The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence                           | Holland <sup>[10]</sup>    | 502  | 2004 |
| How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture                  | Horrihan 等 <sup>[11]</sup> | 362  | 2002 |
| Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments                                   | Akcay 等 <sup>[12]</sup>    | 233  | 2003 |
| Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications                                     | Borah 等 <sup>[13]</sup>    | 214  | 2004 |
| Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems   | Margni 等 <sup>[14]</sup>   | 198  | 2002 |
| Distribution of organochlorine pesticides in surface water and sediments from Qiantang River, East China                    | Zhou 等 <sup>[15]</sup>     | 193  | 2006 |
| Persistent organic pollutants in agricultural soils of central Germany  | Manz 等 <sup>[16]</sup>     | 176  | 2001 |
| Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology | Zalidis 等 <sup>[17]</sup>  | 171  | 2002 |
| Fate of veterinary antibiotics in a macroporous tile drained clay soil  | Kay 等 <sup>[18]</sup>      | 166  | 2004 |

2)研究激增阶段(2007—2020年)。该阶段年度发文量以近乎 10 篇/年的增速接连上升，表明学术界对该领域的研究逐渐重视，且研究热点多样，研究热度持续时间长。由图 2 连线可知，2007 年后开展的研究与前期研究关系密切，具有良好的延续性，同时证明前期研究工作具有良好的指导意义，佐证了上述观

点。另外，图 2 中关键词展现出该阶段研究目标逐渐偏向国内的趋势，表明我国学术界对该领域研究逐渐重视。深入研究该阶段的发表论文，被引频次前 10 位的研究论文见表 2。从表 2 可知，该阶段的研究着重于污染物的降解与处理，例如 Arias-Estévez 等<sup>[19]</sup>综述了土壤系统的物理和化学特性(例如含水量、有

机物、黏粒含量以及 pH)对农药的吸附/解吸和降解以及其进入地下水和地表的影响,得出需要综合多学科的环境研究方法,才能开发可进行有效环境决策的工具和技术; Ma 等<sup>[22]</sup>综述了植物-微生物的协同修复

作用,明确了协同修复可避免单独植物修复耗时和高毒性的问题,并说明了植物生长促进根际和/或内生细菌在加速植物修复效应中的作用。另外不可忽视的是,该阶段的研究中,中国学者做出的贡献明显增加<sup>[23-25]</sup>。

表 2 2007—2020 年土壤农药污染研究被引频次前 10 位论文  
Table 2 The top 10 cited papers related to pesticide pollution in soil from 2007 to 2020

| 文题  | 作者                              | 被引频次 | 出版年  |
|---|---------------------------------|------|------|
| The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources  | Arias-Estévez 等 <sup>[19]</sup> | 618  | 2008 |
| Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes  | Rivett 等 <sup>[20]</sup>        | 592  | 2008 |
| The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world   | Noyes 等 <sup>[21]</sup>         | 447  | 2009 |
| Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils  | Ma 等 <sup>[22]</sup>            | 432  | 2011 |
| Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs | Chen 等 <sup>[23]</sup>          | 336  | 2015 |
| Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China  | Lu 等 <sup>[24]</sup>            | 325  | 2015 |
| Distribution and speciation of heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China   | Yang 等 <sup>[25]</sup>          | 280  | 2009 |
| Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants  | Ghormade 等 <sup>[26]</sup>      | 269  | 2011 |
| Epidemiologic evidence of relationships between reproductive and child health outcomes and environmental chemical contaminants  | Wigle 等 <sup>[27]</sup>         | 255  | 2008 |
| Comet assay: A reliable tool for the assessment of DNA damage in different models   | Dhawan 等 <sup>[28]</sup>        | 244  | 2009 |

## 2.2 合作关系

通过研究机构和国家的发文量可直观判断某机构或某国家对土壤农药污染研究领域的关注程度。同时借助 CiteSpace 可视化软件,由中心性、密度值、连接线等量化值可分析机构与国家的合作紧密程度,

为后续开展国际合作提供参考。

分别选择节点类型为“Institution”和“Country”,以前 10% 出现次数最多的项目得到 181 个节点、155 条连线的研究机构共现图谱(图 3A)和 12 个节点、17 条连线的国家共现图谱(图 3B)。

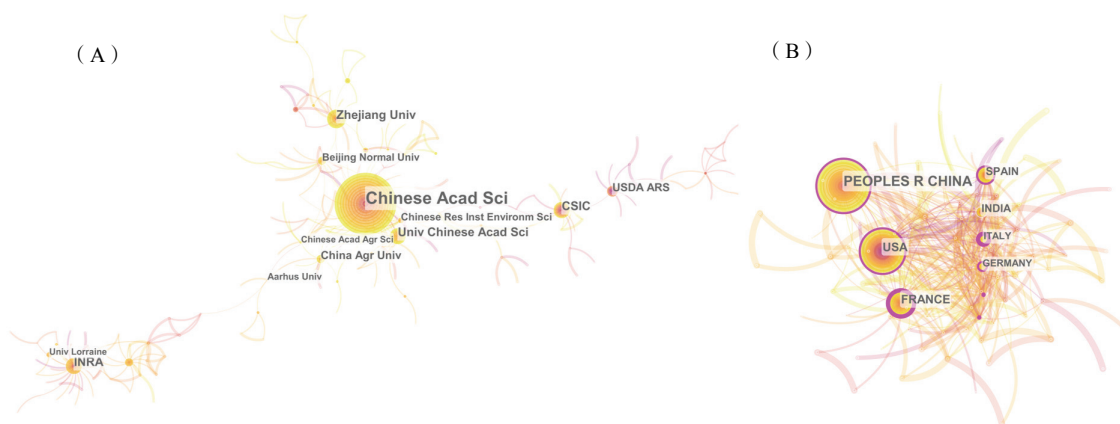


图 3 国际土壤农药污染研究机构(A)和研究国家(B)共现图谱

Fig. 3 Co-occurrence of institutions(A) and countries(B) in research on pesticide pollution in soil

研究机构共现图谱的密度值仅为 0.009 5,表明国际研究机构合作并不紧密。同时,由图 3 可明显得

知,中国的研究机构在土壤农药污染研究领域做出了巨大贡献,如中国科学院(Chinese Acad Sci)、中国科

学院大学(Univ Chinese Acad Sci)、中国农业大学(China Agr Univ)、浙江大学(Zhejiang Univ)等。其中,中国科学院的中心度最高,为 0.35,表明国内的土壤农药污染研究主要围绕中国科学院展开。另外,法国国家农业食品与环境研究院(INRA)、美国农业部农业研究局(USDA ARS)等国外机构也对该领域关注较多。国家共现图谱表明该领域的研究以中国、美国 and 法国为主要贡献国家,佐证了研究机构共现图谱的结论。

## 2.3 载文期刊分析

本文利用 WOS 自带工具,检索得到在土壤农药污染研究领域 2001—2020 年发文量前 10 位的期刊(表 3)。由表 3 可知,在该领域发文量较多的期刊水平普遍较高,例如 Science of the Total Environment、Chemosphere、Environmental Pollution 和 Journal of Hazardous Materials 等。表明该领域研究受到国际高水平期刊的重视,值得后续深入探究。同时,期刊类型多样,表明该领域研究角度丰富,具有良好的发展潜力。

表 3 2001—2020 年国际土壤农药污染研究发文量前 10 位期刊  
Table 3 The top 10 publications in research on pesticide pollution in soil from 2000 to 2020

| 序号 | 出版物  | 影响因子(2019 年) | 发文量/篇 |
|----|--|--------------|-------|
| 1  | Environmental Science and Pollution Research | 3.056        | 105   |
| 2  | Science of the Total Environment             | 6.551        | 93    |
| 3  | Chemosphere                                  | 5.778        | 83    |
| 4  | Environmental Pollution                      | 6.792        | 57    |
| 5  | Environmental Monitoring and Assessment      | 1.903        | 46    |
| 6  | Ecotoxicology and Environmental Safety       | 4.872        | 33    |
| 7  | Journal of Hazardous Materials               | 9.038        | 31    |
| 8  | Journal of Environmental Management          | 5.647        | 26    |
| 9  | Water Air and Soil Pollution                 | 1.900        | 25    |
| 10 | Fresenius Environmental Bulletin             | 0.691        | 24    |

## 3 热点与前沿

### 3.1 研究热点

使用 CiteSpace5.6.R4 可视化软件,以关键词为节点类型,选取前 5% 引用次数最多或出现次数最多的项目得到 187 个节点、1 517 条连线的共现图谱(图 4)。由图 4 可知,在土壤农药污染研究领域,除了“pesticide”、“pollution”和“soil”这 3 个检索关键词外,其余均代表了该领域重点关注的研究对象。“heavy metal”、“persistent organic pollution”、“organochlorine pesticide”、“poycyclic aromatic hydrocarbon”等关键词表示重点研究了农药导致土壤污染的类型;“sediment”、“residue”、“adsorption”等关键词证明农药降解机制研究也被重视;“water”、“agricultural soil”表示污染环境介质也是研究重点之一。另外,“risk assessment”说明针对农药污染进行风险评估以保证身体健康和生产安全在国际上也受到重视。

### 3.2 研究前沿

在使用“timeline”展现关键词共现图谱的基础上,计算持续 5 a 的突显关键词,得到 23 个突显关键词(图 5)。突显强度较高的有“atrazine”(10.325 9,

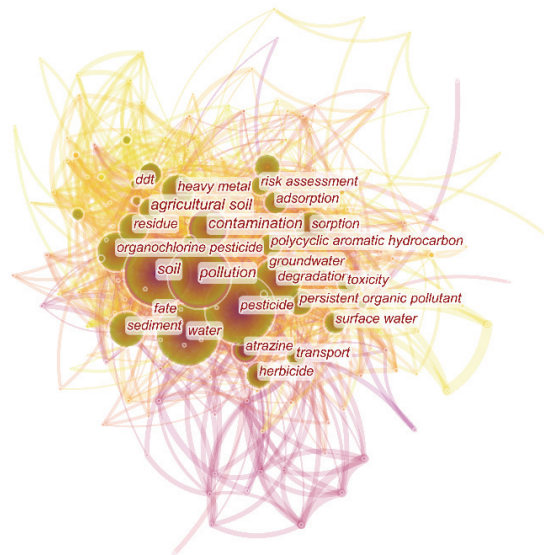


图 4 国际土壤农药污染研究关键词共现图谱  
Fig. 4 Co-occurrence of keywords in research on pesticide pollution in soil

2001—2008 年)、monitoring(8.506 5, 2006—2012 年)、transport(7.591 8, 2001—2007 年)等,表明 21 世纪初研究热点为具体污染物的迁移机制研究。随着研究的深入,持续到现在的突显关键词仅有“organic pollutant”(3.1481, 2015—2020 年),侧面印证了在

近几年的研究激增阶段对于该领域的研究呈现多样化、专业化、深入化的结论。为了更好地实现文献检索和归纳对该领域研究起到引领作用的价值，结合近 3 a 发表在高水平期刊或高被引文献分析，发现科技工

作者围绕有机污染开展了污染源解析、污染空间分布、修复机理、风险评价等多角度的研究<sup>[29-34]</sup>。因此，围绕农药生产、施用后遗留的有机污染展开多角度探究为该领域的研究前沿。

Top 23 Keywords with the Strongest Citation Bursts

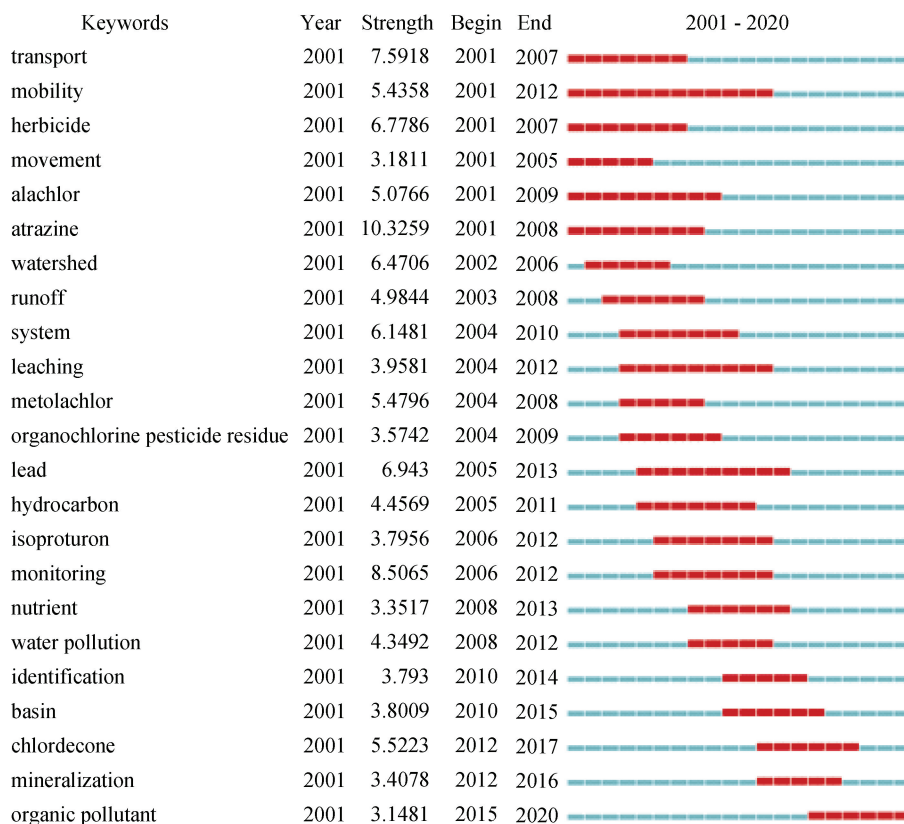


图 5 国际土壤农药污染研究关键词突显图谱

Fig. 5 Burst keywords in research on pesticide pollution in soil

## 4 结论

本文利用 CiteSpace5.6.R4 可视化软件，基于 WOS 数据库近 20 a 在土壤农药污染研究领域发表的 1 677 篇研究论文与综述的样本进行分析，得到如下结论：

1)2001—2020 年期间国际土壤农药污染研究可分为两个阶段：平稳发展阶段和研究激增阶段。在平稳发展阶段，开展了重金属污染、水体富营养化、土壤污染、生物修复等研究，研究视角宽广，研究内容宽泛，为后续的深入研究提供了指导性意见。在研究激增阶段，学术界对该领域的研究逐渐重视，且研究热点多样，研究热度持续时间长。该阶段的研究着重于污染物的降解与处理，且中国学者做出的贡献明显增加。

2)来自中国的研究机构在土壤农药污染研究领域做出了巨大贡献，美国和法国也为主要贡献国家，但国际研究机构合作并不紧密。同时，国内的土壤农药污染研究主要围绕中国科学院展开。

3)该领域研究受到国际高水平期刊的重视，值得后续深入探究。同时，期刊类型多样，表明该领域研究角度丰富，具有良好的发展潜力。

4)研究热点主要围绕污染类型、降解机制和风险评估展开。

5)围绕农药生产、施用后遗留的有机污染展开污染源解析、污染空间分布、修复机理、风险评价等多角度探究为该领域的研究前沿。

## 参考文献：

- [1] 王佳新, 李媛, 王秀东, 等. 中国农药使用现状及展望[J]. 农业展望, 2017, 13(2): 56-60.
- [2] 王艳. 不同有机物料对有机磷农药污染土壤酶活性及土壤微生物量的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(7): 1205-1209.
- [3] Sun S X, Sidhu V, Rong Y H, et al. Pesticide pollution in agricultural soils and sustainable remediation methods: a review[J]. Current Pollution Reports, 2018, 4(3): 240-250.

- [4] He H, Shi L, Yang G, et al. Ecological risk assessment of soil heavy metals and pesticide residues in tea plantations[J]. *Agriculture*, 2020, 10(2): 47.
- [5] 赵玲, 滕应, 骆永明. 中国农田土壤农药污染现状和防控对策[J]. *土壤*, 2017, 49(3): 417-427.
- [6] 陈悦, 刘则渊. 悄然想起的科学知识图谱[J]. *科学学研究*, 2005, 23(2): 149-154.
- [7] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. Cite Space 知识图谱的方法论功能[J]. *科学学研究*, 2015, 33(2): 242-253.
- [8] 樊贵莲, 庞紫云, 郭淑芬. 国际产业集群研究的演进脉络及空间分布——基于 SSCI 数据库 1988-2015 年数据的科学计量分析[J]. *科技管理研究*, 2017, 37(12): 172-181.
- [9] Stoate C, Boatman N D, Borralho R J, et al. Ecological impacts of arable intensification in Europe[J]. *Journal of Environmental Management*, 2001, 63(4): 337-365.
- [10] Holland J M. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 103(1): 1-25.
- [11] Horrigan L, Lawrence R S, Walker P. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2002, 110(5): 445-456.
- [12] Akcay H, Oguz A, Karapire C. Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments[J]. *Water Research*, 2003, 37(4): 813-822.
- [13] Borah D K, Bera M. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications[J]. *Transactions of the ASAE*, 2004, 47(3): 789-803.
- [14] Margni M, Rossier D, Crettaz P, et al. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 93(1/2/3): 379-392.
- [15] Zhou R B, Zhu L Z, Yang K, et al. Distribution of organochlorine pesticides in surface water and sediments from Qiantang River, East China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 137(1): 68-75.
- [16] Manz M, Wenzel K D, Dietze U, et al. Persistent organic pollutants in agricultural soils of central Germany[J]. *Science of the Total Environment*, 2001, 277(1/2/3): 187-198.
- [17] Zalidis G, Stamatiadis S, Takavakoglou V, et al. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 88(2): 137-146.
- [18] Kay P, Blackwell P A, Boxall A B A. Fate of veterinary antibiotics in a macroporous tile drained clay soil[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2004, 23(5): 1136-1144.
- [19] Arias-Estévez M, López-Periago E, Martínez-Carballo E, et al. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 123(4): 247-260.
- [20] Rivett M O, Buss S R, Morgan P, et al. Nitrate attenuation in groundwater: a review of biogeochemical controlling processes[J]. *Water Research*, 2008, 42(16): 4215-4232.
- [21] Noyes P D, McElwee M K, Miller H D, et al. The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world[J]. *Environment International*, 2009, 35(6): 971-986.
- [22] Ma Y, Prasad M N V, Rajkumar M, et al. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils[J]. *Biotechnology Advances*, 2011, 29(2): 248-258.
- [23] Chen M, Xu P, Zeng G M, et al. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs[J]. *Biotechnology Advances*, 2015, 33(6): 745-755.
- [24] Lu Y L, Song S, Wang R S, et al. Impacts of soil and water pollution on food safety and health risks in China[J]. *Environment International*, 2015, 77: 5-15.
- [25] Yang Z F, Wang Y, Shen Z Y, et al. Distribution and speciation of heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 166(2/3): 1186-1194.
- [26] Ghormade V, Deshpande M V, Paknikar K M. Perspectives for nano-biotechnology enabled protection and nutrition of plants[J]. *Biotechnology Advances*, 2011, 29(6): 792-803.
- [27] Wigle D T, Arbuckle T E, Turner M C, et al. Epidemiologic evidence of relationships between reproductive and child health outcomes and environmental chemical contaminants[J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 2008, 11(5/6): 373-517.
- [28] Dhawan A, Bajpayee M, Parmar D. Comet assay: a reliable tool for the assessment of DNA damage in different models[J]. *Cell Biology and Toxicology*, 2009, 25(1): 5-32.
- [29] Shou C G. Research progress of source and mechanism of agricultural non-point source pollution in China[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019, 17(5): 10611-10621.
- [30] Fikarová J, Kříženecká S, Elznicová J, et al. Spatial distribution of organic pollutants (PAHs and polar pesticides) in the floodplain of the Ohře (Eger) River, Czech Republic[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2018, 18(1): 259-275.
- [31] Yu H Y, Liu Y F, Shu X Q, et al. Assessment of the spatial distribution of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban soil of China[J]. *Chemosphere*, 2020, 243: 125392.
- [32] García-Delgado C, Marín-Benito J M, Sánchez-Martín M J, et al. Organic carbon nature determines the capacity of organic amendments to adsorb pesticides in soil[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 390: 122162.
- [33] Mungai T M, Wang J. Occurrence and toxicological risk evaluation of organochlorine pesticides from suburban soils of Kenya[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(16): 2937.
- [34] Skala J, Vacha R, Cupr P. Which compounds contribute most to elevated soil pollution and the corresponding health risks in floodplains in the headwater areas of the central European watershed[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(6): 1146.