

基于 SCI 收录的电化学水处理技术文献计量分析

宋冀营¹, 杨雨寒²

(1. 中国科学院生态环境研究中心文献信息与学术传播中心, 北京 100085;
2. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190)

摘要: 文章以 2011~2020 年电化学水处理技术方面的 SCI 发文情况为依据进行分析。结果显示, 电化学水处理领域的全球发文量呈逐年上升的趋势, 中国的发文量占全球发文量的近 40%, 发文量和被引次数 H 指数均居全球第一。与中国合作关系较为紧密的有日本、新加坡、丹麦和瑞典等国家。研究主要集中在环境科学和生态学、工程和化学等领域, 主要研究涉及海水淡化、饮用水、地下水、污水污泥、活性污泥、个人护理产品、药品和垃圾渗滤液等方面, 且近一半的发文集中在 20 个期刊上。

关键词: 电化学水处理; SCI; 发文量; VOSviewer

中图分类号: X11

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021080029

Bibliometric analysis of SCI literature on electrochemical technology for water treatment

SONG Jiying¹, YANG Yuhang²

(1. Literature Resource and Academic Communication Center, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: This article analyzes the literatures on electrochemical technology for water treatment published on SCI from 2011 to 2020. The result shows that the literature publication of water treatment by electrochemical technology increases year by year. Nearly 40% of the literatures come from China with the top publications and the highest H-index. There is a good cooperation relationship between China and the countries such as Japan, Singapore, Denmark, and Switzerland. Chinese research mainly concerns the fields of environmental science, ecology, engineering, and chemistry, and the research mainly involves desalination, drinking water, groundwater, sewage sludge, activated sludge, personal care products, medicine, and landfill leachate. Nearly half of Chinese researches are published in 20 journals.

Keywords: electrochemical water treatment; SCI; quantities of research paper; VOSviewer

CLC number: X11

20 世纪 50 年代后, 工业的发展和人类生活条件的改善得到不断推进, 同时也制造了很多化学污染物, 加剧了水资源的污染。开采业、农业、畜牧业、食品加工工业、印染业、医疗产业和城市生活垃圾渗透液等都产生了大量、复杂、有毒、持久性的和难去除的污染物, 这些污染物通过废水、污水进入了地表水源或者地下水, 破坏了生态环境^[1-4]。治理水污染, 使废水、污水能够再利用, 提高水资源利用效率是解决水资源匮乏、保护生态环境的重要途径。电化学技术是通过在特定的电化学反应器中外加电场调控电子定向转移, 使水中污染物在反应器中发生特定的物理、化学反应, 从而被去除的过程。包括电氧化、电还原、电渗析、电絮凝、电吸

附、电气浮、内电解和电芬顿等常用技术。相对传统处理方法, 用电化学处理水污染有着可避免二次污染、可深度并有选择性的去除污染物、处理条件温和易实现自动化和规模化、且可与其他处理方法相结合, 形成降解能力强的复合处理工艺等优点。还可以有效地回收污水、废水中的金属离子、营养物质、硫、氢和化合物, 使废水资源化。电化学技术已经成为目前处理污水、废水的优选技术^[5-6]。

本研究对电化学水处理相关的 SCI 期刊论文进行检索和分析, 总结电化学水处理领域的国际论文的发文特点和趋势, 揭示该领域的研究前沿发展方向, 以期为科研人员的研究规划和国际合作提供科学支撑。

收稿日期: 2021-08-17

基金项目: 中国科学院文献情报能力建设专项(E0290425)

作者简介: 宋冀营(1978-), 女, 博士、工程师。研究方向: 生态学、图书馆学和文献计量学。E-mail: jysong@rcees.ac.cn

引用格式: 宋冀营, 杨雨寒. 基于 SCI 收录的电化学水处理技术文献计量分析[J]. 环境保护科学, 2022, 48(5): 100-104.

1 数据获取

数据来源于科睿唯安(Clarivate Analytics)的 Web of Science 核心合集的 SCI 数据库(SCI-Expanded, <http://apps.webofknowledge.com>)。检索时间为 2021 年 5 月,检索年限为 2011~2020 年。经查重后获得 4 177 条数据,检索结果见表 1。以主题做为检索字段,以电化学技术和污水、废水处理为检索式进行检索,得到结果最多、最为全面,为 3 767 条。通过进一步限制检索范围,分别检索电化学处理技术在工业废水、农业废水、城市废水和医疗废水中的应用频率^[7],结果显示,用电化学技术处理工业废水的应用更为频繁和广泛,检索出 1 479 条。电化学水处理技术在农业、畜牧业污水的处理中应用面不大,只检索到 90 条数据。该技术在处理城市生活污水和医疗废水中也有一定的应用,分别检索到 349 和 196 条数据。

表 1 SCI 收录电化学水处理文献检索结果

检索内容和检索式	检索结果
电化学技术在水处理中的应用 TS=("electro* chemi* technolog*" or "electro* redox*" or "electro* oxida*" or "electro*.....") and TS=(*water* treatment* or *water* purif* or *water* cleans*.....)	2 034
电化学技术处理污水、废水 TS=("electro* chemi* technolog*" or "electro* redox*" or "electro* oxida*" or.....) and TS= (wastewater* or "waste water*" or "water contaminat*" or "contaminat* water*" or.....) and TS=(*treatment or purif* or cleans* or remov* or disinfect* or steriliz* or remediat*.....)	3 767
电化学技术处理工业废水 TS=("electro* chemi* technolog*" or "electro* oxida*" or "electro* flocculat*" or.....) and TS= (wastewater* or "waste water*" or "water contaminat*" or "water pollut*" or.....) and TS= (Industr* or metallurg* or produc* petrochemical or petroleum or "natural gas" or desalinat* or.....)	1 479
电化学技术处理农业、畜牧业废水 TS=("electro* chemi* technolog*" or "electro* redox*" or "electro* oxida*" or "electro* coagulat*" or.....) and TS= (wastewater* or "waste water*" or "water contaminat*" or "water pollut*" or.....) and TS= (agricultur* or farmland or rural or pesticide* slaughterhouse* or.....)	90
电化学技术处理医疗废水 TS=("electro* chemi* technolog*" or "electro* oxida*" or "electro* coagulat*" or.....) and TS= (wastewater* or "waste water*" or "water contaminat*" or "water pollut*" or.....) and TS=(municipal* or domestic* or sanitary)	196
电化学技术处理生活污水 TS=("electro* chemi* technolog*" or "electro* redox*" or "electro* coagulat*" or.....) and TS= (wastewater* or "waste water*" or "water contaminat*" or "water pollut*" or.....) and TS=(hospital or medic* or pharmac* or.....)	349
合计	8 232
查重	4 177

2 结果与分析

2.1 全球发文情况

根据 Web of Science 的检索结果,2011~2020 这 10 年间,在电化学处理水污染的方面,全球共发文 4 177 篇,见图 1。总发文量由 2011 年的 204 篇增长到 2020 年 768 篇,呈逐年递增的趋势。

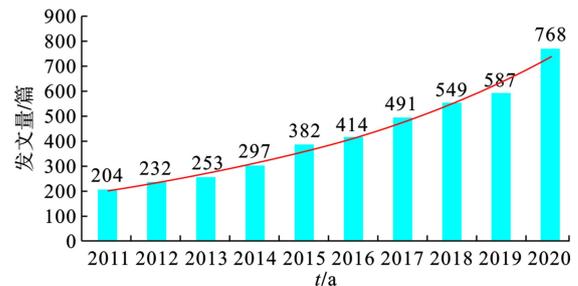


图 1 电化学水处理领域全球发文量及趋势

发文量最多的前 10 的国家分别是中国、印度、西班牙、美国、巴西、伊朗、墨西哥、韩国、加拿大和土耳其,共 3 111 篇,占总发文量的 74.45%。其中,中国 1 626 篇,明显领先于其他国家,占全球总发文量的 38.93%,尤其 2019 和 2020 年发文量占到全球的近 1/2。其他 9 国发文量也呈逐年上升的趋势,特别是近 5 年发文量逐年增加,见表 2。

用知识图谱可视化软件 VOSviewer 分析全球发文国家的合作关系,见图 2。与 People r China 合作关系较为紧密的有 Japan、Singapore、Danmark、SSweden 等国家。与 USA 存在合作关系的国家较多,除了与 Australia 合作较多,还有很多亚洲国家,如 India、South Korea、Vietnam、Thailand 等国家及 Taiwan Province of China。Sapain 与 Brazil、Mexcio、Colombia、Chile 的合作更为紧密。另外,Canada、France、Mocrocco 等也存在广泛的合作关系。而 Iran、Turkey、Germany、Portugal、Greece 等国家也组成了一个合作小组。

2.2 研究领域及研究趋势

基于 Web of Science 的学科分类,电化学水处理方面的研究主要涉及环境科学和生态学、工程和化学等领域,见表 3。其中,环境科学和生态学领域以及工程领域的发文量超过总发文量的 10%,分别为 15.3% 和 13.3%。环境科学和生态学、工程、电化学、化学、工程-环境科学和生态这 5 个领域的发文总和占有全部发文量的一半以上。另外,电化学水污染的研究在工程-水资源、工程-环境科学和生态-水资源、化学-工程、农业-生物技术和微生物应用-能源和燃料、化学-电化学这些领域的发文量也占有一定的份额,大约占总发文量的 20.2%。

表 2 10 年内电化学处理水污染相关文章全球及 Top10 国发文量分析

t/a	中国	印度	西班牙	美国	巴西	伊朗	墨西哥	韩国	加拿大	土耳其	合计	中国所占比例/%
2011	62	12	11	17	10	7	21	23	12	15	190	30
2012	67	12	21	15	10	9	11	15	12	10	182	29
2013	83	16	17	9	11	8	19	21	13	9	206	33
2014	92	33	14	23	13	5	13	11	13	11	228	31
2015	130	23	29	16	21	11	19	11	12	6	278	34
2016	166	25	21	24	20	12	12	7	7	3	297	40
2017	189	28	23	25	20	15	11	11	9	9	340	38
2018	217	29	38	31	24	16	8	8	7	5	383	40
2019	269	35	33	28	30	21	6	5	11	5	443	46
2020	351	65	38	32	34	23	4	5	6	6	564	46
合计	1 626	278	245	220	193	127	124	117	102	79	3 111	

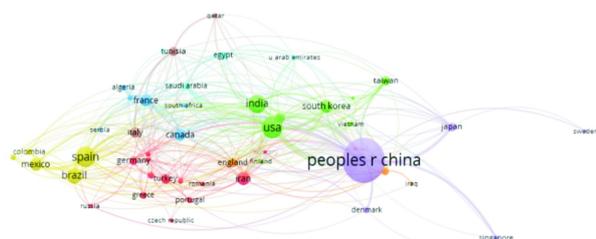


图 2 电化学水处理领域全球发文国家合作关系

表 3 电化学水处理在不同研究领域发文数量及所占比例

研究领域	发文数量	所占比例/%
环境科学和生态学	640	15.3
工程学	555	13.3
电化学	382	9.1
化学	365	8.7
工程; 环境科学与生态学	307	7.3
工程; 水资源	246	5.9
工程; 环境科学与生态学; 水资源	234	5.6
化学; 工程学	151	3.6
农业; 生物技术与应用微生物学; 能源与燃料	114	2.7
化学; 电化学	99	2.4
其他	1 084	26.0

为了揭示研究现状和前沿, 本文对 2019 和 2020 年的发文提取关键词, 并用 VOSviewer 对关键词进行聚类分析, 见图 3。小球越大表示此关键词出现的次数越多, 小球之间的连线表示两关键词间存在一定相关性。2019~2020 年, 根据发文关键词的数量多少及相关性, 可将全球的研究区分为

4 个群组。研究热点分别为红色群组的“吸附”“氧化”“水溶液”等; 绿色群组的“性能”“微生物电解槽”“除磷”等; 蓝色群组的“降解”“电化学氧化”“掺硼金刚石(电极)”等; 黄色群组的“去除”“电絮凝”“酸性”等。

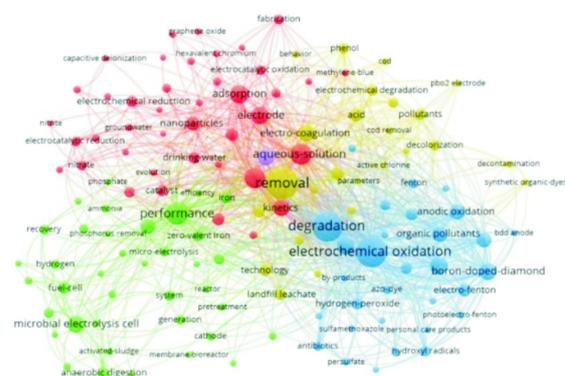


图 3 2019~2020 年电化学水处理领域关键词聚类分析

进一步对关键词群组进行分析, 总结每个群组研究主要内容、使用的技术和去除的主要污染物, 以及所关注的技术要点和参数, 见表 4。

为了更近一步预测研究趋势和应用范围, 对 2019 和 2020 年被引频次>20 次的发文, 剔除广泛性和普遍性使用的关键词后再次进行聚类分析, 见图 4。红色小球表示个人护理产品和药品, 绿色小球表示污水污泥, 黄色小球表示海水淡化和地下水, 紫色小球表示垃圾渗滤液和饮用水, 这几方面仍然是近年的主要研究方向。而主要污染物的去除将会集中在抗生素(包括四环素)、微生物污染物、苯酚、金属铬及六价铬、双酚 A 和残留农药等方面。在微生物燃料电池制备和绿色合成技术上的应用将会受到更多的关注。

表 4 2019 ~ 2020 年电化学处理水污染相关文章研究方向及技术要点

群组	研究方向	使用技术	去除污染物	技术要点和参数
红色	海水淡化, 饮用水, 地下水	电氧化, 吸附, 电还原, 电沉积	重金属, 六价铬, 亚甲基蓝, 纳米颗粒, 硝酸盐, 亚硝酸盐, 氮	动力学, 电极, 活性炭, 催化剂, 石墨烯, 碳纳米管, 能量, 电容去离子, 传感器
绿色	污水污泥, 活性污泥	降解, 电解, 零价铁, 微电解, 生物降解	氨, 有机质, 磷酸盐	性能, 微生物电解槽, 反应器, 酸碱度, 温度, 膜生物反应器, 微生物群落, 发电
蓝色	个人护理产品, 药品, 抗生素	降解, 电化学氧化, 阳极氧化, 光催化降解, 臭氧氧化, 电芬顿	抗生素, 偶氮染料, 双酚 A, 有机污染物, 磺胺甲恶唑, 过硫酸盐	掺硼金刚石, 矿化作用, 毒性, 双氧水, 羟基自由基, 降解途径, BDD阳极
黄色	垃圾渗滤液	电絮凝, 电化学降解	染料, 苯酚, 污染物, 合成有机染料	酸性, 活性氯, 阳极, 表征, COD, 能源消耗, 二氧化铅电极, 响应面法

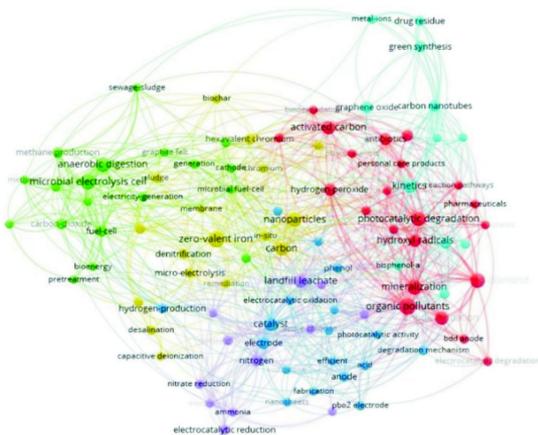


图 4 2019 ~ 2020 年电化学水处理领域被引频次 > 20 次关键词聚类分析

2.3 发文期刊分布情况

2011 ~ 2020 年, 全球电化学水处理方面的 4 177 篇文章共发表在 492 个期刊上。超过半数的文章发表于 Top20 期刊, 见表 5。Top20 期刊中发文量 > 100 的有 10 个刊, 发文量占全部发文量的 35.8%。其中发文量最多的是 Chemical Engineering Journal, 发文 222 篇, 该刊 2020 年影响因子为 13.273, 5 年影响因子为 11.629。Top20 影响因子最高的刊是 Applied Catalysis B-Environmental, 2020 年影响因子为 19.503, 5 年影响因子为 17.995。

2.4 Top10 国家科研实力对比

对比了发文量 Top10 国家的发文期刊平均影响因子, 见图 5, 发文期刊平均影响因子超过 5.0 的国家有 5 个。其中最高的是美国, 平均 IF 为 6.82。其次是西班牙, 也达到了 6.23。另外 IF>5 的国家分别为韩国 5.71、中国 5.36 和加拿大 5.21。说明这些国家的整体发文质量较高。通过对比发文量 Top10 国家文章被引次数 H 指数, H 指数最高的国家为中国, 为 65, 其次为美国 49, 西班牙 45。另外, 印度和巴西的 H 指数也超过了 30, 分别为 38 和

30。总体来说, 中国的发文量和 H 指数为全球第一, 表明全球科研影响力最大。但美国和西班牙发文质量较高, 对科研的贡献较大。

表 5 电化学处理水污染相关文章全球 Top20 期刊发文量

期刊	发文量/篇	2020 IF	5年IF
Chemical Engineering Journal	222	13.273	11.629
Chemosphere	190	7.086	6.451
Electrochimica Acta	174	6.901	6.385
Desalination And Water Treatment	157	1.254	1.027
Journal Of Hazardous Materials	148	10.588	9.608
Separation And Purification Technology	140	7.312	6.437
Water Research	127	11.236	10.177
Environmental Science And Pollution Research	116	4.223	3.509
Bioresource Technology	112	9.642	7.820
International Journal Of Electrochemical Science	109	1.765	1.366
Journal Of Electroanalytical Chemistry	83	4.464	4.105
Water Science And Technology	79	1.915	1.796
Science Of The Total Environment	77	7.963	6.938
International Journal Of Hydrogen Energy	73	5.816	4.063
Environmental Science & Technology	72	9.028	8.079
Rsc Advances	71	3.361	3.206
Environmental Technology	64	3.247	2.880
Applied Catalysis B-Environmental	58	19.503	17.995
Journal Of Environmental Management	51	6.789	6.393
Journal Of Environmental Chemical Engineering	48	5.909	5.361

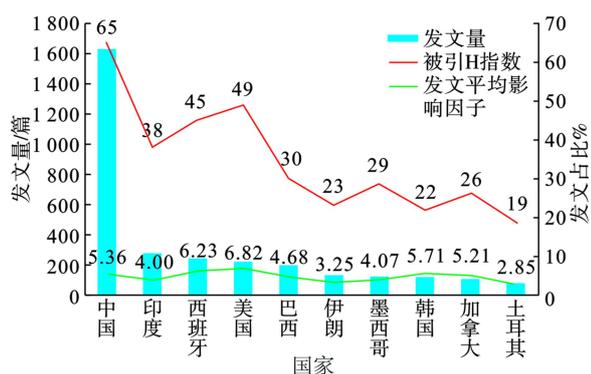


图 5 电化学水处理领域 Top10 国家发文章量和影响力分析

3 结论和讨论

(1) 2011 ~ 2020 年, 电化学水处理领域的全球发文章量明显呈逐年上升的趋势, 说明全世界越来越多的国家和地区都在关注并应用这项目前处理水污染的优选技术。发文章量最多的前十的国家分别是中国、印度、西班牙、美国、巴西、伊朗、墨西哥、韩国、加拿大和土耳其。涵盖亚洲(尤其是东亚和南亚一代)、欧洲、北美洲、南美洲 4 个大洲, 并且这些国家间也有很多直接、间接的合作。说明这项技术在这些地域应用领域更为广泛, 技术也更为成熟。

(2) 2011 ~ 2020 年, 电化学水处理领域全球发文章量最多的国家是中国, 占全球发文章量的近 40%。这与我国多年来一直坚持以环境保护为基本国策, 各级政府都重视环境保护、逐渐加大环境保护方面的技术研发和生产投入力度有关。特别是 2018 年《中共中央 国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》的提出, 更是进一步促进了水污染领域研究成果的产出, 2019 和 2020 年, 中国的发文章量占全球发文章量的 1/2。

(3) 2011 ~ 2020 年, 电化学水处理领域的发文章超过一半集中在环境科学和生态学、工程、电化学、化学、工程-环境科学和生态这 5 个领域。主要研究涉及海水淡化、饮用水、地下水、污水污泥、活

性污泥、个人护理产品、药品和垃圾渗滤液等方面; 技术手段较常用的有电氧化、电还原、电絮凝、电吸附和微电解等; 去除的污染物有重金属、硝酸盐、磷酸盐、有机污染物、染料和抗生素等。今后的研究中, 微生物燃料电池制备和绿色合成技术上的应用将会受到更多的关注。

(4) 2011 ~ 2020 年, 全球电化学水处理方面的 4 177 篇文章共发表在 492 个期刊上。其中发文章最多的是 *Chemical Engineering Journal*, 发文章 222 篇, 该刊 2019 年影响因子为 10.652, 5 年影响因子为 9.42。对比了发文章 Top10 国家的发文章期刊平均影响因子和 H 指数来评估各个国家的科研实力和影响力, 结果显示中国的发文章量和 H 指数为全球第一, 全球科研影响力最大。但美国和西班牙发文章期刊影响因子总体较高, 说明这两国的科学技术更为先进, 对学术的贡献较大。

参考文献

- [1] DOS S, ALEXANDRO J, KRONKA M S, et al. Recent advances in electrochemical water technologies for the treatment of antibiotics: A short review[J]. *Current Opinion in Electrochemistry*, 2021, 26: 100674.
- [2] TRELLU C, VARGAS H O, MOUSSET E, et al. Electrochemical technologies for the treatment of pesticides[J]. *Current Opinion in Electrochemistry*, 2021, 26: 100677.
- [3] HILARES R T, ATOCHE-GARAY D F, PAGAZA D A, et al. Promising physicochemical technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A critical review[J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2021, 9: 105174.
- [4] MARTINEZ-CRUZ A, FERNANDES A, CITRIACO L, et al. Electrochemical oxidation of effluents from food processing industries: A short review and a case-study[J]. *Water*, 2020, 12: 3546.
- [5] 张瑞, 赵霞, 李庆维, 等. 电化学水处理技术的研究及应用进展[J]. *水处理技术*, 2019, 45(4): 11 - 16.
- [6] 胡承志, 刘会娟, 曲久辉. 电化学水处理技术研究进展[J]. *环境工程学报* 2018, 12(3): 677 - 696.
- [7] 杨雨寒. 基于文献计量的我国水处理研究发展态势分析[J]. *环境工程学报*, 2019, 13(5): 1245 - 1260.