

DOI: 10.11766/trxb201601290426

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

吴 健¹ 王 敏¹ 靳志辉² 吴建强¹ 沙晨燕¹ 齐晓宝²
唐 浩¹ 黄沈发^{1, 2†}

(1 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

(2 东华大学环境科学与工程学院, 上海 200051)

摘 要 为深入了解土壤环境中多环芳烃研究的全球状况和前沿动态, 客观反映相关国家、机构和个人在该领域的科学能力和影响, 采用 ISI Web of Knowledge 的 Web of Science 引文数据库, 对 1900—2014 年间该库收录的土壤环境中多环芳烃研究领域的相关文献进行了计量分析。结果表明, 该领域全球发文量总体呈持续快速上升趋势, 美国的发文量、总被引频次和 H 指数均居榜首, 中国的发文量和总被引频次居次席, 但篇均被引频次明显偏低; 中国科学院和英国兰卡斯特大学的发文量和 H 指数居研究机构的前两位, 篇均被引频次排名最高的研究机构是美国马萨诸塞大学; 英国兰卡斯特大学的 Jones K C 等两位学者发文量和 H 指数最高, 北达克科特大学 Hawthorne S B 的篇均被引频次最高, 国内学者中北京大学的陶澍和浙江大学的朱利中最有影响力; 该领域的主要期刊有 *Environmental Science & Technology*、*Chemosphere* 和 *Environmental Pollution* 等; 该领域的研究热点多集中于土壤环境中多环芳烃的降解及生物修复、多环芳烃在各介质中的溶解与吸附、以及多环芳烃的源解析等方向, “中国” 相关研究在近 5 年中占重要地位。

关键词 多环芳烃; 土壤; Web of Science; 文献计量分析

中图分类号 X53; X142 **文献标识码** A

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 是指两个或两个以上苯环以线状、角状或簇状排列的稠环化合物。多环芳烃具有疏水性、蒸气压小及辛醇-水分配系数高的特点^[1]。PAHs 具有持久性、毒性、普遍性, 是环境中最大的一类致癌化学物质, 受到环境科学工作者的广泛关注。随着苯环数量的增加, 其脂溶性越强, 水溶性越小, 在环境中存在时间越长, 遗传毒性越高, 其致癌性随着苯环数的增加而增强^[2-3]。环境中 PAHs 绝大部分由人为活动产生, 包括煤、石油、木材和高分

子有机化合物的不完全燃烧以及石油和石油产品的开采、运输、使用和排放^[4-6]。土壤是多环芳烃主要的环境归宿之一, 残留在土壤中的污染物, 不仅影响土壤的正常功能, 降低土壤环境质量, 而且还可以通过生物富集进入食物链, 危及人体健康。研究显示, 由土壤进入人体的 PAHs 数量远要高于大气和水^[7-8]。PAHs 等有机物在土壤中发生一系列复杂的物理、化学、生物变化, 其中一部分污染物降解或转化为无害物质; 一部分通过挥发等途径进入其他相中; 还有一部分会长期存在于土壤环境

^{*} 上海市科学技术委员会科研计划项目 (STCSM-13231203600)、环科创新项目 (CX201205) 资助 Supported by the Scientific Research Program of Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (No. STCSM-13231203600) and Environmental Science Innovation Program of Shanghai Academy of Environmental Sciences (No. CX201205)

[†] 通讯作者 Corresponding author, E-mail: huangsf@saes.sh.cn

作者简介: 吴 健 (1977—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事土壤环境修复与管理工

收稿日期: 2016-01-29; 收到修改稿日期: 2016-04-06; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2016-04-14

中,进而对环境产生深远的影响。土壤中多环芳烃类物质的污染日趋严重,已成为国内外研究关注的热点。

文献计量学(Bibliometrics)的概念由英国情报学家普里查德(Pritchard A.)于1969年提出,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被不少学科采用^[9]。文献计量分析可在某一领域内系统地评估科研结果的相对重要程度,预示该领域近一段时期的发展方向,表征该项研究的地域分布情况。近年来,有关土壤多环芳烃的研究报道持续增长,但从文献计量角度研究其发展动态的研究极少。本文对全球土壤环境中多环芳烃研究领域的相关文献进行计量分析,以便准确掌握本领域的研究现状和前沿动态,有助于研究者了解该领域在全球发展的整体情况,明确未来的研究方向。

1 数据来源及分析方法

1.1 数据来源

Web of Science数据库是由美国科技信息所(Institute for Scientific Information, ISI)推出的引文索引数据库,是目前提供引文回溯数据最深的数据库,所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,已成为国际公认进行科学统计与科学评价的主要检索工具。本文以Web of Science为数据来源,采用普通检索方式,“‘polycyclic aromatic hydrocarbon*’ or PAH or PAHs and soil”作为检索主题词,检索时间跨度为1900—2014年,共检索文献8 490篇,其中第1篇论文发表于1962年。

1.2 分析方法

利用Thomson Reuters的Thomson Data Analyzer(TDA)软件对文献数据进行挖掘和分析,采用文献计量学的方法,即以文献体系和文献计量特征为研究对象,采用数学、统计学等计量方法,研究文献情报的分布结构、数量关系、变化规律和定量管理,并进而探讨科学技术的某些结构、特征和规律,对土壤环境中多环芳烃研究论文的发展脉络进行描述和概括。

采用VOSviewer来构建土壤中多环芳烃研究热点主题的知识图谱。VOSviewer是由Nees Jan van Eck和Ludo Waltman开发的一款免费软件,被广泛

应用于各类“共现”分析^[10]。知识图谱应用数学、图形学、信息可视化技术等理论和方法,与传统科学(文献)计量学的共词、引文分析方法相结合,用可视化图谱形象地展示学科的结构与发展^[11]。

1.3 主要指标

发文量:即论文的产出篇数,发文量在文献计量学中一直是一个测度科研生产能力的重要指标。

被引频次:论文被其他论文作为参考文献的次数,论文被引频次越高,反映出该论文在该领域被关注的程度越高、该论文的价值也越高。

H指数:是一个混合量化指标,最初是由美国加利福尼亚大学圣地亚哥分校的物理学家乔治·赫希(Jorge Hirsch)在2005年提出,其目的是量化科研人员作为独立个体的研究成果。H指数被认为是对先前众多衡量指标的一大改进;先前的衡量指标均倾向于关注科研人员在其发表论文的期刊,因而,它们均假定作者的贡献等同于期刊的平均值。如果一位科学家的出版成果以它们被引生命周期的数字进行排序,那么H指数就是一个最大值,这个最大值是指每篇论文至少被引了H次的H篇文章^[12]。H指数的最初应用是测算科学家个人的学术产出,由于H指数简单、易用,H指数也可拓展应用到期刊、国家、机构、学科等其他领域评价。

2 结果

2.1 文献产出趋势

论文发表的年代分布在一定程度上反映该领域的研究状况、研究水平及发展速度,并能通过图表反映出某一时间段内该领域研究的热点时期^[13]。关于土壤环境中多环芳烃研究的第1篇文献发表于1962年,1962—2014年的53年间,Web of Science数据库中,全世界有关土壤环境中多环芳烃研究的论文共8 490篇,总体呈上升趋势。根据模拟趋势线发现,文献数量年度变化趋势呈线性增长,结合发文量和篇均被引频次将全球土壤环境中多环芳烃研究大体分为3个阶段:1962—1990年为研究起步阶段,发展较为缓慢,此期间仅有37篇文献被收录,年均发文量小于10篇,此时期论文质量良莠不齐,篇均被引频次整体上在小于100的范围内呈大幅波动状态,但1975年发表的2篇文章,篇均被引频次达258,远高于此时期的篇均被引频

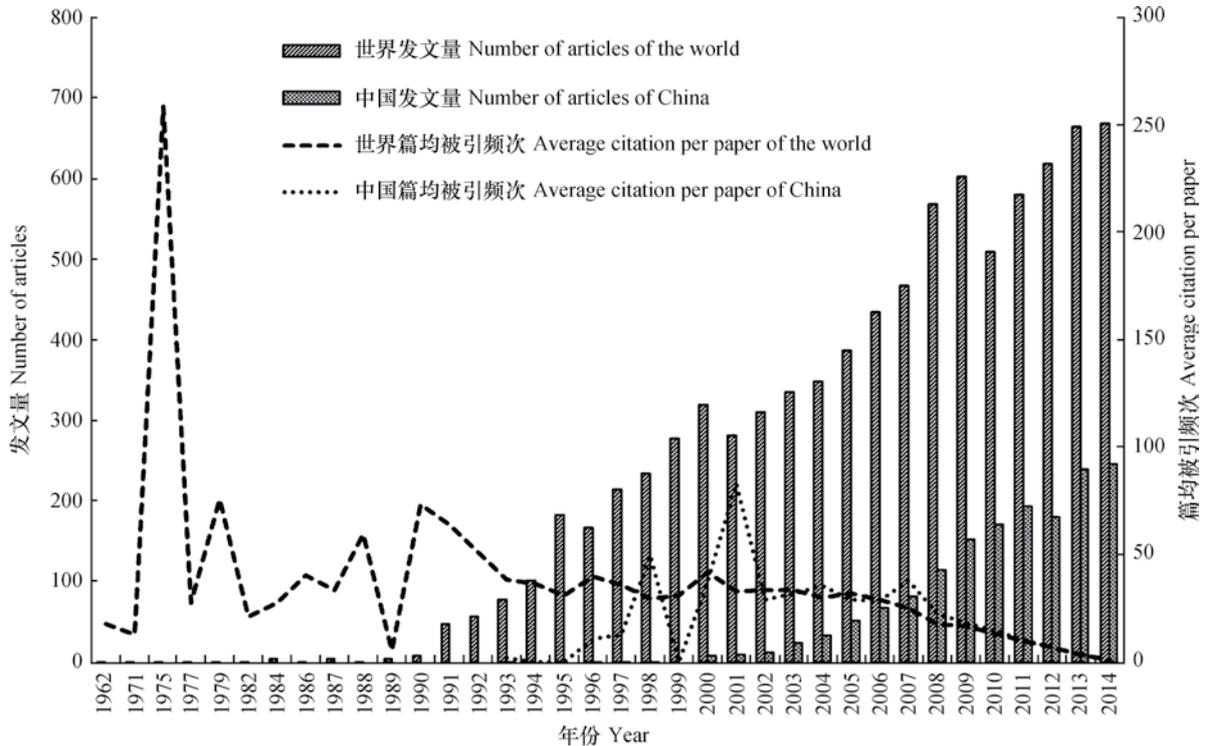


图1 中国及世界范围内发文章量及篇均被引频次变化

Fig. 1 Variation of number of articles and average citation per paper in China and the world

次; 1991—2005年土壤环境中多环芳烃研究进入快速发展阶段, 论文数量逐年线性增长, 2005年发文章量达386篇, 此阶段共发文章3 344篇, 年均发文章量223篇, 远远高于第1阶段的年均发文章, 此阶段的篇均被引频次呈平稳状态, 篇均被引频次基本在30~40范围内; 2006—2014年为稳定增长阶段, 2014年发文章量达668篇, 年均发文章量达568篇, 此阶段的总发文章量占全部发文章量的60.17%。由于发文章时间较短, 篇均被引频次整体处于波动下降的趋势。

中国在此领域研究的第一篇文献发表于1993年(世界范围内研究第2阶段, 见图1), 此后至2000年一直处于缓慢发展阶段, 此阶段发文章量仅13篇, 年均发文章量1.63篇, 最多的年份不超过10篇, 仅占世界发文章量的2.5%, 篇均被引频次波动较大。2001—2007年发文章量有了一定的提升, 此阶段发文章282篇, 年均发文章量35.25篇, 年均发文章量占世界发文章量达到10%, 篇均被引频次较平稳。2008—2014年发文章数量增长趋势加快, 共发文章1 299篇, 2014年发文章量为246, 占此阶段发文章量的18.94%, 当年发文章量已占世界发文章量的36.83%。由此可见, 中国对土壤环境中多环芳烃的研究越来越

受到重视。

2.2 国家及机构

论文被SCI收录的数量和被引频次反映了一个国家的整体科研实力和影响力^[14], 从Web of Science 数据库中检索出土壤环境中多环芳烃研究领域发文章量前20的国家和地区(见表1)。其中, 美国的发文章量居首位, 共发表了论文1 784篇, 占总文献数的20.75%, 发文章量居第2位的是中国, 共发文章1 595篇, 占世界发文章总量的18.55%, 美国和中国的发文章量均远高于排名第3位的德国(729篇)。从累计被引频次来看, 美国总被引频次最高, 为56 194次, 中国总被引频次居第2位, 德国、英国、加拿大虽发文章量少, 但总被引频次均超过了10 000; 从篇均被引频次来看, 排名第1位的是瑞典(33.34), 美国排名第4位, 中国篇均被引频次14.11, 仅排名第18位。从H指数来看, 美国仍以107居于首位, 德国居于第2位(66), 中国居于第4位(61)。综合上述各个指标可知, 美国、德国、英国等在此领域研究的论文数量和质量均较好, 中国在发文章数量和总被引频次上排第2位, 但篇均被引频次明显偏低, 在整体发文章质量上还应加强。

表1 发文量前20的国家和地区统计

Table 1 Top 20 countries or regions in number of articles published

排名 Ranking	国家及地区 Country or region	发文量 Number of articles	总被引频次 Total citation	篇均被引频次 Average citation per paper	H指数 H index
1	美国USA	1 784	56 194	31.50	107
2	中国大陆Mainland China	1 595	22 507	14.11	61
3	德国Germany	729	19 401	26.61	66
4	英国UK	526	16 141	30.69	63
5	加拿大Canada	476	13 215	27.76	58
6	法国France	471	8 909	18.92	47
7	西班牙Spain	447	10 089	22.57	47
8	意大利Italy	329	5 843	17.76	40
9	荷兰Netherlands	277	8 998	32.48	49
10	波兰Poland	240	3 390	14.13	30
11	韩国South Korea	215	3 133	14.57	29
12	瑞典Sweden	202	6 734	33.34	46
13	日本Japan	199	3 806	19.13	31
14	印度India	197	3 806	19.32	32
15	澳大利亚Australia	167	3 599	21.55	29
16	捷克Czech Republic	165	3 166	19.19	27
17	丹麦Denmark	161	5 319	33.04	38
18	巴西Brazil	148	1 520	10.27	21
19	墨西哥Mexico	143	1 279	8.94	20
20	中国台湾Taiwan, China	128	2 115	16.52	25

发文量前20的机构中国占7个, 美国3个, 德国3个(见表2)。中国科学院(Chinese Acad Sci)、兰卡斯特大学(Univ Lancaster)和浙江大学(Zhejiang Univ)位列前三, 中国科学院以468篇的数量居于榜首, 大于排名第2、3、4位的机构发文量总和, 占前20机构的24.32%。总被引频次方面, 中国科学院被引量7 244列于第1位, 兰卡斯特大学发文总被引量排名第2位, 斯德哥尔摩大学排名第3位。从篇均被引频次来看, 排名第1位的机构是斯德哥尔摩大学, 篇均被引频次为57.11, 篇均被引频次大于40的机构还有马萨诸塞大学、拜罗伊特大学, 以及兰卡斯特大学, 中国科学院的篇均被引频次只有15.48, 甚至明显低于浙江大学

(20.67)和北京大学(19.56), 所有中国研究机构均未进入前10。中国科学院发文的H指数为42, 与兰卡斯特大学H指数相同, 并列第1位。

2.3 作者及期刊

学者是科学研究的主体, 所发表的学术成果体现了学者的研究水平^[15]。发文量最多的前20位论文作者分布排名见表3。在SCI发表论文最多的是英国的Jones K C(88篇)和Semple Kirk T(77篇), 第3位的是陶澍(61篇), 第4位的是朱利中(56篇)。从发文量最多的前4位作者分布来看, 其所属机构分别是兰卡斯特大学、北京大学、浙江大学, 其中第1、2位的学者均来自兰卡斯特大学。从总被引频次来看, 依然是发文量最多的

表2 发文量前20的研究机构统计

Table 2 Top 20 research institutions in number of articles published

排名 Ranking	机构 Institution	所属国家 Country	发文量 Number of articles	总被引频次 Total citation	篇均被引频次 Average citation per paper	H指数 H index
1	中国科学院Chinese Acad Sci	中国	468	7 244	15.48	42
2	兰卡斯特大学Univ Lancaster	英国	143	5 778	40.41	42
3	浙江大学Zhejiang Univ	中国	142	2 935	20.67	30
4	亥姆霍兹环境研究中心 UFZ Helmholtz Ctr Environm Res	德国	101	2 498	24.73	28
5	北京大学Peking Univ	中国	94	1 839	19.56	25
6	皇家科学理事会CSIC	西班牙	93	2 260	24.30	26
7	美国环境保护署USEPA	美国	92	2 648	28.78	29
8	南京农业大学Nanjing Agr Univ	中国	77	884	11.48	20
9	北京师范大学Beijing Normal Univ	中国	70	575	8.21	15
10	马萨诸塞大学Univ Massachusetts	美国	68	3 123	45.93	34
11	南开大学Nankai Univ	中国	67	894	13.34	17
12	斯德哥尔摩大学Stockholm Univ	瑞典	63	3 598	57.11	30
13	非洲自然资源研究所INRA	法国	61	834	13.67	16
14	香港浸会大学Hong Kong Baptist Univ	中国	60	1 435	23.92	20
15	北卡罗来那大学Univ N Carolina	美国	58	1 781	30.71	22
16	捷克科学院Acad Sci Czech Republic	捷克	57	1 262	22.14	21
17	拜罗伊特大学Univ Bayreuth	德国	54	2 265	41.94	29
18	加拿大环境部Environm Canada	加拿大	53	1 991	37.57	21
19	俄罗斯科学院Russian Acad Sci	俄罗斯	52	304	5.85	10
20	慕尼黑科技大学Tech Univ Munich	德国	51	1 830	35.88	23

Jones K C以4 785居于首位, 远高于排名第2位的Hawthorne S B (总被引频次3 052), 华人学者中总被引频次最高的是邢宝山(2 827), 浙江大学的朱利中(1 683)和北京大学的陶澍(1 506)分别居第2、3位。从篇均被引频次来看, 处于第1位的是北达科特大学的Hawthorne S B, 篇均被引量为80.32; 处于第2位的是斯德哥尔摩大学的Cornelissen Gerard, 篇均被引频次为76.81; 发文量最多的Jones K C的篇均被引频次为54.38, 位于第3位; 前20的中国作者中篇均被引频次最高的是浙江大学的朱利中, 篇均被引频次为30.05。从H指数来看, Jones K C以40排名第1位, 美国北达科

特大学的Hawthorne S B以30居于第2位, Semple Kirk T (28) 处于第3位, 陶澍和朱利中H指数均为23, 并列第5位, 中国科学院的几位学者H指数为12~14, 整体偏低。

统计分析刊载土壤中多环芳烃研究文献的期刊分布情况, 可确定该领域SCI来源的核心期刊, 有助于研究人员选择重点期刊进行文献查阅和成果发表。从表4可以看出, 发文量排在第1位的是*Chemosphere*, 目前刊登土壤中多环芳烃类文献最多, 为546篇, 占全部发文量的6.43%, *Environmental Science & Technology* (简称EST) 期刊发文量为525篇, 排名第2位, 占全部发文量

表3 发文量前20的作者统计

Table 3 Top 20 scholars in number of articles published

排名 Ranking	作者 Author	机构 Institution	所属国家 Country	发文量 Number of articles	总被引频次 Total citation	篇均被引频次 Average citation per paper	H指数 H index
1	Jones K C	兰卡斯特大学	英国	88	4 785	54.38	40
2	Semple Kirk T	兰卡斯特大学	英国	77	2 625	34.09	28
3	Tao Shu (陶澍)	北京大学	中国	61	1 506	24.69	23
4	Zhu Lizhong (朱利中)	浙江大学	中国	56	1 683	30.05	23
5	Xing Baoshan (邢宝山)	马萨诸塞大学	美国	53	2 827	53.34	27
6	Oleszczuk Patrylk	中国农业大学	中国	49	617	12.59	13
7	Wilcke Wolfgang	拜罗伊特大学	德国	38	1 466	38.58	21
8	Gao Yanzheng (高彦征)	南京农业大学	中国	38	964	25.37	20
9	Hawthorne S B	北达科特大学	美国	38	3 052	80.32	30
10	Aitken Michael D	北卡罗来纳大学	美国	38	1 187	31.24	19
11	Cornelissen Gerard	斯德哥尔摩大学	瑞典	37	2 842	76.81	22
12	Li Peijun	中国科学院	中国	34	527	15.50	14
13	Christie Peter	中国科学院	中国	33	418	12.67	14
14	Luo Yongming	中国科学院	中国	33	455	13.79	12
15	Harms Hauke	亥姆霍兹环境研究中心	德国	31	1 484	47.87	17
16	Namiesnik Jacek	格但斯克工业大学	德国	31	977	31.52	14
17	Cutright TJ	阿克伦大学	美国	29	316	10.90	9
18	Rulkens WH	瓦赫宁根农业大学	荷兰	29	801	27.62	12
19	Dendooven Luc	国家理工研究院高级研究中心	墨西哥	28	293	10.46	9
20	Faure Pierre	法国国家科学研究院	法国	28	340	12.14	11

6.184%，*Environmental Pollution*（简称EP）期刊发文量343篇，排名第3位，占全部发文量4.04%；总被引频次最高的是EST，被引次数达29 124，约为总被引频次排名第2位的期刊*Chemosphere*的2倍，EP总被引频次排名第3位，为11 361次；篇均被引频次方面EST居第1位，*Journal of Chromatography A*居第2位，EP居第3位；EST的H指数仍排第1位，*Chemosphere*居第2位，EP居第3位。总体而言，以上3种期刊在此领域具有举足轻重的地位。

2.4 高被引频次论文

文章的被引频次在一定程度上反映了人们对某项研究工作的关注程度，可以显示科学论文在科研过程中被使用和受重视的程度，以及在学术交流中的作用和地位。目前的研究评价中，被引频次被越来越多地用于衡量论文重要性的指标^[16]。据统计，前10篇高被引频次论文作者中只有2位华人学者（见表5），且均是作为合作研究者身份。被引频次最高的论文是由Pignatello J J和Xing B S发表的题名“Mechanisms of slow sorption of

表4 发文量前10的期刊统计

Table 4 Top 10 journals in number of articles published

排名 Ranking	来源出版物 Source journal	发文章 Number of articles	占比 Percentage (%)	总被引频次 Total citation	篇均被引频次 Average citation per paper	H指数 H index
1	<i>Chemosphere</i> (化学圈)	546	6.43	15 555	28.49	61
2	<i>Environmental Science & Technology</i> (环境科学与技术)	525	6.18	29 124	55.47	93
3	<i>Environmental Pollution</i> (环境污染)	343	4.04	11 361	33.12	52
4	<i>Journal of Hazardous Materials</i> (有害材料杂志)	322	3.79	6 582	20.44	39
5	<i>Environmental Toxicology and Chemistry</i> (环境毒理与化学)	214	2.52	4 915	22.97	38
6	<i>Science of The Total Environment</i> (总体环境科学)	198	2.33	5 093	25.72	37
7	<i>Journal of Chromatography A</i> (色谱分析杂志A卷)	162	1.91	5 813	35.88	44
8	<i>Environmental Science and Pollution Research</i> (环境科学与污染研究)	133	1.57	1 143	8.59	18
9	<i>Water Air and Soil Pollution</i> (水、空气和土壤污染)	132	1.56	1 383	10.48	19
10	<i>International Biodeterioration & Biodegradation</i> (国际生物腐蚀与降解)	113	1.33	1 441	12.75	22

organic chemicals to natural particles”的文章, 侧重研究颗粒内影响缓慢吸附和解吸的原因及对污染物迁移和生物修复的影响, 发文时间为1996年, 迄今被引用843次; 被引频次居于第2位的论文是“Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry”, 从基础知识和实践的角度讨论了芬顿和类芬顿反应应用于水和土壤处理的影响因素, 发文时间为2006年, 被引频次为796次; 被引频次居于第3位的是“Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants”, 主要研究土壤中有机污染物的生物有效性随着时间推移的变化趋势。从高被引频次文献来看, 主要研究问题包括土壤中有机物的吸附、分布、累积及降解机理等。

2.5 关键词及研究热点

土壤中多环芳烃研究相关文献的关键词分析可以反映该领域研究热点。基于VOSviewer, 对1990—2014年所有时段的相关关键词, 构建土壤环境中多环芳烃主题的知识图谱(见图2), 可以得出此领域研究的几个热点: 一是土壤中多环芳烃的生物降解与修复研究, 其中微生物降解已成为最主要的多环芳烃污染土壤的修复技术, 尤其真菌(如白腐菌(white-rot fungi))在降解高环多环芳烃方面表现突出, 此类研究多集中于微生物降解机理与影响因素的探讨^[27-30]; 二是多环芳烃在各介质中的溶解与吸附研究, 界面吸附行为模式及各种表面活性剂的研究是其中的热点^[21, 31]; 三是多环芳烃的源解析研究, 主要应用特征比值、地统计学和稳定同位素等技术方法, 重点关注大气和河流中多环芳

表5 前10篇高被引频次论文

Table 5 Top 10 citation articles in citation frequency

排名 Ranking	作者 Author	题名 Title of article	总被引频次 Total citation	发文时间 Publication year
1	Pignatello J J, Xing B S	Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles (有机化学物质在自然颗粒上的缓慢吸附机理) ^[17]	843	1996
2	Pignatello J J, Oliveros E, MacKay A	Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry (基于芬顿反应及相关化学的有机污染物破消解的高级氧化工艺) ^[18]	796	2006
3	Alexander M	Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants (环境污染物的老化、生物有效性及风险高估) ^[19]	701	2000
4	Baldrian P	Fungal laccases – occurrence and properties (真菌漆酶的赋存和特性) ^[20]	693	2006
5	Cornelissen G, Gustafsson O, Bucheli T D, Jonker M T O, Koelmans A A, van Noort P C M	Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: Mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation (有机物在沉积物和土壤中炭黑、煤及干酪根上的广泛吸附: 分布、生物累积及生物降解的机理和后果) ^[21]	595	2005
6	Hedges J I, Keil R G, Benner R	What happens to terrestrial organic matter in the ocean? (陆地有机物在海洋中发生了什么?) ^[22]	574	1997
7	Menzie C A, Potocki B B, Santodonato J	Exposure to carcinogenic PAHS in the environment (致癌多环芳烃在环境中的暴露) ^[23]	549	1992
8	Edwards D A, Luthy R G, Liu Z B	Solubilization of polycyclic aromatic-hydrocarbons in micellar nonionic surfactant solutions (多环芳烃在非离子表面活性剂溶液中的溶解) ^[24]	535	1991
9	Stedmon C A, Markager S, Bro R	Tracing dissolved organic matter in aquatic environments using a new approach to fluorescence spectroscopy (应用1种新的荧光光谱方法示踪水环境中的溶解性有机物) ^[25]	492	2003
10	Schmidt M W I, Noack A G	Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges (土壤和沉积物中的炭黑: 分析、分布、影响和当前的挑战) ^[26]	479	2000

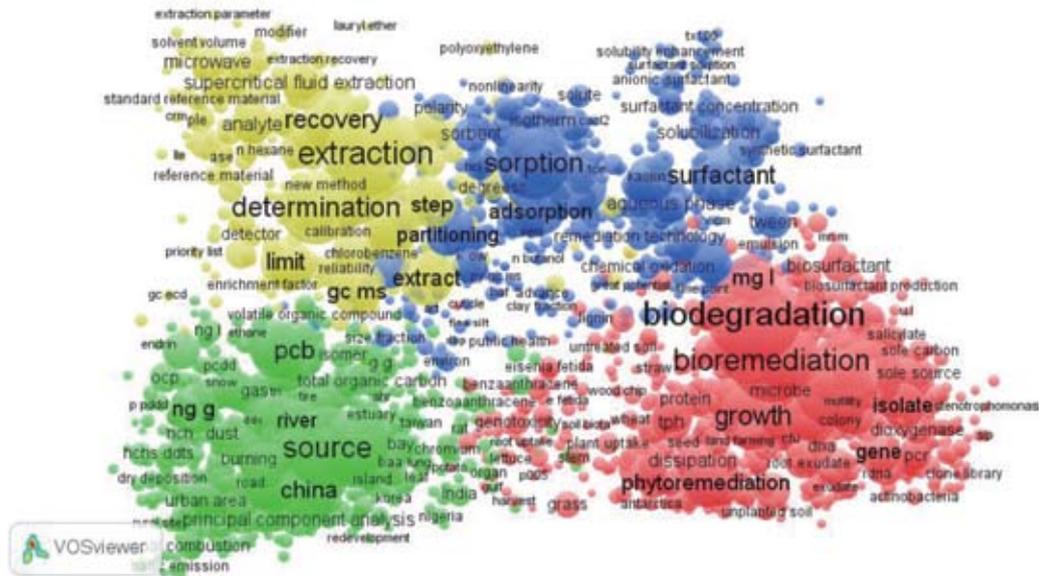


图2 土壤环境中多环芳烃研究热点分布

Fig. 2 Distribution of hot spots of the research on PAHs in the soil environment

烃的来源^[32-33]。此外，有关多环芳烃提取、回收和标定等的测定方法研究也不断取得新进展^[34-36]。

对2010—2014年的相关关键词进行合并整理，前20的排名见表6。结果表明，土壤环境中多环芳烃的降解和修复仍是近5年该领域研究的热点，其中生物有效性备受关注，如根际微生物对多

环芳烃的降解作用等。近5年研究得最多的多环芳烃类物质是非和苊，同时土壤环境中多环芳烃的研究往往与水、沉积物及大气中的重金属、持久性有机污染物和有机氯农药等污染物的相关研究联系在一起。吸附机理研究仍受重视。“中国”相关研究在近5年中占重要地位。

表6 2010—2014年土壤中多环芳烃研究相关文献的高频关键词统计

Table 6 High frequency keywords in related articles during 2010–2014

排名 Ranking	关键词 Key words	出现频次 Frequency	排名 Ranking	关键词 Key words	出现频次 Frequency
1	degradation & biodegradation (降解及生物降解)	1 059	11	black carbon (炭黑)	126
2	remediation & bioremediation (修复及生物修复)	538	12	extraction (提取)	126
3	phenanthrene (菲)	343	13	rhizosphere (根际)	120
4	sediments (沉积物)	315	14	contamination (污染物)	118
5	bioavailability (生物可利用性)	212	15	crude-oil (原油)	118
6	water (水)	206	16	organochlorine pesticides (有机氯农药)	118
7	heavy-metals (重金属)	195	17	bacteria (细菌)	117
8	sorption (吸附)	194	18	removal (去除)	114
9	China (中国)	155	19	organic-matter (有机质)	113
10	persistent organic pollutants (持久性有机污染物)	128	20	pyrene (苊)	107

3 结 论

科学文献的数量和质量无疑是对科学技术水平的一种量度。对1990—2014年Web of Science数据库收录的土壤环境中多环芳烃相关研究文献分析表明,有关土壤环境中多环芳烃研究论文的数量整体呈逐年持续增长趋势,其中来自中国的研究尤其突出,2014年发文量已经占当年世界发文量的36.83%。美国的发文量、总被引频次和H指数均居首位,中国的发文量和总被引频次居次席,但从国家、机构和学者来看,中国研究论文的篇均被引频次均明显偏低,整体论文质量有待提升。综合来看,该领域国际上最具影响力的期刊是*Environmental Science & Technology*。通过对关键词的分析发现,该领域的研究热点多集中于土壤环境中多环芳烃的降解及生物修复、多环芳烃在各介质中的溶解与吸附、以及多环芳烃的源解析等方向,“中国”相关研究在近5年中占重要地位。

参 考 文 献

- [1] Quilliam R S, Rangelcroft S, Emmett B A, et al. Is biochar a source or sink for polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) compounds in agricultural oils?. *Global Change Biology Bioenergy*, 2013, 5 (2) : 96—103
- [2] Johnsen A R, Wick L Y, Harms H. Principles of microbial PAH-degradation in soil. *Environmental Pollution*, 2005, 133: 71—84
- [3] Maliszewska-Kordybach B, Smreczak B. Changes of soil microbial properties in the course of PAH dissipation in soils artificially contaminated with these compounds. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2003, 23: 11—21
- [4] Shen G Q, Lu Y T, Zhou Q X, et al. Interaction of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals on soil enzyme. *Chemosphere*, 2005, 61: 1175—1182
- [5] Thiele-Bruhn S, Brümmer G W. Kinetics of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) degradation in long-term polluted soils during bioremediation. *Plant and Soil*, 2005, 275: 31—42
- [6] Atagana H I. Biodegradation of polyacyclic aromatic hydrocarbons in contaminated soil by biostimulation and bioaugmentation in the presence of copper (II) ions. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2006, 22: 1145—1153
- [7] Moon H S, Kahng H Y, Kim J Y, et al. Determination of biodegradation potential by two culture-independent methods in PAH-contaminated soils. *Environmental Pollution*, 2006, 140: 536—545
- [8] Thorsen W A, Cope W G, Shea D. Bioavailability of PAHs: Effects of soot carbon and PAH source. *Environmental Science and Technology*, 2004, 38: 2029—2037
- [9] 邱均平, 段宇锋, 陈敬全, 等. 我国文献计量学发展的回顾与展望. *科学学研究*, 2003, 21 (2) : 143—148. Qiu J P, Duan Y F, Chen J Q, et al. The retrospect and prospect on bibliometrics in China (In Chinese) . *Studies in Science of Science*, 2003, 21 (2) : 143—148
- [10] Van Eck N J, Waltman L, Dekker R, et al. A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional scaling and VOS. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2010, 61 (12) : 2405—2416
- [11] 宋乾进, 袁勤俭, 沈洪洲. 基于VOSviewer的2010年中国图书馆学研究热点分析. *图书馆*, 2012 (4) : 88—90
Song Q J, Yuan Q J, Shen H Z. Research focus of China library science in 2010 based in VOSviewer (In Chinese) . *Library*, 2012 (4) : 88—90
- [12] Hirsch J E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005, 102 (46) : 16569—16572
- [13] 程慧荣, 张晓阳, 孙坦, 等. 基于Web of Science的本体研究论文定量分析. *现代图书情报技术*, 2006 (11) : 46—50
Chen H R, Zhang X Y, Sun T, et al. A quantitative analysis of ontology research articles based on Web of Science (In Chinese) . *New Technology of Library and Information Service*, 2006, 11: 46—50
- [14] 黄宝晟. 文献计量法在基础研究评价中的问题分析. *研究与发展管理*, 2008, 20 (6) : 108—111
Huang B S. Analysis on the application of literature metrology to basic research evaluation (In Chinese) . *R & D Management*, 2008, 20 (6) : 108—111
- [15] 盛春蕾, 霍莉莉, 贾淑霞, 等. 基于Web of Science的世界黑土研究轨迹与热点分析. *土壤与作物*, 2012, 1 (3) : 135—142
Sheng C L, Huo L L, Jia S X, et al. Analysis of the trajectory and hot spots in black soil research based on Web of Science (In Chinese) . *Soil and Crop*, 2012, 1 (3) : 135—142
- [16] 赵纪东, 安培浚, 张志强. 全球变化空间观测研究的文献计量分析. *遥感技术与应用*, 2010, 25 (5) : 754—760

- Zhao J D, An P J, Zhang Z Q. Bibliometrical analysis for space observations of global change research (In Chinese). *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25 (5): 754—760
- [17] Pignatello J J, Xing B S. Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles. *Environmental Science & Technology*, 1995, 30 (1): 1—11
- [18] Pignatello J J, Oliveros E, MacKay A. Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology*, 2006, 36 (1): 1—84
- [19] Alexander M. Aging, bioavailability, and overestimation of risk from environmental pollutants. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34 (20): 4259—4265
- [20] Baldrian P. Fungal laccases-occurrence and properties. *FEMS Microbiology Reviews*, 2006, 30 (2): 215—242
- [21] Cornelissen G, Gustafsson O, Bucheli T D, et al. Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: Mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39 (18): 6881—6895
- [22] Hedges J I, Keil R G, Benner R. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? *Marine Chemistry*, 1997, 27 (5/6): 195—212
- [23] Menzie C A, Potocki B B, Santodonato J. Exposure to carcinogenic PAHS in the environment. *Environmental Science and Technology*, 2002, 26 (7): 1278—1284
- [24] Edwards D A, Luthy R G, Liu Z B. Solubilization of polycyclic aromatic hydrocarbons in micellar nonionic surfactant solutions. *Environmental Science & Technology*, 1991, 25 (1): 127—133
- [25] Stedmon C A, Markager S, Bro R. Tracing dissolved organic matter in aquatic environments using a new approach to fluorescence spectroscopy. *Marine Chemistry*, 2003, 82 (3/4): 239—254
- [26] Schmidt M W I, Noack A G. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 2000, 14 (3): 777—793
- [27] Haritash A K, Kaushik C P. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A review. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 169 (1/3): 1—15
- [28] Tsai J C, Kumar M, Lin J G. Anaerobic biotransformation of fluorene and phenanthrene by sulfate-reducing bacteria and identification of biotransformation pathway. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164 (2/3): 847—855
- [29] Acevedo F, Pizzul L, Castillo M P, et al. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by the Chilean white-rot fungus *Anthrachyllum discolor*. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 185 (1): 212—219
- [30] Hadibarata T, Kristanti R A. Fate and cometabolic degradation of benzo [a] pyrene by white-rot fungus *Armillaria* sp. F022. *Bioresource Technology*, 2012, 107: 314—318
- [31] Chiou C T, McGroddy R L, Kile D E. Partition characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons on soils and sediments. *Environmental Science and Technology*, 1998, 32: 264—269
- [32] Bucheli T D, Blum F, Desaulles A, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons, black carbon, and molecular markers in soils of Switzerland. *Chemosphere*, 2004, 56: 1061—1076
- [33] Zuo Q, Duan Y H, Yang Y, et al. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil in Tianjin, China. *Environmental Pollution*, 2007, 147: 303—310
- [34] Gfrerer M, Serschen M, Ernst L. Optimized extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soil samples. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 2002, 53: 203—216
- [35] Gfrerer M, Gawlik B M, Lankmayr E. Validation of a fluidized-bed extraction method for solid materials for the determination of PAHs and PCBs using certified reference materials. *Analytica Chimica Acta*, 2004, 527: 53—60
- [36] Tang J X, Listh H H, Alexander M. Chemical assays of availability to earthworms of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. *Chemosphere*, 2002, 48: 35—42

Review and Prospect of Research on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil Environment: A Bibliometric Analysis Based on Megadata of Web of Science

WU Jian¹ WANG Min¹ JIN Zhihui² WU Jianqiang¹ SHA Chenyan¹ QI Xiaobao² TANG Hao¹
HUANG Shenfa^{1, 2†}

(¹ Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

(² School of Environment Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract In order to understand in depth the global status and frontier dynamic of the researches on polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil and to reflect scientific capabilities and influences of relevant countries, institutions and individuals objectively, a bibliometric analysis has been conducted of related literatures published in the period of 1900—2014 and included in the citation database Web of Science of the ISI Web of Knowledge. Results show that the number of related publications displayed a rapidly and steadily rising trend. In terms of number of articles, total citation and H index, the United States ranks first, and China second, but not in average citation per paper. Among the research institutions the world over, the Chinese Academy of Sciences and the University of Lancaster in England are on top of the list in number of articles and H index, and the University of Massachusetts in the United States is the top most one in average citation per paper. Among individuals, Prof. Jones K. C. of the University of Lancaster is in the lead in number of articles and in H index, too, while Prof. Hawthorne, S. B. of the University of North Dakota is in average citation per paper. Prof. Tao Shu of the Beijing University and Prof. Zhu Lizhong of the Zhejiang University are the most influential scholars in China. In this academic field the journals of “*Environmental Science & Technology*”, “*Chemosphere*”, and “*Environmental Pollution*”, are the leading ones. The researches in this field are mostly focused on degradation and bioremediation of PAHs in the soil, dissolution and adsorption of PAHs in various media, and source apportionment of PAHs. Researches related to “China” hold an important position in the recent 5 years.

Key words Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); Soil; Web of Science; Bibliometric analysis

(责任编辑: 陈德明)