

基于文献计量的重金属固化稳定化修复技术发展动态研究

闫淑兰, 赵秀红, 罗启仕

引用本文:

闫淑兰, 赵秀红, 罗启仕. 基于文献计量的重金属固化稳定化修复技术发展动态研究[J]. [农业环境科学学报](#), 2020, 39(2): 229-238.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0757>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[稻田重金属污染修复治理技术及效果文献计量分析](#)

杜志鹏, 苏德纯

[农业环境科学学报](#). 2018, 37(11): 2409-2417 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1128>

[基于文献计量的我国农地重金属研究热点分析](#)

帅鸿, 欧阳迪庆, 陈玉成

[农业环境科学学报](#). 2018, 37(4): 688-695 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-1477>

[基于CiteSpace重金属生物可给性的文献计量分析](#)

罗杨, 吴永贵, 段志斌, 谢荣

[农业环境科学学报](#). 2020, 39(1): 17-27 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0713>

[基于文献计量学分析2016年环境土壤学研究热点](#)

吴同亮, 王玉军, 陈怀满, 周东美

[农业环境科学学报](#). 2017, 36(2): 205-215 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0128>

[土壤镉和砷污染钝化修复材料及科学计量研究](#)

李英, 朱司航, 商建英, 黄益宗

[农业环境科学学报](#). 2019, 38(9): 2011-2022 <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0601>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

闫淑兰, 赵秀红, 罗启仕. 基于文献计量的重金属固化稳定化修复技术发展动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(2): 229–238.

YAN Shu-lan, ZHAO Xiu-hong, LUO Qi-shi. Bibliometrics-based development trends of solidification/stabilization technology for the remediation of sites contaminated by heavy metals[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(2): 229–238.

基于文献计量的重金属固化稳定化修复技术发展动态研究

闫淑兰^{1,2}, 赵秀红¹, 罗启仕^{1,2*}

(1. 永清环保股份有限公司, 长沙 410000; 2. 永仕达环境(上海)有限公司, 上海 200051)

摘要: 为了解国内外场地土壤和底泥的重金属固化稳定化技术(S/S)的发展状况、研究热点及发展趋势, 通过CNKI《中国期刊全文数据库》和Web of Science™核心合集数据库对2006—2018年间发表的关于污染场地重金属固化稳定化修复技术的文献进行检索, 并利用Excel 2016、HistCite Pro 2.1引文图谱分析软件和Origin 9.0作图软件, 从年度发文量、主要发文国家/地区、期刊来源、Top 10高被引论文、Top 10研究机构、研究内容、修复材料类型、重金属类型等方面, 对2006—2018年发表的有关文献进行计量分析。结果表明: 近13年来, 中英文文章及专利的发文量逐年升高, 且中文发文量远高于英文。英文文章中, 中国作者、中国科研机构发文量均居首位, 但总均篇被引次数(TGCS/R)较低; Top 10高被引论文中, 中国作者占据2篇。中英文文章中, 对复合修复材料的研究较多, 其中常见的复合修复材料为生物质炭、石灰、沸石、硅藻土等材料中的2种或2种以上复合而成, 最受关注的重金属污染物为镉和铅, 对固化/稳定化设备和工艺的研究较少。因此, 对固化稳定化技术的研究, 中国研究人员虽然发文量占据较大的比例, 但还需进一步提高研究的国际影响力, 加强对稳定化修复工艺、设备和效果评价方法的研究。

关键词: 文献计量; 固化稳定化; 重金属; 土壤

中图分类号: X53 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2020)02-0229-10 doi:10.11654/jaes.2019-0757

Bibliometrics-based development trends of solidification/stabilization technology for the remediation of sites contaminated by heavy metals

YAN Shu-lan^{1,2}, ZHAO Xiu-hong¹, LUO Qi-shi^{1,2*}

(1. Yonker Environment Protection Co., Ltd., Changsha 410000, China; 2. Yonstar Environmental (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 200051, China)

Abstract: To fully understand the state-of-the-art and trends of solidification/stabilization (S/S) technology for the remediation of sites contaminated by heavy metals, literatures from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI), China Academic Journals Full-text Database, and Web of Science Core Collection Database published from 2006 to 2018 were investigated. The collected documents were screened and sorted using Excel 2016, HistCite Pro 2.1, and Origin 9.0. Annually published papers, the country/region of origin, published journals, the top ten cited papers, the top ten research institutions, research content, remediation materials, and contaminants were all factors that were analyzed and compared. The following conclusions were drawn: The number of Chinese publications increased over the 13 studied years and significantly more studies were published in Chinese than in English. In addition, the number of English publications from Chinese authors and research institutions were more than those from other countries; however, the average total global citation score (TGCS/R) of them was relatively low. Among the top 10 most cited papers, only two were by Chinese authors. Furthermore, although much research was focused on combined remediation materials derived from biomass carbon, lime, zeolite, diatomite, etc., few led to the develop-

收稿日期: 2019-07-06 录用日期: 2019-09-24

作者简介: 闫淑兰(1989—), 女, 安徽萧县人, 硕士, 从事土壤修复技术研究。E-mail: yanshulan0816@163.com

*通信作者: 罗启仕 E-mail: qsluo99@126.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1802700)

Project supported: The National Key R&D Program of China(2018YFC1802700)

ment of equipment and technical implementation processes. The most studied contaminants were found to be cadmium and lead. In the future, Chinese scholars should reference international research results more to improve the quality of their work and ensure it has greater influence. Additionally, advances should be made in technical processes, the treatment of equipment, and standardized post evaluation methods.

Keywords: bibliometrics; solidification/stabilization; heavy metal; soil

工业技术的发展和人类活动将大量的重金属带入土壤环境中。例如冶炼场地及周边土壤、城市河流底泥、废弃工业场地、金属尾矿区等都有大量的重金属堆积^[1-3]。重金属不能被土壤微生物分解,容易在生物体内累积,转化为毒性更大的甲基化合物;并且还会通过食物链进入人体,对人类健康造成损害^[4-6]。因此,对重金属污染土壤的安全处理显得尤为重要。

目前,土壤重金属污染的处理方法主要有物理、化学和生物法^[7],其中土壤固化/稳定化修复技术(S/S)由于具有操作简单、成本低、处理效果好等优点,作为常用的修复技术备受关注^[8-9]。该技术是通过向重金属土壤中添加固化剂,将重金属封存于低渗透性物质中,从而限制污染物的释放;或者通过添加稳定化药剂,降低重金属在土壤中的迁移能力和生物可利用性,从而降低污染物质的毒害程度^[10-11]。国外固化稳定化技术起源于1950年,1970年后美国和日本等国家开始大规模应用,并伴随着法律法规、技术标准、评价体系和处理设备的完善而趋于成熟。在中国,固化稳定化技术虽然起步较晚,与发达国家存在一定的差距^[12],但经过十几年的发展,该技术也被广泛应用于场地土壤修复工程中。场地重金属固化稳定化技术不同于农田/耕地的钝化修复技术,该技术适用于场地土壤或底泥的修复。目前杜志鹏等^[13]通过文献统计的方式已对稻田重金属修复相关的技术进行了详尽的分析。

为了了解重金属污染场地和底泥的固化稳定化修复技术的发展趋势和研究热点问题,本文对场地重金属的固化稳定化修复技术进行了文献计量分析^[14-15]。该方法以文献为基础,用量化方法对文献特征进行分析处理以获得必要的的数据,通过数据分析从中找出变化规律,进而预测未来的发展趋势。文献计量学以其显著的客观性、量化、模型化的宏观研究优势已广泛应用于环境工程与科学、土壤学、生态学、食品安全、新能源利用等方面。本文对中国期刊全文数据库^[16]、Web of Science 数据库收录的有关场地重金属固化稳定化修复技术的文献和专利进行计量研究^[17-18],以期对相关领域的研究人员提供参考。

1 材料与方法

1.1 中文文章数据来源

中文数据来源于CNKI的中国期刊全文数据库。利用中国知网高级检索功能,跨库选择“期刊”“教育期刊”“特色期刊”“学术期刊”“硕士”“博士”检索,检索时间跨度为2006—2018年,检索截止时间为2018年12月31日,以“重金属”并含“土壤”或含“场地”或“底泥”为主题,利用“固化稳定化”“稳定化”“固化”“固定”“处理”“修复”“浸出”“减少”“降低”等主题词在上次主题词搜索结果中再次检索,逐条整理挑选,去掉重复、不相关题录、一稿多发、简讯、会议报告等。共获取中文相关文章1115篇。

1.2 中国专利数据来源

中国专利数据来源于CNKI的中国期刊全文数据库。利用中国知网-专利-高级检索功能,检索时间以公开日为准,跨度为2006.01.01—2018.12.31,以“重金属”并“土壤”或含“场地”或“底泥”为主题,利用“固化稳定化”“稳定化”“固化”“固定”“处理”“修复”“浸出”“减少”“降低”等主题词在上次主题词搜索结果中再次检索,逐条整理挑选。共获取相关中国专利952篇。

1.3 英文文章数据来源

本文英文文章数据来源于美国汤森路透公司出版的Web of Science™核心合集数据库。该数据库收录的文献覆盖了全世界最重要和最有影响力的研究成果,是世界公认的自然科学领域最为重要的检索平台。利用主题词(TS),场地土壤和底泥重金属修复相关文献的检索式如下:TS=(("contaminated site*" or "sediment *" or brownfield or "industrial soil*" or contaminated soil) and ("heavy metal*" or lead or cadmium or mercury or chromium or chrome or arsenic or copper or zinc or nickel) and (solidification/stabilization or stabilization or solidification or immobilization or fixation or treatment or remediation or decontamination or leaching test or improve or control)),检索时间为2006—2018年,文献类型为Article和Review,逐条整理挑选之后,

共获取英文相关文章628篇。

1.4 研究方法

中文文章和中国专利按Excel格式导出,并利用Excel 2016对2006—2018年间发表的有关文章从年度发文量、来源期刊、污染重金属种类、文献内容分类、固化稳定化材料类型等方面进行计量统计分析。英文文章利用Endnote X8软件以全纪录的方式导出,并利用HistCite Pro 2.1、Excel 2016等软件,从国家/地区发文量、来源期刊、研究机构、高产作者、污染重金属类型、文献内容分类、固化稳定化材料类型等方面进行计量统计分析。其中用HistCite Pro 2.1软件进行数据分析时,是将筛选后的文献从Web of Science™核心合集数据库下载的txt全纪录格式的题录,按照研究内容的需要将文本导入至HistCite Pro 2.1软件,然后进行分析。

2 结果与讨论

2.1 发文量及年变化趋势

发文量在一定程度上反映了研究人员对本领域研究热点的关注程度,也反映了相关领域和学科的发展速度^[19-20],为研究者提供参考依据。按照本文方法查询统计后,共筛选出中文文章1115篇,中国专利952篇,英文文章628篇。年度发文量统计如图1所示,2006—2018年的发文量整体呈上升趋势。2006—2013年间,发文量缓慢增长,2013—2018年间,发文量呈爆发式增长,但统计数据显示2018年的中文文章发文量与2017年相比数量减少,可能是由于检索时间较早,部分最新期刊还未收录入数据库,导致中文文章统计数据减少,而中国专利公开后即可在相关网站获取数据,因此统计未受影响。

上述发展趋势从侧面反映了中国修复市场的发展和技术需求。从2004年北京宋家庄地铁土壤污染引发的事故开始,土壤污染及其修复渐渐引起民众和政府的关注和重视。2006—2013年,土壤修复市场开始逐渐兴起,但发展速度比较缓慢,对技术需求的迫切度也相对平缓。2014—2018年,土壤环境安全问题受到了实质性的关注,修复技术行业标准、管理条例、地方办法以及国家专门法规的出台^[21],都全面推动了土壤修复市场的发展,修复技术需求激增,对相关修复技术的研发热度持续增长。本文统计的结果侧面印证了上述发展趋势。2016年以后,专利申请量超过文章发表数量,并持续上升,说明中国技术已经逐步进入知识产权转化阶段,逐步从实验室进入

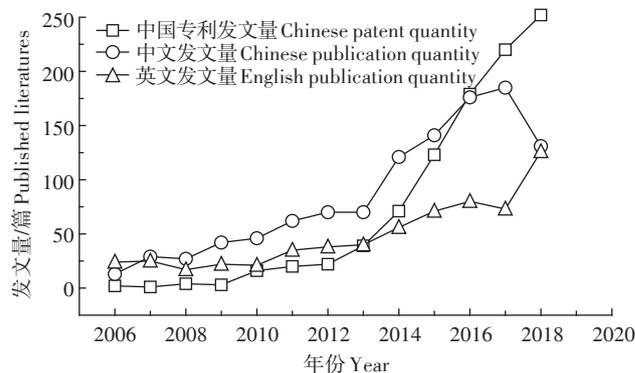


图1 2006—2018年重金属固化稳定化修复技术领域年度发文量
Figure 1 Annual published papers on S/S technology for remediation of heavy metals from 2006 to 2018

到应用市场,这必将整体提升国内的技术应用水平,持续发展使其逐渐接近国际水准。

2.2 主要发文量国家/地区

论文被SCI收录和引用的数量在一定程度上反映了一个国家/地区的国际学术地位、基础科学研究水平、科技创新实力和科技论文质量等^[22]。论文总被引频次(TGCS)反映了论文的总被引用次数和受重视的程度,以及在学术交流中的作用和地位,体现了一个国家/地区的整体科研实力和影响力^[17]。本地总被引频次(TLCS)反映了所发表论文在本国/地区关注领域的重要程度,表明在该领域本国内的影响力^[13]。从Web of Science™核心合集数据库中共检索出中国、美国、韩国、英国、澳大利亚等62个国家/地区发表的关于重金属固化稳定化技术的研究论文。在现有数据基础上,对2006—2018年不同国家/地区的发文情况进行分析,论文发表数量排名前10位的国家/地区(以下简称Top10国家/地区)如表1所示,发文量前三的国家分别为中国、美国和韩国,分别为289、84篇和51篇,分别占总发文量的比例为46.02%、13.38%和8.12%。中国的发文量遥遥领先于其他国家/地区,说明我国目前对固化稳定化技术的研究重视度要高于其他国家,从侧面反映了我国土壤修复行业的快速发展需求。与此同时,表1数据表明,中国发文量虽然稳居榜首,但其本地篇均被引次数和总篇均被引次数均落后于其他国家/地区,表明虽然中国在该领域的研究比较活跃,但总体发文期刊质量参差不齐,平均影响因子不高,且固化稳定化技术本身已经趋于成熟,新研究的创新点或突破性不足,造成实际参考价值不大,影响力较低。意大利发文量为19篇,与伊朗并列第10,但其本地篇均被引次数和总篇均被引次

数均处于第1位,且其发文期刊总体水平与伊朗相比,质量较高,影响力较大。美国、韩国和英国发文量位居第2~4位,其本地篇均被引次数和总篇均被引次数也处于第2~4位。以上数据表明,我国固化稳定化技术仍然存在进步和改进空间,国际的研究成果和经验值得借鉴和学习。

2.3 Top 10 高被引论文

文章的被引频次是衡量一个国家科研文献被其他国家或机构的认可度以及论文重要性的指标,在一定程度上反映了人们对某项研究工作的关注程度^[23]。文章的引用次数(GCS)反映了该篇文章在整个Web of Science数据库中所有文献的引用次数;本地引用次数(LCS)反映了该篇文章在当前数据集中被引用的次数^[17]。该领域本地被引频次Top 10论文见表2。按照本地被引频次排序,瑞典作者Kumpiene Jurate发表的Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments(Review)被引频次最高,其次为英国作者Gray C W发表的Field evaluation of in situ remediation of a heavy metal contaminated soil using lime and red-mud。Top 10的高被引论文中,来自瑞典、英国、中国作者各2篇,其余为韩国、比利时、意大利和澳大利亚。中国有2篇文章入围Top 10高被引论文,说明国内部分研究的技术水平已经进入国际前列,但作为发文量最多的国家/地区,大部分研究仍然落后于国际先进水平,需要更持续的努力和钻研。

2.4 期刊来源及影响因子

影响因子反映了期刊在其研究领域的影响力,一定程度上能说明一个期刊的质量水平^[24]。复合影响因子和综合影响因子越高,说明该期刊在其研究领域

的影响力越大。对2006—2018年中国知网《中国期刊全文数据库》检索、整理和统计的1115篇研究文章进行分析,发文量前10的期刊如表3所示,Top 10期刊的总发文量为241篇,占该领域中文期刊发文量的21.6%;其中《农业环境科学学报》和《环境工程学报》发文量分别为54和50篇,占总发文量的9.33%。复合影响因子前三的期刊分别是《农业环境科学学报》《生态环境学报》和《水土保持学报》,分别为2.404, 2.211和2.016,其发文量分别为54、22篇和17篇。

对2006—2018年Web of Science™核心合集数据库检索、整理和统计的628篇英文文章进行分析,发文量Top 10期刊如表4所示,其中*Environmental Earth Sciences*和*Journal of Environmental Management*的发文量均为13篇,并列第十。Top 10期刊的总发文量为306篇,占该领域总发文量的48.7%;其中*Environmental Science and Pollution Research*和*Journal of Hazardous Materials*发文量分别为55篇和50篇,占总发文量的16.7%。近5年平均影响因子前三的期刊分别为*Journal of Hazardous Materials*、*Environmental Pollution*和*Science of the Total Environment*,其影响因子分别为5.239、4.468和4.15,且期刊均属于Q1分类。某期刊的本地篇均被引次数可直观表现出该期刊所刊登固化稳定化技术修复重金属污染土壤领域研究文章在本领域的受重视程度,本地篇均被引次数前三的期刊分别为*Environmental Pollution*、*Journal of Hazardous Materials*和*Chemosphere*,篇均被引次数分别为9.53、5.62和5.24。

2.5 英文文献Top 10研究机构

通过分析,本领域研究论文共涉及690个研究机

表1 2006—2018年重金属固化稳定化修复技术领域发文量Top 10的国家/地区

Table 1 Countries/regions for top10 published quantities on S/S technology for remediation of heavy metals from 2006 to 2018

国家/地区 Countries/Regions	发文量 Records/篇	总发文比例 Percentages/%	本地总被引频次 TLCS	本地篇均被引次数 TLCS/R	总被引频次 TGCS	总篇均被引次数 TGCS/R
中国 China	289	46.02	601	2.08	4098	14.18
美国 USA	84	13.38	272	3.24	2119	25.23
韩国 South Korea	51	8.12	175	3.43	1255	24.61
英国 UK	39	6.21	199	5.10	1502	38.51
澳大利亚 Australia	30	4.78	71	2.37	716	23.87
巴基斯坦 Pakistan	26	4.14	44	1.69	354	13.62
西班牙 Spain	26	4.14	16	0.61	356	13.69
法国 France	23	3.66	66	2.87	492	21.39
印度 India	23	3.66	48	2.09	544	23.65
伊朗 Iran	19	3.03	23	1.21	135	7.105
意大利 Italy	19	3.03	127	6.68	1000	52.63

构,排名Top 10的研究机构如表5所示,2006—2018年排名Top 10的研究机构,中国有6个,且占据前三,其中中国科学院在重金属固化稳定化修复技术领域的发文量为62篇,远高于排名并列第三的华中农业大学、韩国国立江原大学和英国剑桥大学(均为16篇),且总被引次数为1125,远高于其他研究机构。这些数据说明中国研发机构在本领域内的科研成果成绩斐然,中国的研发投入充足,中国对本领域技术的需求较

为迫切和广泛,再一次证明需求推动技术发展的规律,也从侧面论证了中国学术水平以及学术地位的提升。

2.6 文献研究内容

对2006—2018年重金属固化稳定化修复技术的中文、英文文章和中国专利进行统计并分类,结果如图2所示,关于固化稳定化材料的中文、英文文章和专利分别为986、612篇和841篇,分别占文献总数的88.4%(1115篇)、97.5%(628篇)和88.3%(952篇);关

表2 2006—2018年重金属固化稳定化修复技术领域Top 10高被引论文

Table 2 Top10 highly cited papers on S/S technology for remediation of heavy metals from 2006 to 2018

论文题目 Titles	作者 Authors	期刊名称 Journal name	国家/地区 Countries/Regions	本地引用次数 LCS	引用次数 GCS
Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments (Review)	Kumpiene Jurate	<i>Waste Management</i>	瑞典	124	746
Field evaluation of in situ remediation of a heavy metal contaminated soil using lime and red-mud	Gray C W	<i>Environmental Pollution</i>	英国	42	217
In situ stabilization of cadmium-, lead-, and zinc-contaminated soil using various amendments	Lee SangHwan	<i>Chemosphere</i>	韩国	41	156
Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar	Houben David	<i>Chemosphere</i>	比利时	38	226
Influence of red mud, zeolite and lime on heavy metal immobilization, culturable heterotrophic microbial populations and enzyme activities in a contaminated soil	Garau Giovanni	<i>Geoderma</i>	意大利	33	165
The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar	Beesley Luke	<i>Environmental Pollution</i>	英国	30	303
Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal (loid) contaminated soils	Park Jin Hee	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	澳大利亚	29	322
Availability and assessment of fixing additives for the in situ remediation of heavy metal contaminated soils (Review)	Guo Guanlin	<i>Environmental Monitoring and Assessment</i>	中国	26	132
Evaluation of different phosphate amendments on availability of metals in contaminated soil	Chen Shibao	<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	中国	26	114
Assessment of zerovalent iron for stabilization of chromium, copper, and arsenic in soil	Kumpiene Jurate	<i>Environmental Pollution</i>	瑞典	24	134

表3 2006—2018年重金属固化稳定化修复技术领域中文发文量Top 10期刊

Table 3 Top10 selected Chinese journals for publications on S/S technology for remediation of heavy metals from 2006 to 2018

期刊名称 Journals name	发文量 Records/篇	占期刊发文总量比例 Percentages/%	复合影响因子 Compound impact factor	综合影响因子 Comprehensive impact factor
农业环境科学学报	54	4.84	2.404	1.573
环境工程学报	50	4.48	1.243	0.808
安徽农业科学	28	2.51	0.485	0.274
生态环境学报	22	1.97	2.211	1.532
中国农学通报	19	1.70	1.001	0.683
水土保持学报	17	1.52	2.016	1.46
土壤	13	1.17	2.005	1.571
土壤通报	13	1.17	1.203	0.825
广东化工	12	1.08	0.221	0.138
湖南农业科学	13	1.17	0.469	0.336

于评估方法的文献分别为956、408篇和5篇,分别占文献总数的85.7%、65.0%和0.5%;关于固化稳定化机理的研究分别为318、72篇和1篇,分别占文献总数的28.5%、11.5%和0.1%;其中关于设备或工艺研究的文献数量较少,仅有22、15篇和82篇。由上述数据分析可知,中文文章关于修复材料和评估方法研究的发文量众多,且关于修复材料的中国专利也较多,但关于修复设备或工艺研究的发文量较少,反映了目前国内修复材料已经部分实现国产化,修复设备主要靠进口和租赁,并且缺乏科学统一的固化/稳定化修复效果评价方法的现状。

2.7 修复材料类型

重金属固化稳定化修复技术最为关键的是修复材料的选择。本文对2006—2018年中英文文献中涉及的修复材料进行统计并分类,结果如图3~图6所

示。由图3和图5可知,中英文文献中,使用单一材料修复的文献占30.73%和41.18%,复配材料占69.27%

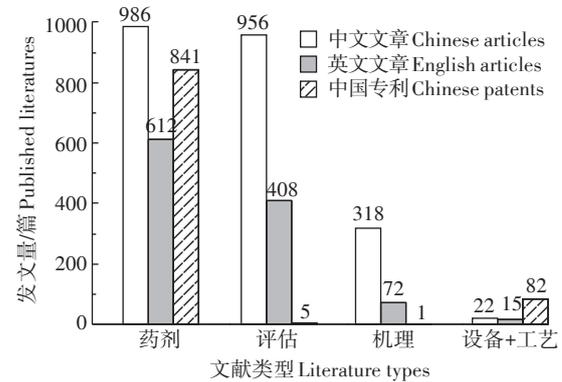


图2 2006—2018年重金属固化稳定化修复技术领域文献类型

Figure 2 Literature types of S/S technology for remediation of heavy metals from 2006 to 2018

表4 2006—2018年重金属固化稳定化修复技术领域英文发文量Top 10期刊

Table 4 Top10 selected English journals for publications on S/S technology for remediation of heavy metals from 2006 to 2018

期刊名称 Journals name	发文量 Records/篇	本地总被引次数 TLCS	本地篇均被引次数 TLCS/R	近5年平均影响因子 Impact factor	期刊分区 Journal ranking
<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	55	91	1.65	2.777	Q2
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	50	281	5.62	5.239	Q1
<i>Chemosphere</i>	41	215	5.24	3.834	Q1
<i>Journal of Soils and Sediments</i>	31	50	1.61	2.32	Q2
<i>Science of the Total Environment</i>	28	36	1.29	4.15	Q1
<i>Water Air and Soil Pollution</i>	24	17	0.71	1.652	Q3
<i>Environmental Pollution</i>	19	181	9.53	4.468	Q1
<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	18	80	4.44	3.218	Q1
<i>Soil and Sediment Contamination</i>	14	7	0.5	0.996	Q4
<i>Environmental Earth Sciences</i>	13	27	2.77	1.585	Q3
<i>Journal of Environmental Management</i>	13	36	2.08	3.411	Q1

表5 2006—2018年重金属固化稳定化修复技术领域发文量Top 10的研究机构

Table 5 Top10 institutions with the most publication on S/S technology for remediation of heavy metals from 2006 to 2018

研究机构 Institutions	机构中文名 Chinese name	国家/地区 Country / Region	发文量 Records	比例 Percentages	总被引次数 TGCS
Chinese Acad Sci	中国科学院	中国	62	9.87	1125
Hunan Univ	湖南大学	中国	23	3.66	519
Huazhong Agr Univ	华中农业大学	中国	16	2.55	175
Kangwon Natl Univ	国立江原大学	韩国	16	2.55	477
Univ Cambridge	剑桥大学	英国	16	2.55	571
Southeast Univ	东南大学	中国	15	2.39	332
Zhejiang Univ	浙江大学	中国	11	1.75	137
Univ Novi Sad	诺维萨德大学	南斯拉夫	10	1.59	84
Chinese Acad Agr Sci	中国农业科学院	中国	9	1.43	234
Chosun Univ	朝鲜大学	朝鲜	9	1.43	225

和58.82%;说明在重金属污染土壤的修复中,单一材料的使用频次低于复配材料,可能是因为单一材料仅适用于单一重金属污染的土壤,对多种复合污染的土壤需要使用复配材料处理,而在实际的污染土壤中,多为多种重金属复合污染^[25]。由图4和图5可知,中文文献中,对单一材料研究较多的是生物炭、凹凸棒、膨润土、磷酸盐、赤泥、磷灰石、水泥、粉煤灰、矿渣、石

灰等,占单一材料的63.7%;英文文献中,对单一材料研究较多的是生物炭、水泥、磷灰石、零价铁、磷酸盐、矿渣和沸石等,占单一材料的64.29%。关于固化稳定化修复材料的中英文文献中,生物炭/改性生物炭单独使用或者与其他材料复合使用,作为目前研究最多的材料,分别占中英文文献数量的25.96%和17.48%。其次为石灰/石灰与其他材料结合,分别占

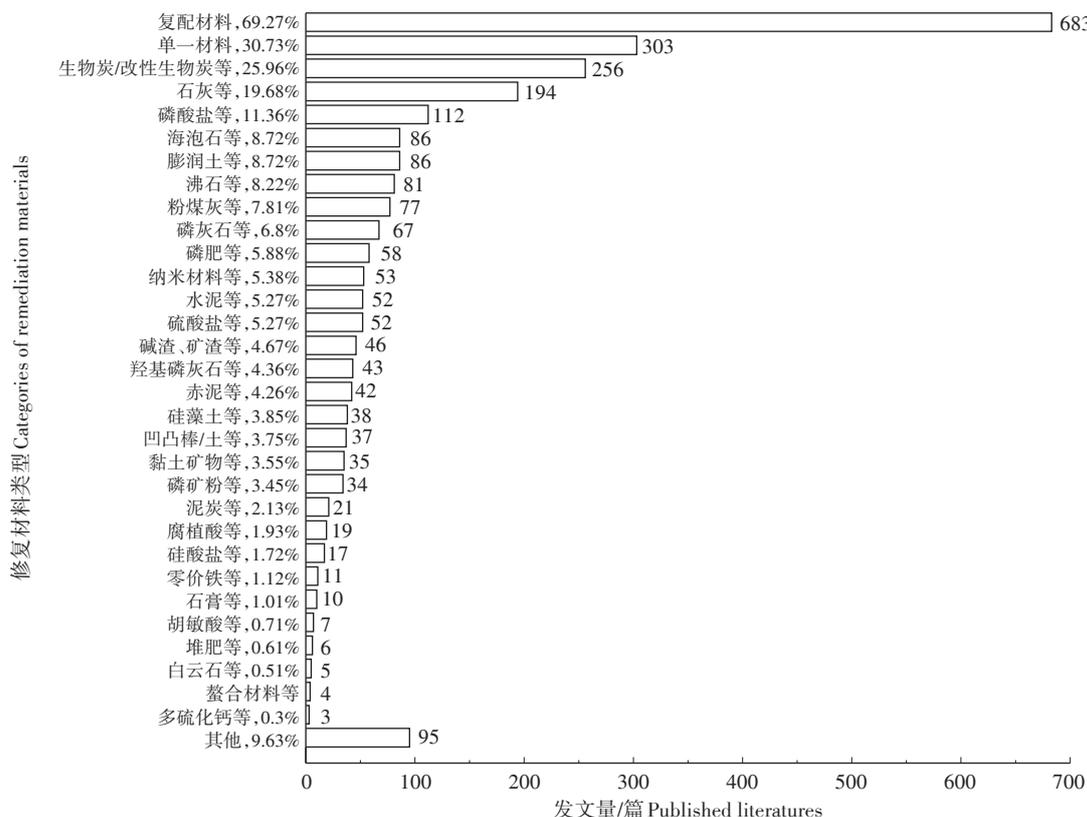
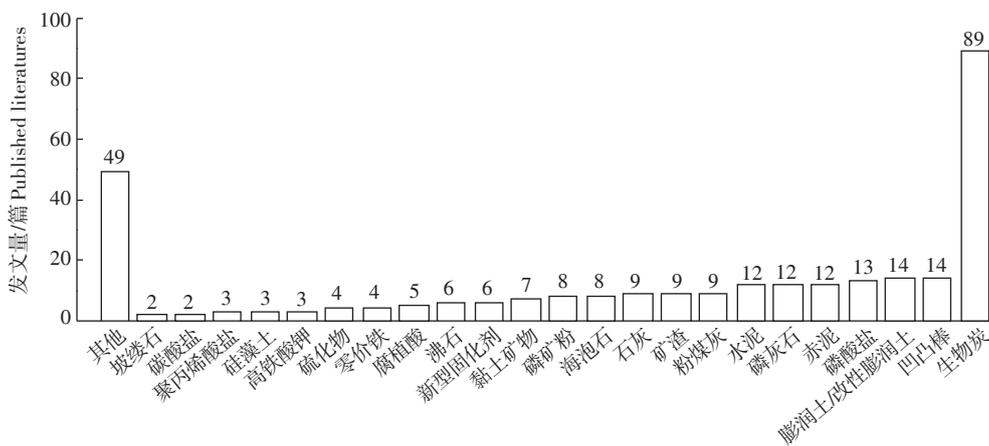


图3 中文文章中修复材料类型及发文章数

Figure 3 Categories and the numbers studied for remediation materials in Chinese papers from 2006 to 2018



单一修复材料类型及数量 Categories and quantities of pure substances

图4 中文文章中施用单一修复材料类型及发文章数

Figure 4 Categories and the numbers studied for pure substances in Chinese papers from 2006 to 2018

19.68%和11.6%。除对生物炭和石灰的研究较多外,中文文献中对磷酸盐、海泡石、膨润土、沸石、粉煤灰、磷灰石等单一或复合材料的研究也比较关注;由图6可知,英文文献中对水泥、磷酸盐、磷灰石、沸石、矿渣材料、堆肥、磷酸盐、零价铁、粉煤灰等单一或复合材料的研究较为关注。

2.8 重金属污染类别

固化稳定化技术修复重金属污染类别一定程度

上反映了土壤受某重金属污染的现状,也反映了该技术适用的重金属类型。图7为2006—2018年中文文献中重金属污染类别,重金属镉发文章量居首位,为595篇,占总发文章量的53.36%,说明我国对土壤重金属镉的研究比较关注,也间接说明我国土壤受重金属镉污染较为严重,其次为铅、铜、锌和铬,分别占总发文章量的40.36%、26.55%、25.56%、10.40%。图8为2006—2018年英文文献中重金属污染类别,发文章量

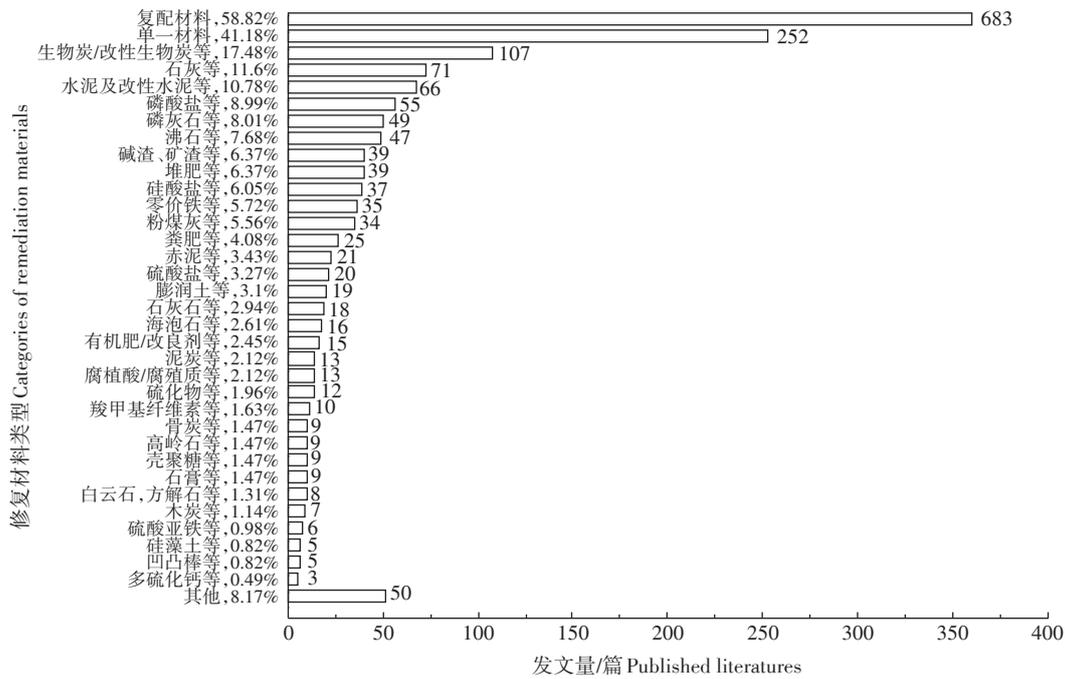
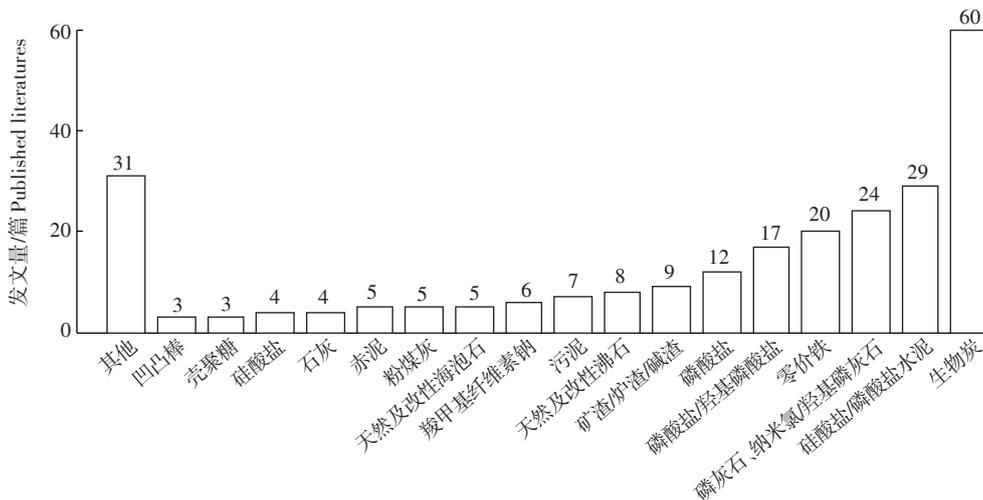


图5 英文文章中修复材料类型及发文章量

Figure 5 Categories and the numbers studied for remediation materials in English papers from 2006 to 2018



单一修复材料类型及数量 Categories and quantities of pure substances

图6 英文文章中施用单一修复材料类型及发文章量

Figure 6 Categories and the numbers studied for pure substances in English papers from 2006 to 2018

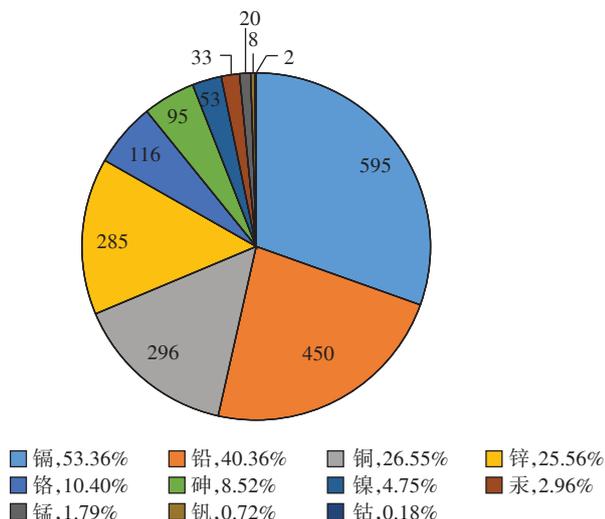


图7 中文文章中重金属种类占比及数量

Figure 7 Categories, fractions, and the numbers studied for contaminated heavy metals in Chinese papers

第一的为重金属铅,发文量为311篇,占总发文量的49.52%,其次为镉、锌、铜和砷,分别占总发文量的42.04%、31.85%、27.39%、15.61%,间接反映了国外土壤重金属污染物的类型。由中英文文献分析可知,发文量最多的前11种重金属种类相同,这一统计结果说明重金属分布虽然具有区域性,但全世界学者关注的重点较为一致,主要集中在对人体危害较为严重的重金属铅、镉。

3 结论

(1)2006—2018年间关于重金属固化稳定化修复技术的中文文章和专利的发文量呈逐年上升的趋势。英文文章中,中国作者和研究机构发文量均居首位,但总篇均被引次数较低,总体影响力较低。

(2)中英文文章和中国专利中,研究内容大多涉及修复材料和评估方法以及部分对反应机理的研究,对机械设备、应用工艺的研究明显不足。关于修复材料的研究大多是复合材料,其中研究较多的材料有生物炭/改性生物炭、石灰、磷酸盐、海泡石、膨润土、沸石、粉煤灰、磷灰石、水泥等2种或以上材料的复合。

参考文献:

- [1] 田喜强,赵宏吉,唐志国,等.土壤污染及修复方法的研究进展[J].现代农业科技,2019(4):154-155,159.
TIAN Xi-qiang, ZHAO Hong-ji, TANG Zhi-guo, et al. Research progress on soil pollution and restoration methods[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(4): 154-155, 159.
- [2] Li H, Liu Y, Zhou Y Y, et al. Effects of red mud based passivator on

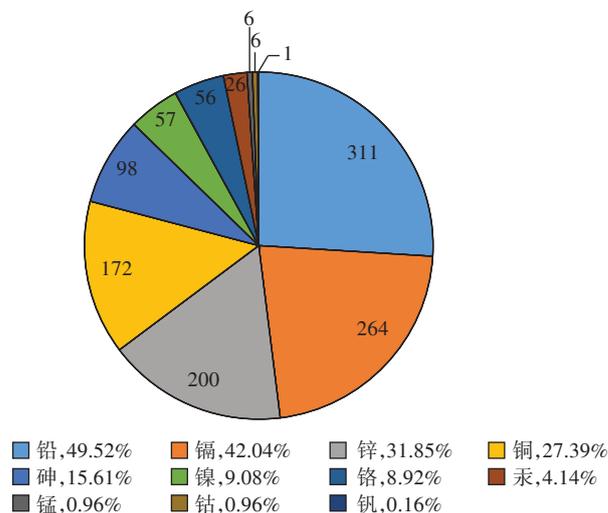


图8 英文文章中重金属种类占比及数量

Figure 8 Categories, fractions, and the numbers studied for contaminated heavy metals in English papers

the transformation of Cd fraction in acidic Cd-polluted paddy soil and Cd absorption in rice[J]. *Science of the Total Environment*, 2018(640/641):736-745.

- [3] Zhou Y Y, Tang L, Zeng G M, et al. Current progress in biosensors for heavy metal ions based on DNazymes/DNA molecules functionalized nanostructures: A review[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2016, 223:280-294.
- [4] 孟其义,钱晓莉,陈 淼,等.稻田生态系统汞的生物地球化学研究进展[J].生态学杂志,2018,37(5):1556-1573.
MENG Qi-yi, QIAN Xiao-li, CHEN Miao, et al. Biogeochemical cycle of mercury in rice paddy ecosystem: A critical review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(5):1556-1573.
- [5] Ran J, Kjellerup B V. Biogeochemical cycling of metals impacting by microbial mobilization and immobilization[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2018, 66(4):146-154.
- [6] 潘 琼,程运林.土壤重金属污染现状调查与评价[J].环境与可持续发展,2013,38(6):47-49.
PAN Qiong, CHENG Yun-lin. Environment and sustainable development[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2013, 38(6): 47-49.
- [7] 贺旭红.生物修复和微生物矿化在重金属污染土壤处理中的研究进展[J].科技创新与应用,2018(23):66-68,71.
HE Xu-hong. Research progress in bio-remediation and microbial mineralization in heavy metal contaminated soil treatment[J]. *Technology Innovation and Application*, 2018(23):66-68,71.
- [8] 王 确,张今大,陈哲晗,等.重金属污染土壤修复技术研究进展[J].能源环境保护,2019,33(3):5-9.
WANG Que, ZHANG Jin-da, CHEN Zhe-han, et al. Advances in remediation technology of heavy metal contaminated soil[J]. *Energy Environmental Protection*, 2019, 33(3):5-9.
- [9] Ma Y, Liu Z, Xu Y, et al. Remediating potentially toxic metal and organic co-contamination of soil by combining in situ solidification/stabi-

- lization and chemical oxidation: Efficacy, mechanism, and evaluation [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(11):2595.
- [10] 周智全, 徐欢欢, 张丽, 等. 固化/稳定化技术应用于重金属污染土壤修复的研究进展[J]. *广东化工*, 2017, 44(15):188-189.
ZHOU Zhi-quan, XU Huan-huan, ZHANG Li, et al. Research progress of chemical washing remediation on heavy-metal contaminated soils[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2017, 44(15):188-189.
- [11] 高国瑞, 杨有海. 污染土固化/稳定化技术研究综述[J]. *科学技术创新*, 2015(33):235-237.
GAO Guo-rui, YANG You-hai. Overview of solidification/stabilization of contaminated soils[J]. *Scientific and Technological Innovation*, 2015(33):235-237.
- [12] 宋云, 李培中, 魏文侠. 探索构建重金属污染土壤固化/稳定化修复效果评价体系[J]. *环境保护*, 2014, 42(15):61-63.
SONG Yun, LI Pei-zhong, WEI Wen-xia. To explore an effect evaluation system about solidification/stabilization of soils contaminated by the heavy metals[J]. *Environmental Protection*, 2014, 42(15):61-63.
- [13] 杜志鹏, 苏德纯. 稻田重金属污染修复治理技术及效果文献计量分析[J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37(11):2409-2417.
DU Zhi-peng, SU De-chun. Bibliometric analysis of the effects of heavy metal pollution remediation technologies on paddy fields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(11):2409-2417.
- [14] Hou D D, Bi X W, Mao Z N, et al. Biomaterials research of China from 2013 to 2017 based on bibliometrics and visualization analysis [J]. *Peer J*, 2019, 7:e6859.
- [15] 刘喜, 肖劲光, 陈伟. 基于文献计量的重金属污染土壤生物修复研究发展态势分析[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(13):189-192.
LIU Xi, XIAO Jin-guang, CHEN Wei. Development trends of bioremediation of heavy metal contaminated soils based on bibliometrics [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(13):189-192.
- [16] 张红侠, 高利峰, 李睿康. 基于文献计量的国内土壤重金属污染研究[J]. *现代农业科技*, 2013(16):346-347, 349.
ZHANG Hong-xia, GAO Li-feng, LI Rui-kang. Research on soil heavy metal pollution in China based on bibliometric analysis[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013(16):346-347, 349.
- [17] 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.
HU Yuan-mei, ZHOU Jun, LIU Hai-long, et al. Bibliometric analysis of studies on remediation of heavy metals contaminated soils based on Web of Science[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(3):707-720.
- [18] 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.
ZHAO Qing-ling, LU Wen-ru. Research review and prospect of soil heavy metals pollution-bibliometric analysis based on Web of Science [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(6):105-111.
- [19] 张彩丽, 张志转, 陈娟, 等. 中国土壤重金属污染植物修复研究的文献计量分析[J]. *世界农业*, 2016(1):136-140, 228.
ZHANG Cai-li, ZHANG Zhi-zhuan, CHEN Juan, et al. Bibliometric analysis on phytoremediation of soil heavy metal pollution in China[J]. *World Agriculture*, 2016(1):136-140, 228.
- [20] Koelmel J, Prasad M N V, Pershell K. Bibliometric analysis of phytotechnologies for remediation: Global scenario of research and applications[J]. *International Journal of Phytoremediation*, 2015, 17(2):145-153.
- [21] 中国环境保护产业协会重金属污染防治与土壤修复专业委员会. 重金属污染防治与土壤修复行业2014年发展综述[J]. *中国环保产业*, 2015(8):6-11.
Specially Committee of Heavy Metal Pollution Prevention and Soil Remediation, CAEPI. Development report on heavy metal pollution prevention and soil remediation industry in 2014[J]. *China Environmental Protection Industry*, 2015(8):6-11.
- [22] Li Y, Li J, Xie S. Bibliometric analysis: Global research trends in biogenic volatile organic compounds during 1991-2014[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2017, 76(1):11.
- [23] 杜云南. 文学批评期刊论文被引频次分析[J]. *广东广播电视大学学报*, 2010, 19(1):95-98.
DU Yun-nan. Analysis of frequency of quotation of literary criticism journal[J]. *Journal of Guangdong Radio & TV University*, 2010, 19(1):95-98.
- [24] 周全. 论科技期刊发论综述性文章与影响因子的关系[J]. *现代交际*, 2009(11):135-136.
ZHOU Quan. On the science and technology journals published articles and summarized the relationship between impact factors[J]. *Modern Communication*, 2009(11):135-136.
- [25] Huang Y F, Chen G F, Xiong L M, et al. Current situation of heavy metal pollution in farmland soil and phytoremediation application[J]. *Asian Agricultural Research*, 2016, 8(1):22-24.