

基于文献计量学分析土壤重金属污染修复技术研究现状及热点

卢楠^{1,2,3,4}, 唐宏军¹

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

³陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

⁴陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

Email: 854933189@qq.com

收稿日期: 2020年8月28日; 录用日期: 2020年9月16日; 发布日期: 2020年9月23日

摘要

土壤重金属污染日益严重, 修复材料和修复技术成为研究热点。基于中国知网(CNKI)的数据源, 通过设定关键检索词及年限, 检索相关文献和专利, 运用文献计量学方法, 并借助Origin、Excel等绘图制表工具对数据结果进行了统计、分析, 结果表明: 土壤重金属污染修复技术相关文章最早发表于1996年, 此后逐年增多。湖南农业大学成为发表相关科技论文数量最多的机构, 来自中国科学院南京土壤研究所的吴龙华是发表相关科技论文数量最多的研究者, 发表的科技论文多属于工程技术(自然)领域, 以国家自然科学基金等国家级基金项目支持发表的论文居多, 省级基金项目支持发表论文最多的是江苏省。研究者对土壤镉污染关注较多, 植物修复、稳定化处理、物理修复等修复技术仍是当前研究的热点。

关键词

土壤, 重金属污染, 修复技术, 文献计量

Bibliometric Analysis of the Research Status and Hot Spots of Soil Heavy Metal Pollution Remediation Technology

Nan Lu^{1,2,3,4}, Hongjun Tang¹

¹Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Key Laboratory of Degraded and Unused Land Remediation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

³Shaanxi Land Remediation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Institute of Land Construction and Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an Shaanxi
Email: 854933189@qq.com

Received: Aug. 28th, 2020; accepted: Sep. 16th, 2020; published: Sep. 23rd, 2020

Abstract

Soil pollution by heavy metals is becoming more and more serious, and restoration materials and restoration technologies have become research hotspots. Based on the data source of China Knowledge Network (CNKI), by setting key search terms and years, searching related documents and patents, using bibliometrics methods, and using Origin, Excel and other drawing and tabulation tools to conduct statistics and analysis of data results, the results show that: articles related to soil heavy metal pollution remediation technology were first published in 1996 and have been increasing year by year since then. Hunan Agricultural University has become the institution with the largest number of relevant scientific papers. Wu Longhua from the Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences is the researcher who has published the largest number of relevant scientific papers. Most of the scientific papers published belong to the field of engineering technology (natural). Most of the papers supported by national fund projects such as the National Science Foundation are supported by Jiangsu Province. Researchers pay more attention to soil cadmium pollution, and remediation technologies such as phytoremediation, stabilization treatment, and physical remediation are still hotspots of current research.

Keywords

Soil, Heavy Metal Pollution, Remediation Technology, Bibliometrics

Copyright © 2020 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

矿产资源的开发和利用、化工工业、交通运输业的发展等,在给国家经济带来重大支撑的同时,我们也面临着资源约束紧张、环境污染严重、生态系统退化等问题[1]。其中,土壤重金属污染及其环境效应,引起越来越多人民群众的重视。习近平总书记在十九大报告中指出,加快生态文明体制改革,建设美丽中国。要着力解决突出的环境问题,包括强化土壤污染管控和修复,加强农业面源污染,开展人居环境整治行动[2]。

土壤重金属污染修复主要有以下几个途径,一是改变重金属污染物的存在状态,降低其迁移性和生物可利用性;二是利用生物技术或工程技术方法从土壤中去掉重金属;三是改变种植制度,避免重金属通过食物链影响生物和人体健康。目前重金属污染土壤修复技术主要分为物理修复、化学修复和生物修复3种,具体包括化学固定、土壤淋洗、热脱附、蒸汽萃取、电动修复、生物修复等。

土壤重金属污染修复技术的论文研究多针对修复材料,并探讨其与重金属生物有效性的作用机制及影响因素。本文以中国知网(CNKI)为数据源,从发文量的年度变化、发文机构分析、作者发文量、研究层次和基金支持等方面进行分析,并对研究热点和未来发展趋势等进行预测,以期为相关科研工作者提供数据参考。

2. 数据来源与分析方法

2.1. 数据来源

利用中国知网知识发现网络平台, 采用高级检索方式, 以“土壤重金属污染”和“修复技术”为主题, 检索时间范围限定为截止 2020 年 8 月等为条件对文献进行检索。通过检索显示 CNKI 中关于“土壤重金属污染修复技术”的文献共有 2087 篇, 其中中文文献 2063 篇。文献检索时间为 2020 年 8 月 19 日。

2.2. 分析方法和工具

文献计量学集数学、统计学、文献学等学科于一体, 利用数学和统计学的方法, 对文献、作者、文献标识等载体进行定量分析的交叉科学。文献包含期刊、硕博士论文、会议论文、报纸、年鉴、统计数据、工具书、专利、标准、成果等。应用范围广泛, 对于评价出版物、考查文献利用率、预测文献服务发展方向, 捕捉相关研究课题和研究热点等方面具有重要参考价值。

通过发文年代、研究机构、作者、研究层次等变量进行多方位统计与分析, 利用 Origin、Excel 等绘图和制表软件, 对将论文发表数量年度分布、研究机构等统计数据绘制成直观曲线, 对重金属污染土壤的修复技术研究和概况进行描述, 对未来发展趋势进行预测。

3. 结果与分析

3.1. 文献年代分布及发展趋势

1996~2020 年土壤重金属污染修复技术文献数量变化情况见图 1, 累计发表中文学术论文 2000 余篇。由图 1 可知, 2000 年之前, 年发文量为 2~5 篇不等, 此时对于重金属污染土壤修复技术的研究处于初始阶段, 主要集中于土壤污染的植物和生物修复技术综述, 收录的第一篇是来自浙江农业大学环境与资源学院土化系的唐世荣等[3]《利用植物修复污染土壤研究进展》, 主要介绍了植物修复技术的概念和内涵, 对技术的研究历史进行了回顾, 阐述了该技术的有点及其局限性。其中 2000 年~2011 年, 发文数量呈线性增加趋势, 在此阶段科研工作者提出富集植物、超富集植物、强化植物修复技术、生物修复技术、电动修复技术等修复材料及修复技术; 2012 年~2019 年发文数量呈指数增长, 研究主要集中于固化稳定化修复技术、生物炭等修复材料、联合修复技术等。

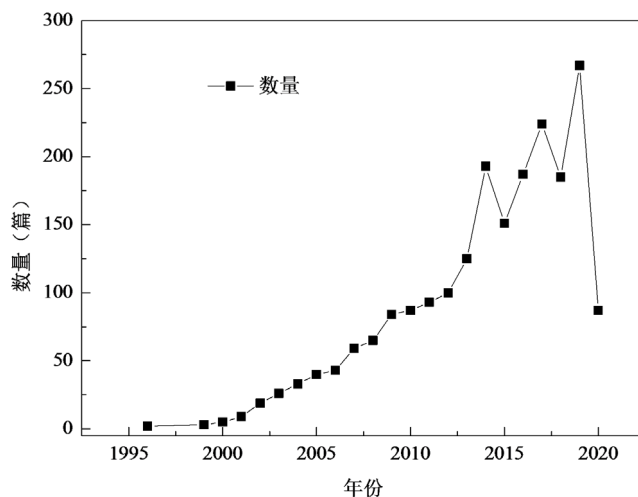


Figure 1. Changes in the number of documents since 1996

图 1. 1996 年以来文献数量变化情况

3.2. 发文机构分析

关于土壤重金属污染修复技术发表科技论文数量前 10 的机构列表见图 2。按照发文数量先后排序依次为：湖南农业大学(48)、南京农业大学(37)、中国科学院南京土壤研究所(31)、西北农林科技大学(30)、中国地质大学(北京)(26)、浙江大学(26)、湖南大学(23)、成都理工大学(21)、浙江农林大学(20)和中国科学院沈阳应用生态研究所(18)等，合计发表科技论文 280 篇，占历年发表论文总数的 13.42%。将发文机构按照性质进行分类发现，主要为高等院校和科研院所，所占比例分别占机构发表科技论文数量的 86.92% 和 9.01%，其他机构如企业和无机构信息的文章占 4.07%。

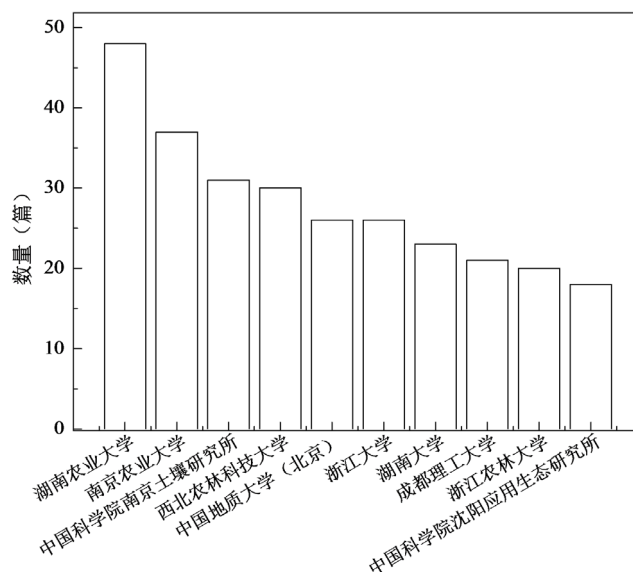


Figure 2. Top 10 institutions in terms of literature
图 2. 文献数量前 10 的机构

湖南农业大学资源环境学院的袁敏等[4]于 2005 年第一次发表题为《土壤重金属污染的植物修复及其组合技术的应用》一文，着重分析了植物修复与螯合剂、基因工程、电压、化学改良剂等组合应用的优点。湖南农业大学在 2005 年~2019 年期间，研究主要集中于植物修复、化学修复、土壤改良剂、螯合剂及微生物修复等技术。重金属的污染类型集中于土壤镉污染，分析的土地类型主要集中于农田、菜地等，且以硕士博士的毕业论文居多。

排在第二位的机构是南京农业大学，发表科技论文总数 37 篇，数占比 5.38%。其中，硕博论文共 26 篇，占总数的 70.27%。最早一篇是俞协治[5]于 2003 年发表题为《蚯蚓在植物修复重金属污染土壤中的应用可行性研究》的硕士毕业论文，通过将蚯蚓与植物进行联合，用于修复铜和镉复合污染的土壤，结果表明：供试蚯蚓对镉具有一定的富集能力，对铜则为部分吸收，蚯蚓的活动增加了植物地上部分生物量，且增产幅度为 33%~96%。此外，在螯合剂、淋洗剂及重金属累积植物等方面也有一定的研究。

3.3. 作者发文量分析

发表与土壤重金属污染修复技术相关论文排名前 10 的作者如表 1 所示。发表科技论文数量前 10 的作者主要来自于中国科学院南京土壤研究所、东莞理工学院、上海环境科学研究院、华南农业大学、浙江农业大学、上海环境科学研究院和中国科学院沈阳应用生态研究所等 7 个单位。吴龙华发表 8 篇，总参考数为 244，总被引数 264，总下载数达 12,855，篇均被引 33，篇均下载数 1606.88。研究主要集中

于土壤镉污染, 关注于重金属有效态的变化, 在钝化剂的修复也有一定的关注。被引次数最高的文章是胡鹏杰等[6]于2014年发表的题为《我国土壤重金属污染植物吸取修复研究进展》, 对重金属铜、砷、镉、锰等具有积累或超积累特性的植物, 从金属耐性、超累积生理机制、植物吸取修复的根际过程、机制、吸取修复强化措施、修复植物处置与资源化利用等方面进行了研究, 同时开展了植物吸取修复技术的示范和应用。

周静等[7]在土壤重金属的污染现状与修复技术的选择、修复效果评价等方面发表了较多文章。邵有元和熊钡等[8]则对电场作用下土壤中重金属离子迁移过程和机理研究较多。黄沈发[9][10]的研究则主要集中于重金属污染土壤植物修复强化技术、螯合诱导等方面。吴启堂[11][12]则主要致力于化学淋洗和间套作超累积植物进行联合修复。

Table 1. Authors who published papers related to soil heavy metal pollution remediation technology

表 1. 发表土壤重金属污染修复技术相关论文的作者

| 序号 | 作者 | 文献数量(篇) | 作者单位 |
|----|-----|---------|----------------|
| 1 | 吴龙华 | 8 | 中国科学院南京土壤研究所 |
| 2 | 周静 | 7 | 中国科学院南京土壤研究所 |
| 3 | 熊钡 | 7 | 东莞理工学院 |
| 4 | 邵友元 | 7 | 东莞理工学院 |
| 5 | 黄沈发 | 6 | 上海市环境科学研究院 |
| 6 | 吴启堂 | 6 | 华南农业大学 |
| 7 | 柳丹 | 6 | 浙江农林大学 |
| 8 | 唐浩 | 6 | 上海市环境科学研究院 |
| 9 | 周启星 | 6 | 中国科学院沈阳应用生态研究所 |
| 10 | 叶正钱 | 5 | 浙江农林大学 |

3.4. 研究层次分析

经统计分析, 土壤重金属污染修复技术属工程技术(自然)领域 903 篇, 占比 47.28%; 基础与应用基础研究(自然) 653 篇, 占比 34.19%; 行业技术指导(自然) 169 篇, 占比 8.85%; 高级科普(自然) 99 篇, 占比 5.18%; 专业实用技术(自然) 47 篇, 占比 2.46%。此外, 还有行业指导(社科)、政策研究(自然)、大众科普等累计 29 篇, 占比 1.52%。研究层次如图 3 所示。

3.5. 基金支持分析

通过对科技论文支持的基金类型进行统计, 结果如图 4 所示。基金支持论文共 499 篇, 占总数量的 26.23%, 其中, 排名前 10 的基金依次为: 国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划(863 计划)、国家科技支撑计划、国家重点基础研究发展规划(973 计划)、江苏省自然科学基金、国家重点研发计划、广西科学基金、浙江省自然科学基金、广西科学基金和河南省科技攻关计划, 累计支持发表科技论文 392 篇, 占总数的 78.56%。国家级基金支持发表的科技论文数量为 344, 占据前 10 基金支持科技论文的 87.76%, 国家自然基金支持发表的科技论文数量为 224 篇, 占总基金支持发表科技论文数量的 44.89%。由支持力度可见国家对于土壤重金属物污染及其修复技术研发的重视程度。被引数最多的科技论文是 2001 年发表于生态学报的韦朝阳和陈同斌的《重金属超富集植物及植物修复技术研究进展》, 被引数达 1363 次。

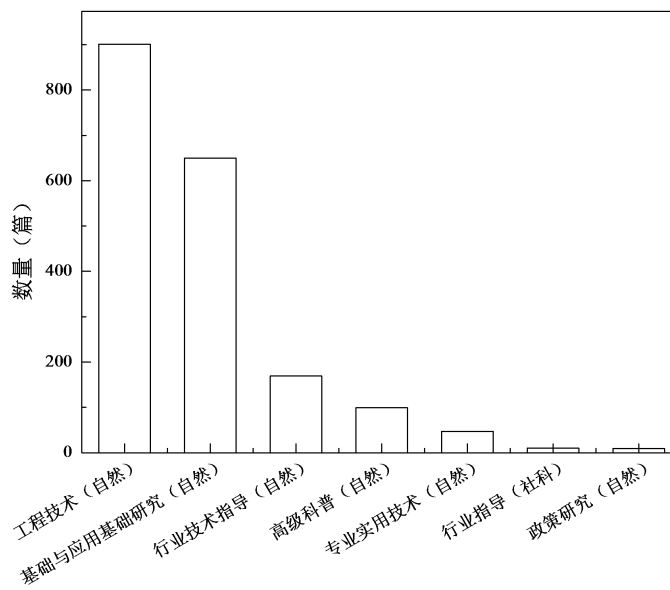


Figure 3. Research level analysis

图 3. 研究层次分析

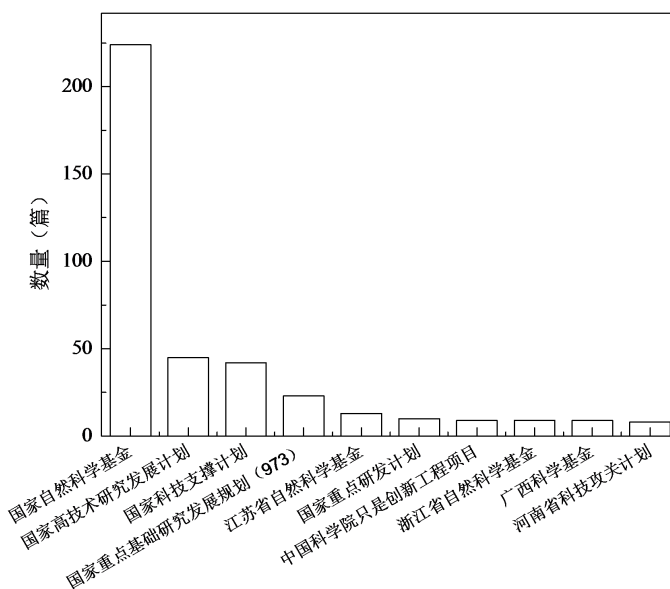


Figure 4. The names of the top 10 funds supported by scientific papers

图 4. 科技论文支持前 10 的基金名称

江苏省自然科学基金支持科技论文的共 13 篇, 是排名前 5 基金中唯一的省级基金。其支持的论文多数集中于重金属污染土壤的植物修复、强化植物修复技术等方面, 56.5% 的文章属于工程科技, 30.4% 的文章属于农业科技。此外, 微生物修复、固化剂等也有涉及。

3.6. 研究热点分析

图 5 为知网数据库中关于土壤重金属污染修复技术关键词共现网络的分析图, 目的是通过可视化的方式分析所选文章的主题, 以及各个主题之间的关系。节点的大小表示该词出现的频次, 连接线的粗细表示两个节点词的共线频次。



Figure 5. CNKI database soil heavy metal pollution remediation technology research field hot knowledge map
图 5. CNKI 数据库土壤重金属污染修复技术研究领域热点知识图

共现网络图显示, 围绕重金属污染土壤, 植物修复、稳定化处理、物理修复等修复技术是当前研究较多, 此外, 关于重金属的累积、迁移、生物有效性, 超累积植物、螯合剂、淋洗剂电动修复等也有研究涉及, 研究者对土壤镉污染关注较多。

4. 结论与展望

随着国家对生态文明建设重视, 土壤重金属污染的修复治理成为必要, 在此基础上研发的修复技术种类繁多, 应用广泛。通过利用中国知网(CNKI)数据库对相关文献进行分析计量发现, 土壤重金属污染修复技术最早文献发表于 1996 年, 此后逐年增大, 并于 2019 年达到最高 267 篇, 2000 年~2011 年, 发文数量呈线性增加趋势, 富集植物、超富集植物、强化植物修复技术、生物修复技术、电动修复技术等修复材料及修复技术是研究热点。2012 年~2019 年发文数量呈指数增长, 研究主要集中于固化稳定化修复技术、生物炭等修复材料、联合修复技术等。

湖南农业大学成为发表相关科技论文数量最多的机构, 来自中国科学院南京土壤研究所的吴龙华是发表相关科技论文数量最多的研究者, 发表的科技论文近一半属于工程技术(自然)领域, 以国家自然科学基金、国家高技术研究发展计划(863 计划)等国家级基金项目支持发表的论文居多, 江苏省是省级基金项目支持发表论文最多的。

围绕重金属污染土壤, 植物修复、稳定化处理、物理修复等修复技术仍是当前研究的热点, 此外, 关于重金属的累积、迁移、生物有效性等基础研究, 超累积植物筛选、螯合剂、淋洗剂、电动修复及联合修复技术等也是当前及未来的热点, 此外, 因重金属镉的生物毒性及累积特性, 研究者对土壤镉污染关注较多。

基金项目

陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY2019-18), 陕西省土地整治重点实验室开放基金项目(2019-JC04)。

参考文献

- [1] 杨朝霞. 破解生态文明法制建设的五大瓶颈问题[J]. 环境与可持续发展, 2014, 39(2): 82-85.
- [2] 李杰, 李竟涵. 农田重金属污染修复又有新材料[J]. 农业工程, 2017(6): 33.
- [3] 唐世荣, 黄昌勇, 朱祖祥. 污染土壤的植物修复技术及其研究进展[J]. 上海环境科学, 1996(12): 37-39 + 47.
- [4] 袁敏, 铁柏清, 唐美珍. 土壤重金属污染的植物修复及其组合技术的应用[J]. 中南林学院学报, 2005(1): 81-85.
- [5] 俞协治. 蚯蚓在植物修复重金属污染土壤中的应用可行性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2003.
- [6] 胡鹏杰, 李柱, 钟道旭, 郑蕾娜, 居述云, 吴龙华, 骆永明. 我国土壤重金属污染植物吸取修复研究进展[J]. 植物生理学报, 2014, 50(5): 577-584.
- [7] 梁家妮, 马友华, 周静. 土壤重金属污染现状与修复技术研究[J]. 农业环境与发展, 2009, 26(4): 45-49.
- [8] 熊翎, 邵友元, 易筱筠. 土壤重金属污染及治理技术[J]. 广东化工, 2013, 40(24): 92-93+89.
- [9] 熊璇, 唐浩, 黄沈发, 刘钊钊. 重金属污染土壤植物修复强化技术研究进展[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(S1): 185-193+208.
- [10] 韩少华, 唐浩, 黄沈发. 重金属污染土壤螯合诱导植物修复研究进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(S1): 157-163.
- [11] 孙岩, 吴启堂, 许田芬, 翟晓峰, 林晓燕, 王慧. 土壤改良剂联合间套种技术修复重金属污染土壤: 田间试验[J]. 中国环境科学, 2014, 34(8): 2049-2056.
- [12] 黄细花, 卫泽斌, 郭晓方, 史学峰, 吴启堂. 套种和化学淋洗联合技术修复重金属污染土壤[J]. 环境科学, 2010, 31(12): 3067-3074.