

# 基于 Web of Science 对土壤有机物污染 修复研究的计量分析

张雪伟<sup>1</sup>, 王佳熠<sup>1</sup>, 陈丹丹<sup>1,2,3</sup>

(1. 南京师范大学能源与机械工程学院, 江苏 南京 210023)

(2. 东南大学能源与环境学院, 江苏 南京 210096)

(3. 中建中环工程有限公司, 江苏 南京 210017)

**[摘要]** 对土壤有机物污染修复领域当前的研究现状进行了计量分析。基于 Web of Science<sup>TM</sup> (WOS) 核心合集数据库及其自带的分析工具, 同时利用 HistCite、VOSviewer 及 Origin9.1 等绘图软件对结果进行分析。检索了从 2000—2019 年发文量排名前 10 的国家、作者、机构、期刊以及排名前 10 的热点研究方向、排名前 10 的高引论文以及国内外在该领域的研究热点, 对该领域在 WOS 核心合集数据库中的研究内容进行了总结。结果表明, 中国在该领域的发文量最多, 随后是美国、印度以及西班牙; 中国科学院在该领域的重要研究机构中排名第一, 其次是西班牙高等科学研究委员会以及浙江大学。收录该领域文章最多的 3 个机构为 Chemosphere、Journal of Hazardous Materials 以及 Environmental Science & Technology 期刊; 主要涉及的学科有环境科学、生物技术与应用微生物学以及工程环境学。主要的修复技术有植物修复、生物修复、化学氧化等方法, 其中中国在有机物的氧化降解方面研究较多。同时, 对土壤有机物污染修复技术领域的研究内容进行了统计, 为了解该领域当前的研究热点及预测未来发展趋势提供了参考。

**[关键词]** 土壤, 有机物污染, 修复, 计量分析, 可视化分析

**[中图分类号]** X53 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2020)04-0065-10

## Bibliometric Analysis of Research Papers on Remediation of Organic Contaminated Soils Based on Web of Science

Zhang Xuewei<sup>1</sup>, Wang Jiayi<sup>1</sup>, Chen Dandan<sup>1,2,3</sup>

(1. School of Energy and Mechanical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

(2. School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China)

(3. China Construction Power and Environment Engineering Co., Ltd., Nanjing 210017, China)

**Abstract:** The current status of research in the field of organic contaminated soils is analyzed. Based on the Web of Science<sup>TM</sup> (WOS) core collection database and its own analysis tools, the results are analyzed by using HistCite, VOSviewer and Origin9.1. The main aspects of these research papers (2010–2019) are analyzed, including the top 10 countries, authors, institutions, journals, top 10 hot research directions, top 10 highly cited papers and domestic and foreign research hotspots. According to the research results, China, the United States, India and Spain have more researches in this field. Three authors in China have a high volume of publications in this field. The top 3 major research institutions are the Chinese Academy of Sciences, CSIC, and Zhejiang University. Articles in this field have been mainly published in journals of environmental field, i. e., Chemosphere, Journal of Hazardous Materials, Environmental Science & Technology, and Science of The Total Environment. The major subjects involved are Environmental Sciences, Biotechnology Applied Microbiology, and Engineering Environmental science. The major repair technologies include Phytoremediation, Bioremediation, Chemical oxidation and other methods. Researchers in China have done a lot of work on the oxidative degradation of organic pollution. The detailed statistics to the research papers in the field of soil organic pollution remediation technology is

收稿日期: 2020-03-05.

基金项目: 江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20190708)、中国博士后科学基金第 64 批面上项目(2018M642137)、江苏省高等学校自然科学研究面上项目(18KJB470015).

通讯作者: 陈丹丹, 博士, 讲师, 研究方向: 废弃物资源化与资源化. E-mail: dandanchen@njnu.edu.cn

analyzed in this paper, which is helpful to understand the current research hotspots in this field and predict future development trends.

**Key words:** soil, organic pollution, remediation, econometric analysis, visual analysis

土壤是社会经济、科技发展以及人类生产生活的基础。在社会发展过程中,人类的生产活动对土壤造成的污染越来越严重,土壤被污染的速度和数量远远超过其净化能力<sup>[1]</sup>。由于被污染的土壤具有潜伏性<sup>[2]</sup>、隐蔽性及不可逆性等特点,污染物存在越久,随着生态系统的循环,不仅会破坏环境,也会通过植物吸收并经食物链积累在人体中<sup>[3]</sup>。土壤污染通常是指重金属污染和有机污染,其中造成有机污染的主要污染物有多环芳烃、多氯联苯、有机农药、三氯乙醛、抗生素及石油等<sup>[2]</sup>。有机物具有致癌性强、毒性强、积累性强及难降解等特点,如何修复被有机物污染的土壤已成为被关注的热点<sup>[4]</sup>。根据2014年4月17日颁布的《全国土壤污染状况调查公报》<sup>[5]</sup>,全国土壤的总超标率为16.1%,其中三类主要有机污染物六氯环己烷(俗名六六六)、双对氯苯基三氯乙烷(俗名滴滴涕)和多环芳烃点位超标率为3.8%。以长江三角洲为例,此区域内农田环境的土壤中含有27种母体多环芳烃,总量平均达到310.6 ng/g,且有超过半数的土壤点位均受多环芳烃的污染。我国目前有超过400万t的六氯环己烷以及44万t的双对氯苯基三氯乙烷被投入生产和使用,使用量居于世界前列。目前全国土壤有机氯农药平均浓度为 $58.9 \pm 51.5$  ng/g;土壤多氯联苯平均浓度为 $9.31 \pm 15.4$  ng/g;多环芳烃平均浓度为 $772 \pm 895$  ng/g<sup>[6]</sup>。关于土壤有机物污染修复方法的研究有很多,但缺少从研究方向、研究热点、研究领域及研究机构等方面进行计量分析来预测该领域未来的技术创新及研究方向的文章。

文献计量学是一种通过将统计学与数学结合运用的方法<sup>[7]</sup>,定量分析某一特定领域下文献的数量关系、分布结构以及变化规律,从而可较准确地预测该领域的未来发展趋势<sup>[8-10]</sup>的一种科学。文献计量学基于统计出的最真实的数据<sup>[11]</sup>,使用这种方法的基础在“量”<sup>[12]</sup>,所以必须进行大量的统计工作,整理出相关数据。文献计量学目前已在医学、生态学、文学、土壤学、食品安全学以及资源利用等方面发展得较为普遍<sup>[13-17]</sup>。Web of Science<sup>TM</sup>核心合集数据库涵盖自然学科、工科、理科、医学等各个领域,所提供的文献普遍质量较高,可借鉴程度较高。HistCite是一项由SCI发明人加菲尔德开发的软件,通过图示的方法来展示某一领域中不同文献间的关系,根据参与分析的文件的被引频次,可判断文章在某一专业领域内的地位。利用HistCite的4个重要参数:TLCS(total local citation score,本领域总引用次数)、TGCS(total global citation score,总引用次数)、GCS(global citation score,引用次数)及LCS(local citation score,本领域引用次数),可迅速定位出某领域的重要机构、重要作者及重要期刊等。LCS一定低于GCS,若一篇文章的GCS很高,说明该文章受到全球科学家的关注较多;若一篇文章的GCS很高,而LCS很低,则说明所统计出的关注并不来源于该搜索领域的作者。TLCS指数比TGCS更为重要,因为TLCS指数高表示的更有可能是该领域中较为开创性的文章<sup>[18]</sup>。VOSviewer是在CWTS资助下开发的科学图谱工具,支持大规模的数据处理,可对统计出的高产作者、高产机构、重要文献、关键词提供聚类共现可视化分析<sup>[19]</sup>。

本文通过研究Web of Science<sup>TM</sup>核心合集数据库,利用其自带的分析程序、HistCite分析软件、VOSviewer分析软件及Origin 9.1软件,对2000—2019年期间所发表的关于土壤有机物污染修复的研究文献展开计量分析,跟踪该领域的学科动态。由于该领域科研成果较为丰富,且研究内容更新快,故选取近20年内的研究进行计量分析,以期为该领域未来发展方向的预测提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

利用汤森路透公司发明的WOS数据库,检索时间段设置为2000年1月1日至今,检索时间为2019年3月13日,关键词Topic=(soil\* or ground\* or land\* or farmland\* or field or cropland\*) and (organic or dioxins or volatile organic or volatile halocarbons or benzene or PAH or polychlorinated biphenyl or volatile aromatic hydrocarbons or phenol\* or semi-volatile organic or semi-volatile halocarbons or semi-volatile aromatic hydrocarbons or pesticide) and (pollute\* or contaminat\*) and (repair or restore\* or renovate or decontaminate or phytoremediat\* or physical remediati\* or bioremediat\* or chemical remediati\*)作为检索式,在WOS数据库中

检索自 2000 年至今发表的有关土壤有机物污染修复的研究文献共 5 272 篇,导入 HistCite 中的文献共计 5 272 篇.

1.2 统计方法

利用 Web of Science™ 自有的分析程序、HistCite 分析软件、VOSviewer 分析软件以及 Origin 绘图软件,对自 2000 至今所发表的关于土壤有机物污染修复技术的文献,分别从不同国家地区的发文量、高产作者、主要研究机构、主要期刊来源、研究方向等角度进行计量分析.

2 结果

2.1 2000—2019 年发文量排名前 10 的国家和地区

一个国家和地区所产论文被 SCI 收录的数量及被引频次可反应其总体的科研实力<sup>[20-22]</sup>. 本研究从 WOS 核心合集数据库中检索出了中国、西班牙、美国、加拿大、印度、意大利等 105 个国家和地区发表的关于土壤有机物污染修复的论文,并通过现有的数据对该时间段不同国家和地区的发文量进行统计分析. 表 1 展示了论文发表数量排在前 10 名的国家和地区. 从表 1 可知,中国的发文量最多,总计 1 088 篇,均篇被引频次却只有 16.72,排名低于其他 9 个国家. 美国的发文量排名第二,其均篇被引频次远高于中国及其他部分国家和地区. 英国的总体发文量虽然不高,但其论文均篇被引频次最高,说明其文章的影响力非常高. 由 VOSviewer 软件根据检索出的结果所做的国家和地区之间的关系图如图 1 所示,图中通过圆圈的大小代表某一国家和地区的文章发表数量及发文的活跃程度;国家和地区之间用线相连,其距离表示其合作的紧密程度,距离越小,合作越紧密. 从图 1 可以看出,很多国家与地区之间的联系非常密切,与中国来往密切的有美国、新加坡和爱尔兰等国家.

表 1 2000—2019 年土壤有机污染物修复研究发文量排名前 10 的国家和地区

Table 1 Top 10 countries or regions in volume of publication in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019

国家/地区	发文量/篇	占比/%	总被引频次	均篇被引频次
中国	1 088	20.64	18 195	16.72
美国	855	16.22	27 388	32.03
印度	377	7.15	9 045	23.99
西班牙	320	6.07	7 831	24.47
意大利	267	5.06	6 051	22.66
加拿大	256	4.86	8 755	34.20
英国	247	4.69	10 081	40.81
法国	239	4.53	6 063	25.37
德国	222	4.21	6 851	30.86
澳大利亚	201	3.81	5 151	25.63

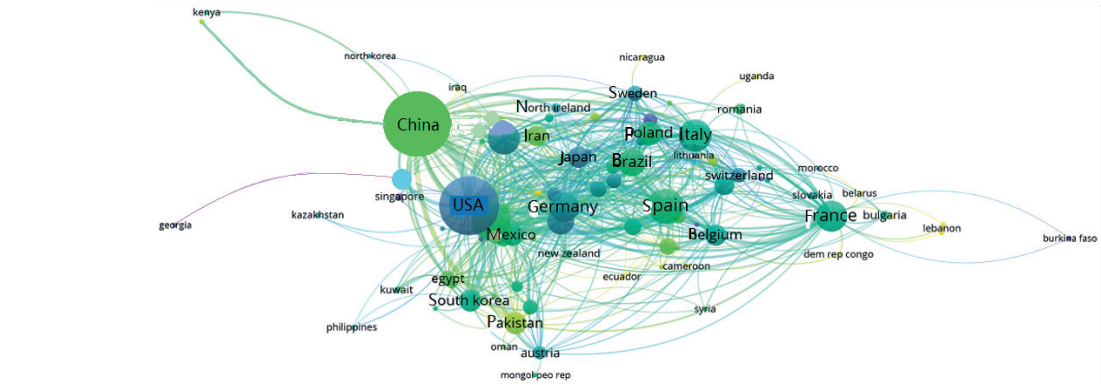


图 1 2000—2019 年土壤有机物污染修复研究各个国家与地区之间的合作联系

Fig. 1 Cooperation between countries in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019

2.2 2000—2019 年发文量排名前 10 的作者

通过对某一领域高产作者的发文数量及被引频次的统计,可以找到该研究领域的一些重要作者<sup>[23]</sup>. 据统计,从事该领域研究的作者共 14 567 位,其中发文量排名前 10 的作者如表 2 所示. 根据 TLCS 统计数据可以看出,数据最高的是澳大利亚学者 Naidu R,达到了 327;数据最低的是美国学者 Wang Y,为 49. TGCS 的统计结果显示,排名前 3 位分别为比利时学者 Vangronsveld J、英格兰学者 Semple K T 和澳大利亚学者 Naidu R. 根据混合量化指标 H 指数的排序,前两名分别为比利时学者 Vangronsveld J 和澳大利亚学者 Naidu R. 高产作者中中国作者人数最多,共计有 3 位(分别为高志明、骆永明和高彦征). 图 2 所示为该领域的核心作者之间的合作关系,不同颜色表示不同的群组,同一颜色表示属于该颜色区域的作者研究方向相同;节点越多,说明对于该方向展开的研究越多;节点越大说明该节点处的作者对该研究方向的影响越大,与其他作者的联系也越多. 可以看出,比利时学者 Vangronsveld J 在该领域内影响力很大,且与该领域其他作者联系紧密. 中国学者周启星、郭书海也在自己研究的领域内影响深厚.

表 2 2000—2019 年土壤有机物污染修复研究发文量排名前 10 的高产作者

Table 2 Top10 high yield authors in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019					
作者	所属国家	发文量/篇	H 指数	本领域总引用次数 TLCS	总引用次数 TGCS
Naidu R	澳大利亚	45	61	327	1 077
Kao C M	中国	38	29	143	654
Luo Y M	中国	31	43	255	1 009
Megharaj M	澳大利亚	31	41	259	826
Vangronsveld J	比利时	29	63	317	1 525
Macek T	捷克	25	29	252	881
Wang Y	美国	25	10	49	340
Gao Y Z	中国	24	27	312	941
Semple K T	英格兰	24	42	294	1 097
Afzal M	巴基斯坦	23	11	234	601

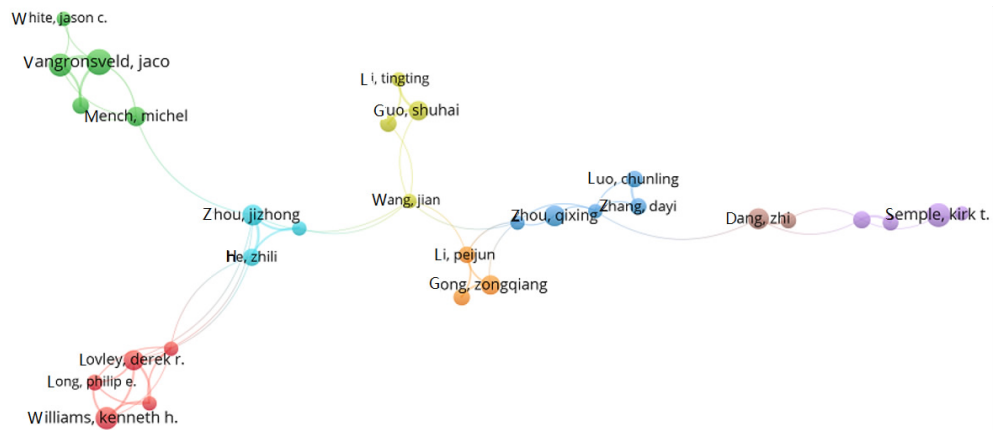


图 2 2000—2019 年土壤有机物污染修复研究重要作者间的合作关系

Fig. 2 Relations of cooperation between important authors in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019

2.3 2000—2019 年发文量排名前 10 的研究机构

通过计量分析,该领域的研究论文总共涉及 3 831 个研究机构,其中排名前 10 的如表 3 所示. 2000—2019 年中国科学院在土壤有机物污染修复技术领域的总发文量为 251 篇. 排名前 10 的研究机构中,中国机构有中国科学院、浙江大学、清华大学、南京农业大学和台湾中山大学. 图 3 显示的是该领域部分重要研究机构之间的合作关系,可以看出,中国科学院与上海交通大学、浙江大学、亥姆霍兹环境研究中心及南京农业大学等都有非常密切的合作关系,且中国科学院的研究在该领域占有非常大的比重. 其中,中国科学院土壤研究所侧重于对持久性有机物 POPs 方向的研究,浙江大学侧重于对表面活性剂强化微生物修复的研究,南京农业大学侧重于对农田和城市工业企业搬迁后遗留场地污染问题的研究.





表 4 2000—2019 年土壤有机物污染修复研究发文量排名前 10 的研究期刊

Table 4 Top10 journals of publication in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019				
期刊名称	发文量	2017 年影响因子	本领域总引用次数 TLCS	总引用次数 TGCS
Chemosphere	299	4.43	2 104	9 514
Environmental Science and Pollution Research	232	2.80	753	3 532
Journal of Hazardous Materials	200	6.43	2 017	8 214
International Journal of Phytoremediation	172	1.89	587	2 264
Environmental Science & Technology	160	6.65	1 206	7 913
Science of the Total Environment	144	4.61	483	2 665
International Biodeterioration & Biodegradation	136	3.56	738	2 784
Water Air and Soil Pollution	136	1.77	306	1 906
Environmental Pollution	132	4.36	1 271	6 316
Biodegradation	89	2.41	532	2 121

2.5 2000—2019 年该领域排名前 10 的研究学科

如图 4 所示,2000—2019 年排名前 10 的研究学科为环境科学 (Environmental Sciences)、生物技术与应用微生物学 (Biotechnology and Applied Microbiology)、工程环境学 (Engineering Environmental)、水资源学 (Water Resources)、微生物学 (Microbiology) 和土壤科学 (Soil Science) 等. 可知,与土壤有机物污染修复相关的学科领域分布十分广泛,以环境科学、生物技术与应用微生物学为主,向其他学科延伸,各学科间的交互研究今后也会更加频繁. 表 5 给出了 2000—2006 年、2007—2012 年、2013—2019 年 3 个时段中该领域前 10 名研究方向的变化情况,其中主要的研究学科并无大的变化.

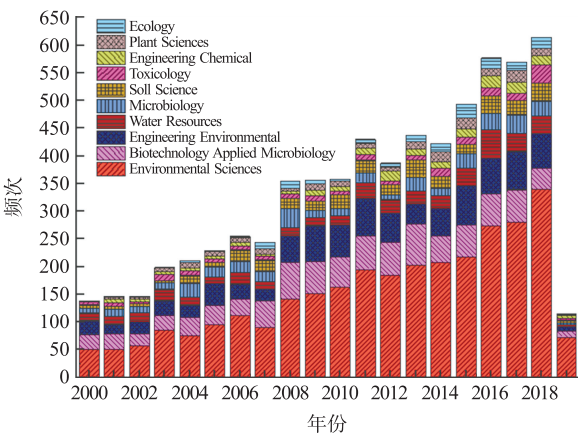


图 4 2000—2019 年土壤有机物污染修复领域的研究方向  
Fig. 4 Research direction in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019

表 5 2000—2006、2007—2012、2013—2019 3 个时间段土壤有机物污染修复领域的研究方向

2000—2006		2007—2012		2013—2019	
研究方向	发文量	研究方向	发文量	研究方向	发文量
Environmental Sciences	526	Environmental Sciences	927	Environmental Sciences	1 594
Biotechnology Applied Microbiology	200	Biotechnology Applied Microbiology	344	Engineering Environmental	361
Engineering Environmental	178	Engineering Environmental	315	Biotechnology Applied Microbiology	346
Water Resources	113	Soil Science	123	Water Resources	196
Microbiology	111	Water Resources	112	Soil Science	166
Soil Science	61	Microbiology	104	Microbiology	157
Geosciences Multidisciplinary	54	Engineering Chemical	60	Ecology	109
Toxicology	49	Energy Fuels	56	Plant Sciences	102
Plant Sciences	41	Ecology	51	Toxicology	100
Biochemistry Molecular Biology	35	Plant Sciences	48	Engineering Chemical	99

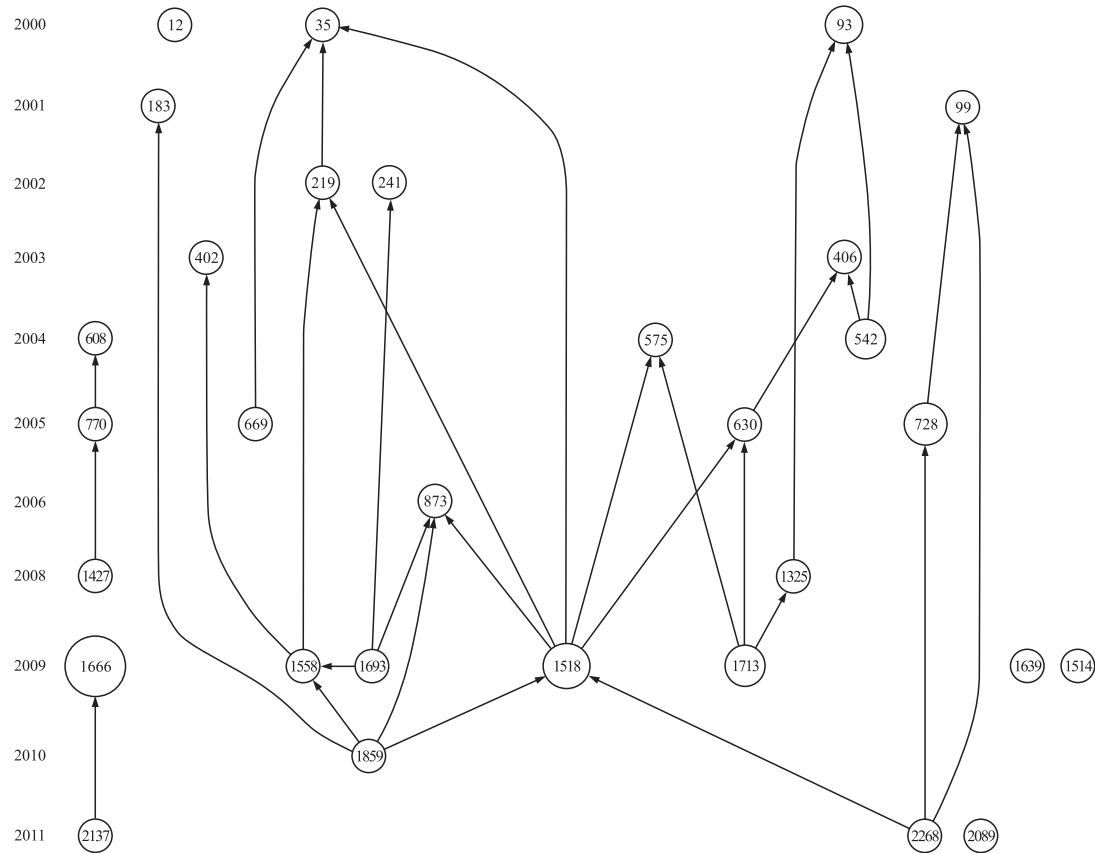
2.6 2000—2019 年土壤有机物污染研究领域的高引论文

文章的被引频次可反映人们对文章所涉及领域的关注程度,也可用以衡量该文章的重要程度. 土壤有机物污染修复研究领域被引频次位于前 10 的论文如表 6 所示. 从 LCS 排序可以看出,印度作者 Haritash A K 发表的“Biodegradation Aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs):A Review”被引频次最高. 10 篇高引论文中,有 3 位英国作者,剩下的来自加拿大、美国和中国等不同国家. 图 5 为由 HistCite 分析软件制作的 LCS 排名前 30 的论文的被引关系,编号为 1666 的文章被引频次最大,编号为 1 518 和 728 的文章也被高频引用.

表 6 2000—2019 年土壤有机物污染修复研究领域排名前 10 的高引论文

Table 6 Top10 highly cited papers in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019					
编号	论文题目	发表年份	作者	作者国家	本领域引用次数 LCS
1 666	Biodegradation Aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A Review	2009	Haritash A K	印度	242
1 518	Phytoremediation and Rhizoremediation of Organic Soil Contaminants: Potential and Challenges	2009	Gerhardt K E	加拿大	152
728	Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Current Knowledge and Future Directions	2005	Bamforth S M	英格兰	120
1 713	Remediation of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)	2009	Gan S	马来西亚	114
542	Plant Uptake, Accumulation and Translocation of Phenanthrene and Pyrene in Soils	2004	Gao Y Z	中国	111
2 268	Bioremediation Approaches for Organic Pollutants: A Critical Perspective	2011	Megharaj M	澳大利亚	102
93	Dissipation of 3-6-ring Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Rhizosphere of Ryegrass	2000	Binet P	法国	99
770	Bacterial Community Dynamics and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degradation During Bioremediation of Heavily Creosote-Contaminated Soil	2005	Vinas M	西班牙	93
99	Impact of Composting Strategies on the Treatment of Soils Contaminated with Organic Pollutants	2001	Semple K T	英格兰	89
630	Utilising the Synergy Between Plants and Rhizosphere Microorganisms to Enhance Breakdown of Organic Pollutants in the Environment	2004	Chaudhry Q	英格兰	83

注:编号是在 WOS 中通过主题词搜索的 5 272 篇文章按被引频次降序排列的序号.

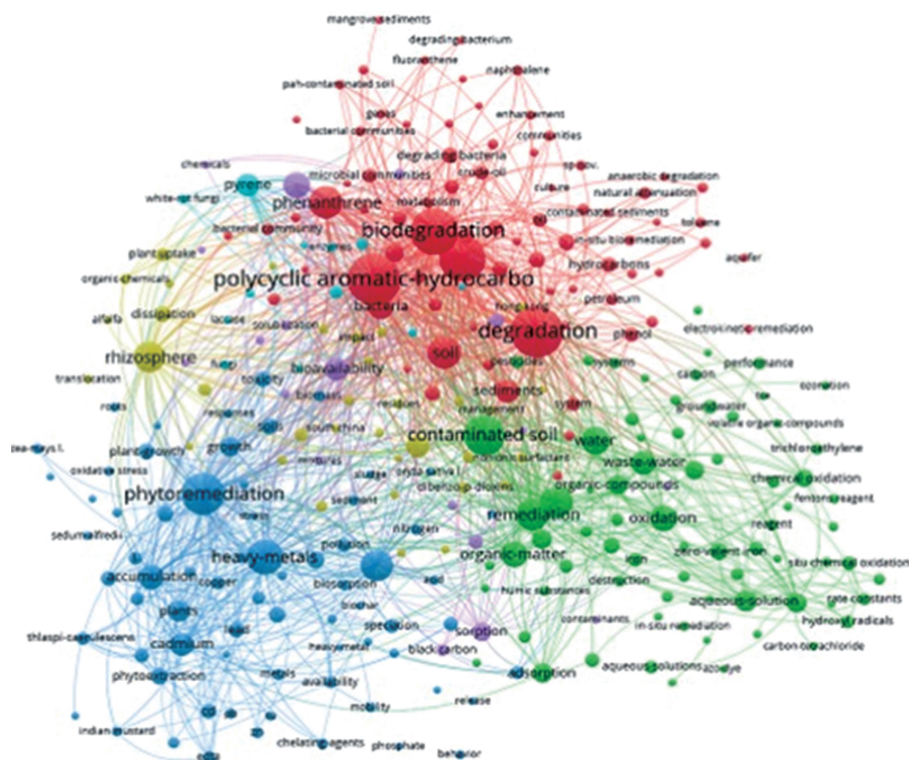


注:图中左边第一列数字代表年份;圆圈中的数字表示在 5 272 篇文章按被引频次降序排列的序号;圆圈越大则该文献被本领域引用频次越高;箭头代表文献之间的引证关系.

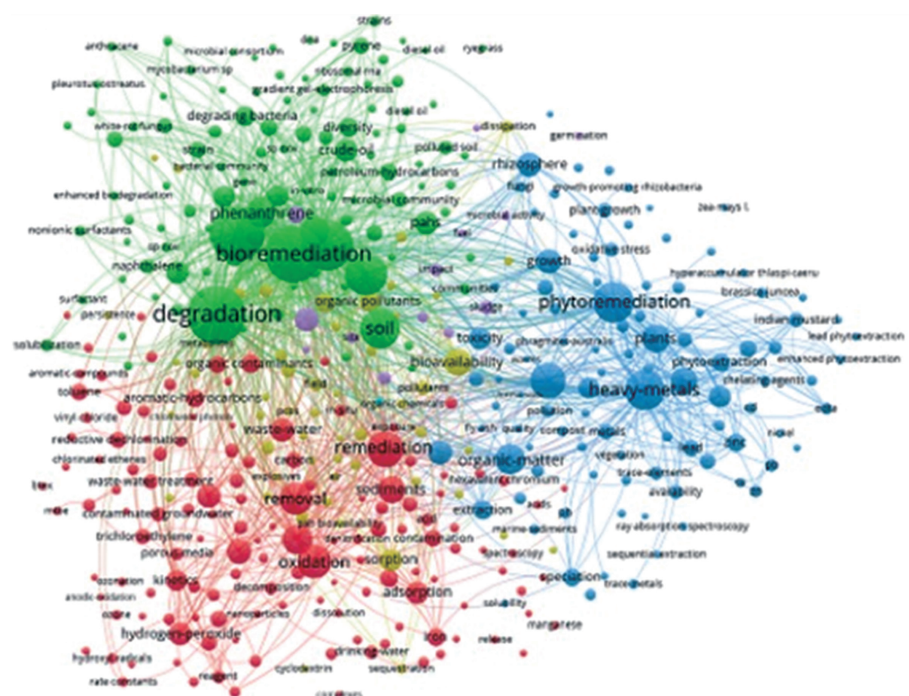
图 5 2000—2019 年土壤有机物污染修复研究领域排名前 30 的高引论文之间的关系图  
Fig. 5 HistCite of top30 highly cited papers in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019

## 2.7 2000—2019 年土壤有机物污染修复国内外的研究热点

通过分析主题词可以了解该领域近年来的研究热点. 图 6 所示为通过 VOSviewer 分析软件分别构建出的国内与国外关于该领域的知识图谱. 可知, 近年来国内该领域的科研人员对有机物多环芳烃 (polycyclic aromatic-hydrocarbons (PAHs))、芘 (pyrene) 及莠去津 (atrazine) 等的研究比较热门, 同时土壤有机物污染的修复也通常与污泥、地下水中的有机物污染修复联系在一起. 中国关于土壤有机物污染修复的技术主要集中在采用生物修复 (bioremediation)、植物修复 (phytoremediation)、氧化降解 (degradation) 及



(a) 中国



(b) 其他国家和地区

图 6 2000—2019 年关于土壤有机物污染修复研究的热点分布

**Fig. 6** Distribution of hot spots in the field of remediation of organic contaminated soils during the period from 2000 to 2019



吸附/化学吸附 (diorption/biochar adsorption) 等方法,其中高级氧化法 (advanced oxidation processes) 在多环芳烃 (PAHs)、氯化物 (polychlorinated) 及农药 (pesticides) 等方面的应用非常广泛. 国外除了上述方法外,还采用了土壤修复 (soil remediation) 及微生物降解 (microbial degradation) 技术,具体相关有机物的研究有菲 (phenanthrene)、三氯乙烷 (trichloroethylene)、甲苯 (toluene) 及一些其他的挥发性有机物 (volatile organic-compounds).

### 3 结论

根据 WOS 数据库,对 2000—2019 年期间发表的关于土壤有机物污染修复研究的文献进行统计分析,通过与欧美及其他地区对比发现,我国在该领域发文量最多,但均篇被引频次最低,说明文章整体影响力不高,我国科研工作人员应在今后的学习工作中提高文章质量. 在前 10 名高产作者中,中国作者有 3 位,分别是高志明、骆永明和高彦征. 通过分析该领域的重要研究机构,中国科学院、浙江大学、南京农业大学等 5 所中国机构进入了排名前 10. 关于土壤有机物污染修复的文章主要发表在 Journal Of Hazardous Materials、Chemosphere、Environmental Science & Technology、Science of the Total Environment 及 Environmental Pollution 等刊物上,这些期刊在该领域认可度很高,通过分析发文量高的期刊可以追踪该领域的研究方向,也便于投稿<sup>[24]</sup>.

在排名前 10 的高被引论文中,一部分文章在该领域的研究比较深入,具有相对新颖和独特的研究成果和观点;另一部分文章综述性较强,内容中关于领域的知识覆盖面较广. 印度作者 Haritash A K 的论文“Biodegradation Aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A Review”<sup>[25]</sup>中对生物修复被多环芳烃这类有机物污染的土壤进行了介绍,其中列举了多种不同微生物,总结性较强. 加拿大作者 Gerhardt K E 的论文“Phytoremediation and Rhizoremediation of Organic Soil Contaminants: Potential and Challenges”<sup>[26]</sup>对植物修复被有机物污染的土壤进行了详细介绍,该文注重原理分析,综述性较强. 英格兰作者 Bamforth S M 的论文“Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Current Knowledge and Future Directions”<sup>[27]</sup>也对生物修复技术进行了较为全面的介绍,且该文的 Keywords 与前文印度作者的有很大交集.

土壤有机物修复技术领域的主流研究学科有环境科学、生物技术与应用微生物学、工程环境学、水资源学、微生物学和土壤科学等,而对植物科学和工程化学等领域的研究则相对较弱. 通过分析某一领域的研究方向,有助于相关科研工作人员把握该领域的重点研究,也可为开展进一步科研工作提供帮助和引导<sup>[28]</sup>.

目前对于土壤中重金属的污染及治理研究较多,对有机物污染修复的研究还处于发展阶段,且进展较缓,缺乏对有机污染物在土壤环境中进行行为活动的系统性认识,对有机物赋存形态的研究也较少,该领域未来的研究应予以加强.

### [参考文献] (References)

- [1] 周骏,闫国杰,施曙东. 土壤修复技术进展及国外发展趋势[J]. 广州化工,2016,44(22):12-14,23.
- [2] 刘爱宝,曹惠忠,朱辉,等. 土壤有机物污染的化学修复技术研究[J]. 广东化工,2019,46(2):145-146.
- [3] 安琼,董元华,倪俊,等. 气相色谱法测定禽蛋中微量有机氯农药及多氯联苯的残留[J]. 色谱,2002(2):167-171.
- [4] 韩兰兰,钟辉. 有机物污染土壤修复方法介绍[J]. 时代农机,2016,43(9):162-163.
- [5] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[EB/OL]. (2014-04-17). [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/gt/201404/t20140417\\_270670.html](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/gt/201404/t20140417_270670.html).
- [6] SUN J, PAN L, TSANG D, et al. Contamination characteristics and source apportionment of methylated PAHs in agricultural soils from Yangtze River Delta, China[J]. Environmental Pollution, 2017, 230: 927-935.
- [7] 李寿涛,田浩. 基于文献计量学方法的国外环境心理学研究分析[J]. 心理研究,2019,12(1):45-55.
- [8] NOYONS E C M, MOED H F, LUWEL M. Combining mapping and citation analysis for evaluative bibliometric purposes: a bibliometric study[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 1999, 50(2): 115-132.
- [9] LOKMAN I M, KIDUK Y. Impact of data sources on citation counts and rankings of LIS faculty: web of science versus scopus and google scholar[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2007, 58(13): 2105-2125.

- [10] WEINGART P. Impact of bibliometrics upon the science system; inadvertent consequences[J]. *Scientometrics*, 2005, 62: 117–131.
- [11] 季雪婧,寇远涛,张礼生. 基于文献计量学的国际生物防治研究发展态势分析[J]. *中国生物防治学报*, 2019, 35(1): 120–126.
- [12] 胡远妹,周俊,刘海龙,等. 基于 Web of Science 对土壤重金属污染修复研究的计量分析[J]. *土壤学报*, 2018, 55(3): 707–720.
- [13] ZHANG S, MAO G Z, JOHN C, et al. Groundwater remediation from the past to the future; a bibliometric analysis[J]. *Water Research*, 2017, 119: 114–125.
- [14] GUO K, LIU Y F, ZENG C, et al. Global research on soil contamination from 1999 to 2012; a bibliometric analysis[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica(Section B—Soil & Plant Science)*, 2014, 64(5): 377–391.
- [15] WANG Y, XIANG C, ZHAO P, et al. A bibliometric analysis for the research on river water quality assessment and simulation during 2000–2014[J]. *Scientometrics*, 2016, 108: 1333–1346.
- [16] VANGA S K, SINGH A, VAGADIA B H, et al. Global food allergy research trend; a bibliometric analysis[J]. *Scientometrics*, 2015, 105: 203–213.
- [17] LAWSON J, KOSTREWSKI B, OPPENHEIM C. A bibliometric study on a new subject field-energy analysis[J]. *Scientometrics*, 1980, 2: 227–237.
- [18] DIANA L A, LOET L. Main-path analysis and path-dependent transitions in HistCite™-based historiograms[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2008, 59(12): 1948–1962.
- [19] van ECK N J, WALTMAN L. Citation-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer[J]. *Scientometrics*, 2017, 111: 1053–1070.
- [20] 串丽敏,郑怀国,赵同科,等. 基于 Web of Science 数据库的土壤污染修复领域发展态势分析[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(1): 12–20.
- [21] 宋长青,谭文峰. 基于文献计量分析的近30年国内外土壤科学发展过程解析[J]. *土壤学报*, 2015, 52(5): 957–969.
- [22] LI Y Q, LI J, XIE S D. Bibliometric analysis; Global research trends in biogenic volatile organic compounds during 1991–2014[J]. *Environment Earth Science*, 2017, 76(11): 1–1.
- [23] 吴健,王敏,靳志辉,等. 土壤环境中多环芳烃研究的回顾与展望——基于 Web of Science 大数据的文献计量分析[J]. *土壤学报*, 2016, 53(5): 1085–1096.
- [24] HO Y S. Bibliometric analysis of adsorption technology in environmental science[J]. *Journal of Environmental Protection Science*, 2007, 1: 1–11.
- [25] HARITASH A K, KAUSHIK C P. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs); a review[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 169(1–3): 1–15.
- [26] GERHARDT K E, HUANG X D, GLICK B R, et al. Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: potential and challenges[J]. *Plant Science*, 2009, 176(1): 20–30.
- [27] BAMFORTH S M, SINGLETON I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons; current knowledge and future directions[J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2005, 80(7): 723–736.
- [28] 赵庆龄,路文如. 土壤重金属污染研究回顾与展望——基于 Web of Science 数据库的文献计量分析[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(6): 105–111.
- [29] CHENG M, ZENG G M, HUANG D L, et al. Hydroxyl radicals based advanced oxidation processes(aops) for remediation of soils contaminated with organic compounds; a review[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 284: 582–598.

[责任编辑:严海琳]