

基于 CNKI 数据库的人工湿地文献计量分析

李前正^{1,2}, 易斯倚^{1,2}, 武俊梅¹, 吴振斌¹, 周巧红¹

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:人工湿地是污水处理过程中重要的生态技术之一。了解人工湿地的发展过程和研究热点对于今后人工湿地的研究工作具有重要意义。使用文献计量学方法, 自 CNKI 数据库采集数据, 通过 Citespace 软件, 从刊文数量、机构、主要作者、研究热点等方面对人工湿地研究进行可视化分析。结果表明: 1987–2019 年我国人工湿地的研究可以分为 3 个阶段, 分别为起步阶段 1987–2000 年、快速发展阶段 2001–2010 年、稳定发展阶段 2011–2019 年。国家自然科学基金委是人工湿地研究的主要基金提供者, 同济大学、东南大学和中国科学院水生生物研究所是发文量最多的学术机构, 吴振斌等 10 名学者发表文章数占总发文量的 5.5%, 国内各机构及学者之间均有较为紧密的联系, 研究热点体现在处理河流和污水处理厂尾水、工艺组合、植物耐寒和根系研究、发掘新兴基质等。今后应关注的研究方向为人工湿地生物膜理论的研究、人工湿地堵塞和冬季高效运行技术的工程化应用、人工湿地设计和运行管理维护的标准化等。

关键词:人工湿地; 可视化分析; 研究热点

中图分类号:X826 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2022)03-0063-07

人工湿地是在自然湿地降解污水基础上发展起来的污水处理生态工程技术, 主要利用物理、化学和生物的重叠协同作用来实现对污水的净化(吴振斌, 2009)。其研究热度始于 20 世纪 80 年代(Masi et al, 2018)。到 90 年代末因其在水处理方面的显著成效被公认为处理非点源污染的最佳管理措施(Best Management Practices, BMP)之一(Schulz, 2004)。近年来在欧洲, 基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NBS)在改善人与自然关系、塑造可持续竞争力中具有巨大的潜力, 而人工湿地集污水处理、景观、休闲娱乐、科普教育多功能于一体, 已作为 NBS 污水处理方面主要工程技术手段之一。在中国, 《城市黑臭水体整治工作指南》(2015)、《中华人民共和国水污染防治法》(2017)和《农村黑臭水体治理工作指南(试行)》(2019)均提出因地制宜应用人工湿地技术进行生态环境治理与保护, 体现了对人工湿地处理技术认知程度的提高。

目前人工湿地在国内的应用范围十分广泛, 包括城镇生活污水、农村生活污水、工业废水、城市和农业

径流以及污染地表水等(吴树彪和董仁杰, 2017)。随着人工湿地技术的广泛应用, 相关研究成果数量剧增, 需要全面和及时了解人工湿地研究的发展趋势。文献计量学由 A. 普里查德于 1969 年提出, 该词源于 1923 年 E.W. 休姆提出的“文献统计学”, 能够从多维度客观定量地梳理学科研究的整体布局和发展方向(邱均平, 2019)。用文献计量学梳理人工湿地研究已有相关报道, 例如基于 Citespace 软件对 CNKI 中关于人工湿地脱氮进行挖掘分析(刘利等, 2018), 利用 SATI 和 SPSS 软件对 CNKI 数据库中 2009–2018 年人工湿地研究领域发表的期刊进行共词分析(张嶂等, 2019), 利用 Web of Science 数据库分析结果结合 HistCite、VOSviewer 软件对检索到的文献进行计量和可视化分析等(尚兴宝等, 2019)。上述研究为促进人工湿地研究奠定了很好的基础, 但从文献收集时段来看, 没有全面覆盖国内人工湿地研究历程; 从研究内容上看, 既有整体角度也有单一视角, 但整体角度未对 CNKI 数据库进行分析。本文将基于 CNKI 数据库, 利用 Citespace 软件, 从文献数量、基金来源、主要机构和作者、关键词和研究热点等方面对人工湿地研究进行分析, 并提出展望。

1 研究方法

Citespace 软件的开发者为陈超美教授, 发布于 2004 年, 是一款着眼于分析科学分析中蕴含的潜在知识, 并在科学计量学和数据信息可视化背景下逐渐发展起来的一款引文可视化分析软件, 通过可视

收稿日期: 2020-10-10 修回日期: 2022-05-23

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA23040401); 淡水生态与生物技术国家重点实验室自主项目(2019FBZ03); 湖北省技术创新专项重大项目(2019ACA151)。

作者简介:李前正, 1993 年生, 男, 博士研究生, 主要从事水环境保护与生态修复方面研究。E-mail: 1162746718@qq.com

通信作者:周巧红, 女, 研究员。E-mail: qhzhou@ihb.ac.cn

化的手段呈现科学知识的分布情况、结构和规律(李杰和陈超美,2016)。本文利用 CNKI 数据库期刊文献为数据源,以人工湿地为主题进行检索,检索时间为 2020 年 7 月中旬,年限为不限到 2019 年,选择中文文献,并手动删除重复文献、新闻、会议通知等信息,共检索出 8 802 篇文献,结合 Citespace 软件对检索到的文献进行计量可视化分析。

年发文章量和主要基金来源分析采用统计分析软件做图,合作网络、关键词、研究热点分析采用 Citespace.5.7.R1 版本。作者和机构合作网络分析时间段为 1987–2019 年,2 年 1 分割,共有 17 个分段,在每个时间段内通过算法 $g^2 \leq k \sum_{i \leq g} c_i, k \in Z^+(k = 25)$

来提取主要机构和作者,直接可视化分析网络比较密集,通过网络裁剪保留重要的连线来使网络可读性提高,机构合作网络分析采用的裁剪方法为“寻径网络”(Pathfinder)和辅助裁剪“对每个切片的网络进行裁剪”(Pruning sliced networks);作者合作网络分析裁剪方法为“最小树法”(Minimum Spanning Tree)和辅助裁剪“对每个切片的网络进行裁剪”(Pruning sliced networks)。

关键词分析根据发文数量规律分为 3 个时间段,分别为 1987–2000、2001–2010、2011–2019 年,每个时间段内每 25 年为 1 个时间切片,提取每个时间切片内频次出现排名前 25 的关键词,裁剪方法为“最小树法”和辅助裁剪“对每个切片的网络进行裁剪”。

研究热点具有很强的时间特征,因此采用 2014–2019 年数据进行此时间段研究热点分析,1 年为 1 个时间段,在每个时间段内通过算法 $g^2 \leq k \sum_{i \leq g} c_i, k \in Z^+(k = 25)$ 来提取主要关键词,裁剪方法为“最小树法”和辅助裁剪“对每个切片的网络进行裁剪”。

2 分析与讨论

2.1 文献发表数量

文献量和发表时间能够反映研究主题是否受到学术界关注,是衡量关注度的一项重要指标(郭宏等,2018)。根据文献年度发文情况可知,CNKI 数据库收录最早的人工湿地文章是天津市环境保护科学研究所旋颖于 1987 年发表的《湿地生态系统处理废水的研究》,当时人工湿地尚未达到可以进行常规规范化工程设计阶段,还需要进行大量的研究和实验工作(旋颖,1987)。由图 1 可以看出,国内人工湿地

的发展经历了 3 个阶段:起步阶段(1987–2000 年),文章数量较少,增速较慢,13 年的时间仅从年发文 1 篇增长到 33 篇;快速发展阶段(2001–2010 年),2001 年发文数量为 37 篇,到 2010 年增长到 589 篇,对 2001–2010 年文献数量进行线性回归分析可知(图 2),在此阶段文章数量呈线性增长,且增速较快;稳定发展阶段(2011–2019 年),每年发表文献数量基本稳定,文章数量维持在 600~700 篇,并在此范围内上下浮动。此分析结果与成水平等(2019)根据我国人工湿地研究应用、政策制定情况所做的发展阶段分析基本相同。

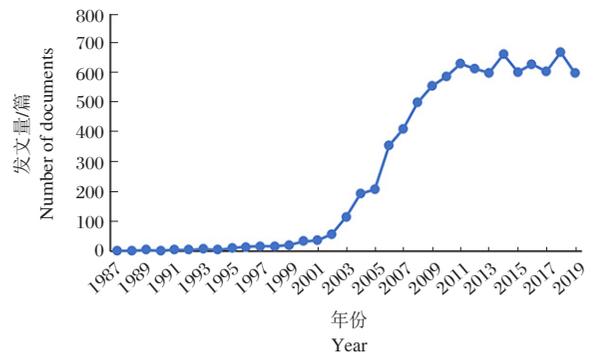


图 1 CNKI 数据库人工湿地研究文献发文量年度分布

Fig.1 Annual number of published papers on constructed wetlands recorded in the CNKI database

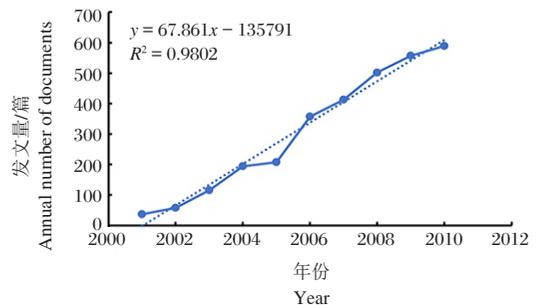


图 2 快速发展阶段发文数量线性回归分析

Fig.2 Linear regression of the number of papers published in the rapid development stage

2.2 论文主要资助基金情况

基金项目的支持对于确保学术研究的科学性、创新性和严谨性提供了重要保障,具有基金项目支持的文章往往具有更高的学术价值和可读性(郭萌等,2019)。选取排名前 10 的基金进行分析,如图 3。国家自然科学基金委是人工湿地方面研究的主要基金提供者,共计 1 074 篇文献基金来源此处,占比 12.2%,其次是国家科技支撑计划和国家高技术研究发展计划,各 331、211 篇,占比 3.8%和 2.4%。

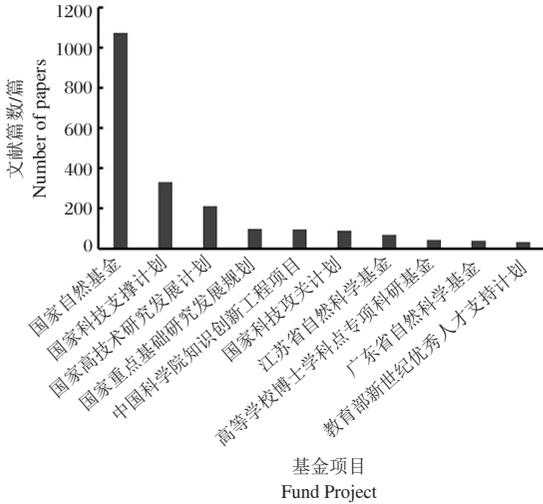


图3 CNKI数据库人工湿地主要基金论文数量统计
Fig.3 Number of funded primary papers on constructed wetlands in the CNKI database

2.3 研究机构和合作

为清楚了解主要研究机构和机构之间的合作关系,对机构情况进行统计和可视化分析,如图4、图5。通过机构文献总发文数量可知,发文量最多的是同济大学,总发文数量为237篇,占总发文数量的2.7%,其次为东南大学和中国科学院水生生物研究所,发文数量分别为136和134篇,占总发文数量的1.54%和1.52%。通过机构合作网络可以看出,大部分机构之间具有直接或者间接的联系。

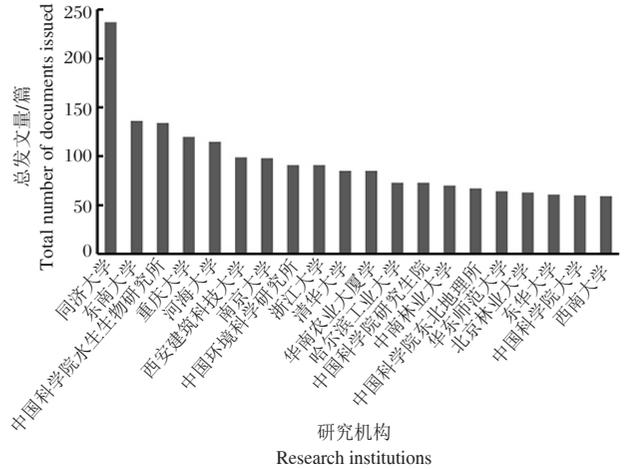


图4 主要研究机构论文数量统计

Fig.4 Histogram of the number of papers by major research institutions

2.4 主要发文作者和团队

作者发文数量可以相应显示一个研究学者对于某领域研究的贡献,通过对作者发文量分析可知(图6),CNKI数据库收录文章数量排名前10的作者依次为吴振斌、贺锋、周琪、崔理华、成水平、宋新山、王世和、吴晓芙、王晓昌、徐栋,发文量485篇,占总发文量的5.5%。

通过合作网络的可视化分析(图7),可以清晰地了解到研究者之间的合作与交流(陈海珠等,2019)。合作网络中年环的大小代表发表文章数

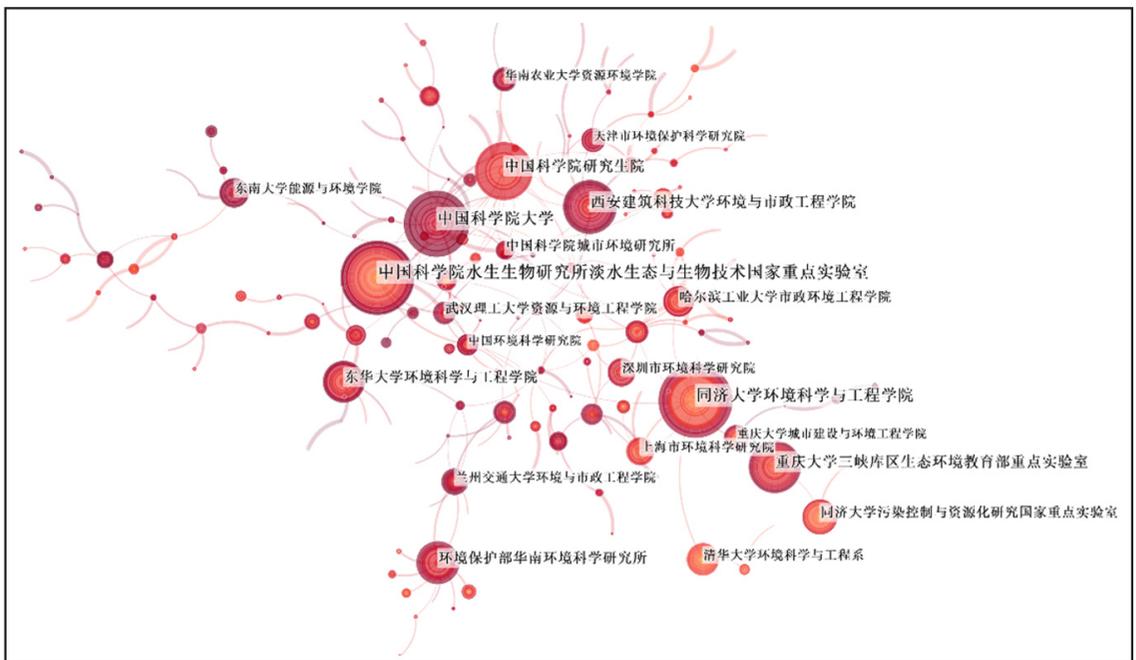


图5 研究机构合作网络分析

Fig.5 Analysis diagram of cooperation network of research institutions

通过对每个时间段关键词、频次和共被引分析可知,起步阶段进行研究方向的探索,此阶段词频较小,出现的主要关键词聚集性不强,此时关键词有人工湿地、废水处理、湿地、去除率等。快速发展阶段则根据前人的经验,逐渐分化出一些主要研究方向,如植物研究、基质研究、脱氮除磷机理研究、净化效果研究等。废水研究方面主要选择的是生活污水,尤其是农村生活污水。人工湿地类型主要是潜流人工湿地,另外复合垂直流人工湿地的研究也较多。稳定发展阶段总体上的研究内容与快速发展阶段相同,相对于快速发展阶段,此阶段更加注重去除效率的提升,以及与海绵城市和湿地公园建设相结合。

2.6 研究热点

为进一步了解稳定发展阶段研究的热点问题,选取2014-2019年关键词进行聚类分析(图9),以时间线图的形式进行可视化,并对突现性关键词进行分析(表2)。在原有聚类命名的基础上,根据每个聚类的关键词情况,重新进行聚类命名,得到11个聚类,分别为径流污染和河道治理、农村生活污水、污染物去除机理、微生物燃料电池及湿地堵塞、湿地地理信息化分析、尾水治理、灰水、黑臭水体治理及沸石基质、植物耐寒及根系研究、中水回用、城镇污水处理厂尾水、工艺组合。

表2 突现性词语一览

Tab.2 List of suddenly occurring words

| 关键词 | 爆发值 | 开始年份 | 结束年份 |
|---------|------|------|------|
| 石佛寺人工湿地 | 4.24 | 2014 | 2015 |
| 调查 | 2.47 | 2014 | 2015 |
| 景观水体 | 4.95 | 2014 | 2015 |
| 绿色建筑 | 3.54 | 2014 | 2015 |
| 潮汐流 | 3.22 | 2014 | 2015 |
| 曝气 | 2.88 | 2014 | 2015 |
| 城市河流 | 2.19 | 2015 | 2016 |
| 填料 | 4.13 | 2015 | 2016 |
| 湿地类型 | 2.56 | 2015 | 2016 |
| 加工厂 | 2.27 | 2015 | 2017 |
| 除磷 | 3.41 | 2015 | 2016 |
| 污水治理 | 3.66 | 2015 | 2016 |
| 效果 | 2.19 | 2016 | 2017 |
| 硝化 | 2.56 | 2016 | 2017 |
| 垂直流人工湿地 | 4.55 | 2016 | 2017 |
| 污染 | 2.53 | 2016 | 2019 |
| 污水处理技术 | 3.26 | 2017 | 2019 |
| 城镇污水 | 2.55 | 2017 | 2019 |
| 生态恢复 | 2.18 | 2017 | 2019 |
| 污染河水 | 2.18 | 2017 | 2019 |
| 河道治理 | 4.00 | 2017 | 2019 |
| 分散式处理 | 2.18 | 2017 | 2019 |
| 黑臭水体 | 3.04 | 2017 | 2019 |

由此可知,目前研究热点主要有以下6个方面。(1)工艺优化及组合,包括植物和基质的优选及改良、运行参数的调控、湿地与其他工艺的组合等;(2)微污染水体中污染物的去除,如径流雨水、尾水、景观水体等,此部分废水若采用深度处理工艺,如膜技术、基质吸附、高级氧化技术等,处理及运行费用高,人工湿地则在满足污染物去除的基础上,可作为景

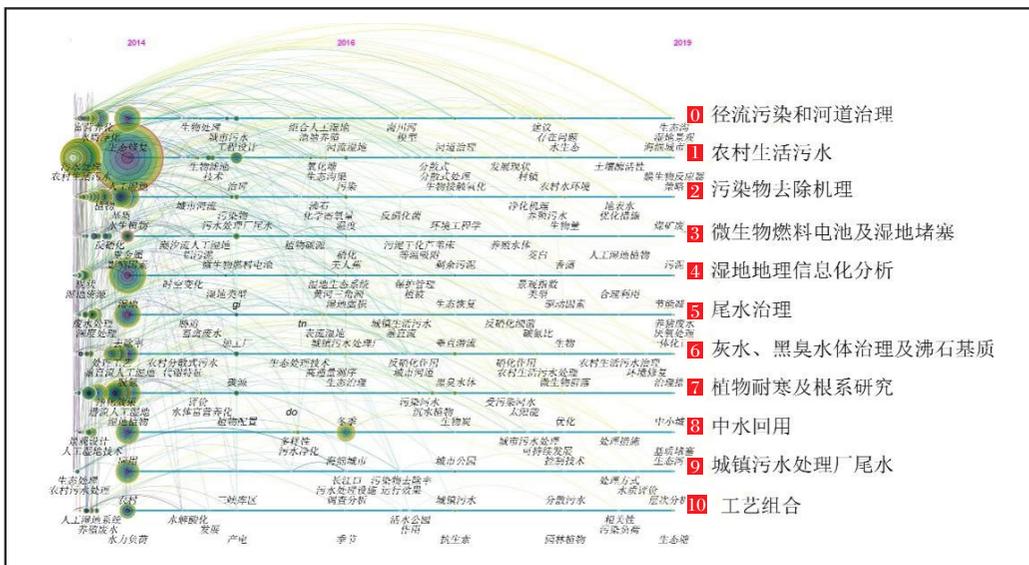


图9 2014-2019年关键词共现时间线

Fig.9 Timeline of keyword co-occurrence from 2014 to 2019

观建设的一部分,为生态恢复作出贡献;(3)污染物去除机理,尤其是植物根系对于污染物去除的作用;(4)湿地越冬及运行过程中产生的堵塞物消除,如微生物燃料电池在湿地越冬及堵塞物消除中的应用;(5)微生物强化人工湿地中污染物的去除,如根际促生菌、好氧反硝化细菌等在湿地中的添加及应用;(6)大型湿地的运行及监测,目前我国建造了很多大型的人工湿地,其后期运行及监测对于工艺优化具有重要的意义。

3 结论与展望

3.1 结论

本文借助 CNKI 数据库,应用 Citespace 软件,对我国 1987–2019 年人工湿地的研究情况进行了可视化分析。结果表明国家自然科学基金委是人工湿地研究的主要基金提供者,同济大学、东南大学和中国科学院水生生物研究所是发文量最多的学术机构,吴振斌等 10 名学者发表文章数占总发文量的 5.5%,国内各机构及学者之间均有较为紧密的联系。1987–2019 年我国人工湿地的研究可以分为 3 个阶段,分别为起步阶段 1987–2000 年、快速发展阶段 2001–2010 年和稳定发展阶段 2011–2019 年;起步阶段进行了各方面的探索工作,如处理废水的类型,包括生活污水、造纸废水、养殖废水等;快速发展阶段逐渐形成了稳定的研究体系,如基质研究、植物研究、脱氮除磷机理研究等,处理的废水研究对象也变为以生活污水为主;稳定发展阶段在此基础上更加注重处理效率的提高。目前人工湿地主要的研究热点为处理河流及污水处理厂尾水、进行工艺的组合、植物耐寒和根系研究、新兴基质等。

3.2 展望

人工湿地已经在我国研究应用 30 多年,因其独特的优越性受到越来越多的关注,在新时代下也展现出新的活力。笔者认为今后尚需从以下方面开展人工湿地研究。

(1)人工湿地生物膜的生长发育至关重要,植物根际为生物膜的发育提供了多样的生境,是污染物降解的重要区域,有必要深入开展人工湿地生物膜的发育模式及其中微生物群落演替规律的研究,丰富人工湿地生物膜理论,为提高人工湿地去除效率作出贡献。

(2)人工湿地的堵塞和冬季运行效率一直是学者关注的问题,已有大量学者做过相关研究,如更换表层基质、间歇进水、定期停床轮作或轮休、施加化

学溶脱剂、填料反冲洗等减缓堵塞,筛选低温微生物、薄膜覆盖、秸秆覆盖、塑料大棚等冬季运行强化或保温措施,有必要探讨如何将实验中已经探究的方法经济有效地应用到实际工程中,增加人工湿地应用的范围。

(3)人工湿地设计和运行维护的标准化是湿地高效长效运行的重要保证,需要梳理出已有的技术标准,并对已建成湿地进行系统调查,总结规律,找出问题,完善已有人工湿地设计规范,对缺乏人工湿地规范的领域(如湿地公园建设、行业废水处理等)进行规范补充,进一步促进人工湿地的发展及应用。

参考文献

- 陈海珠,李树青,汪圣忠,等,2019. 近代中国农业领域科研合作网络分析[J]. 大学图书馆学报, 37(4):79–87.
- 成水平,王月圆,吴娟,2019. 人工湿地研究现状与展望[J]. 湖泊科学, 31(6):1489–1498.
- 郭宏,朱延宇,李皓芯,等,2018. 基于文献计量学的水体修复技术的研究现状及过程解析[J]. 环境保护与循环经济, 30(12):40–45.
- 郭萌,李敬文,薛爱华,2019. 2011–2016 年国内结核病学期刊结核类文章国家级基金项目资助情况分析[J]. 医学信息, 32(3):15–18.
- 李杰,陈超美,2016. Citespace: 科技文本挖掘及可视化[M]. 北京:首都经济贸易大学出版社.
- 刘利,陈阳,宋有涛,2018. 我国人工湿地脱氮现状及研究进展可视化分析[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), (4): 358–365.
- 邱均平,2019. 文献计量学[M]. 2版. 北京:科学出版社.
- 吴树彪,董仁杰,2017. 人工湿地生态水污染控制理论与技术[M]. 北京:中国林业出版社.
- 尚兴宝,颜调云,魏征,等,2019. 基于共词分析的人工湿地可视化方法研究[J]. 广东化工, 46(9):120–121.
- 吴振斌,2009. 复合垂直流人工湿地[M]. 北京:科学出版社.
- 旋颖,1987. 湿地生态系统处理废水的研究[J]. 农业环境保护, 6(2):47–49.
- 张頔,徐建玲,李龙威,2019. 基于文献计量的人工湿地研究现状与发展趋势研究[J]. 环境科学与管理, 40(10):16–21.
- Masi F, Rizzo A, Regelsberger M, et al, 2018. The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm[J]. Journal of Environmental Management, 216:275–284.
- Schulz R, 2004. Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution: a review[J]. Journal of Environmental Quality, 33(2):419–448.

Bibliometric Analysis of Constructed Wetlands Based on the CNKI Database

LI Qian-zheng^{1,2}, YI Si-yi^{1,2}, WU Jun-mei¹, WU Zhen-bin¹, ZHOU Qiao-hong¹

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology,
Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P.R. China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P.R. China)

Abstract : Constructed wetlands are recognized as an important ecological method of treating sewage. Understanding the development and investigating research hotspots on constructed wetlands is important for identifying research needs and future research directions. In this study, we used bibliometric methods and CiteSpace software to visually analyze the development of constructed wetland research in China. The data were collected from the CNKI database and analyzed in terms of number of research papers published, research institutions, primary authors, and research hotspots. Results show that the research of constructed wetlands in China from 1987 to 2019 can be divided into three stages: the initial pioneering stage (1987–2000), the rapid development stage (2001–2010) and the stable development stage (2011–2019). The National Natural Science Foundation of China was the main funder for constructed wetland research. Tongji University, Southeast University and Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences were the academic institutions with the most published papers. The number of articles published by top 10 scholars, led by Professor Wu Zhenbin, accounted for 5.5% of the total number of published papers. Domestic institutions and scholars have close contact and cooperation, and the research hotspots focused on treatments of polluted river, sewage treatment plant tail water, combined processing, plant cold tolerance and root system research, and emerging matrix development. Finally, we make suggestions on promising future research directions, including the enrichment of constructed wetland biofilms, engineering applications for blocking and/or maintaining overwintering wetland efficiency, and the standardization of constructed wetland design, operation and maintenance.

Key words : constructed wetland; visual analysis; research hotspots