第45卷 第1期
2024年3月

华 东 地 质
EAST CHINA GEOLOGY

Vol. 45 No. 1
Mar. 2024

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2024.01.007
引用格式:符敦凯,张云辉,徐小军,等.基于文献计量学的水质预测研究进展及趋势[J].华东地质,2024,45(1):88-100.(FU D K,ZHANG Y H,XU X J, et al. Research progress and trend on water quality prediction based on bibliometric analysis[J].East China Geology, 2024, 45(1):88-100.)

基于文献计量学的水质预测研究进展及趋势

符敦凯[1,2],张云辉[1,2*],徐小军[3],王 鹰[1,2],许钟元[1,2],王杨双[1,2]

(1.西南交通大学地球科学与工程学院,四川 成都 611756;
2.宜宾西南交通大学研究院,四川 宜宾 644000;
3.四川省交通勘察设计研究院有限公司四川省交通运输内河港航工程技术研究中心,四川 成都 610017)

摘要: 随着社会经济的快速发展,我国各类水环境问题日益突出。水质预测研究基于大样本环境监测数据,对于提前制定水环境保护对策具有重要的支撑作用。但是,目前对水质预测的阶段性研究进展及趋势的总结分析还较少。文章基于文献计量学理论,对2000—2023年收录在中国知网(CNKI)中文文献数据库和WOS(web of science)核心合集文献库中的水质预测领域论文进行检索,采用VOSviewer软件对国内外相关文献进行综合分析,通过构建长时间的序列图谱,系统地梳理了该领域的研究进展与科研成果,揭示了关于水质预测领域的研究趋势。结果表明:水质预测研究是一个典型的多作者、多国家、多机构的合作领域;我国每年出版的水质预测论文数量最多,且科研成果一直处于世界领先地位,表明我国是水质预测研究领域的主导国家。通过分析关键词发现,与传统方法相比,BP神经网络以及深度学习等是近年来行之有效的水质预测方法。该研究将有助于提升我国水质预测的研究水准,为未来相关研究提供文献计量学成果参考。

关键词: 水质预测;文献计量学;VOSviewer;CNKI数据库;WOS数据库

中图分类号: X824 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1871(2024)01-088-13

水质预测研究是根据水体的整体质量情况及样本数据,通过水质数学模型推断水体的水质在未来一段时间的变化及演化趋势。水质预测不仅是水资源评价和保护的重要内容,也是预防区域水体污染的有效管控措施[1],对水资源的开发利用和综合管理具有指导作用,在水环境保护中具有举足轻重的重要地位。国内对于水质预测的研究已有40余年的历史[2],目前水质预测方法具有样本需求量大、预测准确性较差、水环境动态系统不稳定等局限性,因此,亟需对国内水质预测方法的研究现状进行总结,梳理其发展脉络,并引入新的水质预测方法研究各类水体的环境质量变化特征。

文献计量学(Bibliometrics)是采用数学、统计学等方法研究文献和文献工作系统的数量关系与规律的学科[3],其发展为水质预测研究领域的系统总结提供了新的思路[4,5]。该方法对某一段时间内的统计数据进行聚类分析描述,并将统计的数据绘制成知识图谱,再对绘制的知识图谱进行可视化处理,从而探寻各个学科领域之间的内在联系,梳理该学科领域的发展脉络,探寻学科领域的潜在发展趋势。目前,运用VOSviewer软件进行文献计量学研究已在医学[6]、人工智能[7]、环境科学[8]和地球科学[9]等领域得到应用,并总结了学科新兴的研究方向,为后续探寻各个领域的研究趋势提供了新思路。

尽管已有关于水质预测领域的综述类文章[10]发表,但是缺乏运用文献计量学来分析水质预测研究进展及趋势的相关论述。鉴于目前国内外水质预测研究的迫切性和重要性,本文基于文献计量学

* **收稿日期:** 2024-01-08 **修订日期:** 2024-03-06 **责任编辑:** 谭桂丽

基金项目: 宜宾市科技项目"宜宾市主城区地下水环境时空演化及多元控制管理研究(编号:SWJTU2021020007)"、"宜宾市岩溶地质发育规律系统研究(编号:SWJTU2021020008)"和四川省交通运输科技"通航水域污染防治与应急处置技术研究(编号:2023-B-15)"项目联合资助。

第一作者简介: 符敦凯,1997年生,男,硕士研究生,主要从事水环境研究工作。Email:fudk0722@163.com。

通信作者简介: 张云辉,1990年生,男,副教授,博士,主要从事水文地质与地热地质教学科研工作。Email:zhangyunhui@swjtu.edu.cn。

理论，在中国知网（CNKI）中文文献数据库以及 WOS 核心合集文献库中分别以“水质预测方法”和“water quality prediction methods”为关键词，检索文献跨度时间设置为 2000 年 1 月 1 日至 2023 年 11 月 1 日，共检索出关于水质预测的国内外公开发表的文献 6344 篇。以检索出的中英文文献样本为主要数据来源，运用 VOSviewer 文献可视化分析工具构建水质预测知识图谱，系统梳理该领域的研究热点演化轨迹，揭示关于水质预测的研究趋势与发展方向，为进一步提升水质预测研究水平提供参考。

1　数据来源及研究方法

1.1　数据来源

基于文献计量学理论，将荷兰莱登大学 CWTS 开发的 VOSviewer 软件[11]作为文献计量分析中的可视化工具，以中国知网（CNKI）中文文献数据库以及 WOS 核心合集文献库为主要的数据来源。中文文献样本来源于中国知网（CNKI）中文文献数据库，在检索栏中的高级检索以“水质预测方法”为关键词进行检索，检索时间为 2000 年 1 月 1 日至 2023 年 11 月 1 日。经过人工剔除无关文献和重复结果（专著、学位论文、会议论文及报纸等）后，共筛选出 772 篇中文文献。外文文献样本来源于 WOS 核心合集文献库，检索栏中以 WOS 核心合集为数据库，以“Science Citation Index Expanded（SCI-Expanded）1990 年至今”为引文索引、“water quality prediction mothods”为主题关键词进行检索，文献类型选择“Article”、“Review”。经人工剔除重复结果后，共筛选出 5 884 篇外文文献。在 VOSviewer 软件中进行上述重复操作后，共计导出 772 篇中文文献和 5 572 篇外文文献作为本次研究的样本数据来源。

1.2　研究方法

VOSviewer 是一款构建和查看文献计量图谱的文献计量分析软件，可基于引文、书目耦合、共同引用或共同作者关系构建可视化网络，并绘制各个知识领域的科学图谱[12]。其可视化效果优于其他同类分析软件，绘图操作较简单，分析功能较全面。本文使用 VOSviewer（1.6.19）版软件进行文献计量和分析，首先，在数据库中检索出相关主题的出版物；其次，对检索出的出版物进行筛选，导出进行文献计量分析的文件；再使用 VOSviewer 软件对所收集文献中的“Author”、“Country”、“Institution”、“Keyword”等关键词进行分析；最后，使用 VOSviewer、Excel 和 Origin 软件对图谱、直方图和统计表格等进行可视化分析。经过上述步骤后即完成了对所选数据的文献计量分析，根据分析结果揭示相关研究及发展规律，从而得出 20 世纪以来水质预测研究的重点发展、研究现状以及未来研究趋势等结论。

2　结果与分析

2.1　发文量统计

通过对比水质预测历年发文量的变化特征，可以了解该领域的研究热点与变化趋势。由图 1 可知，2000—2023 年 CNKI 中文文献数据库和 WOS 核心合集文献库在水质预测领域发文量呈波动上升趋势，但 WOS 核心合集文献库中收录作者文章的年平均发文速度远高于 CNKI 中文数据库，两者的年平均发文速度存在显著差异。CNKI 中文文献数据库的文献发文量呈稳定波动的态势：2000—2010 年，水质预测的文献数量总体无明显变化，波动较小，表明这段时间国内学者对于水质预测领域关注度较低，以水质监测网络的构建为主；2011—2023 年，水质预测的文献数量总体呈波动上升的态势，表明我国水质预测研究领域在近 13 年进入了稳定上升的发展阶段。比较而言，WOS 核心合集文献库中收录的高水平作者文章总体呈持续上升的趋势，增长速度于 2016 年后呈阶梯式上升，并在 2021—2023 年从最初的 593 篇增长至 733 篇。2023 年发文量比 2019 年增长了近 2 倍，说明近 5

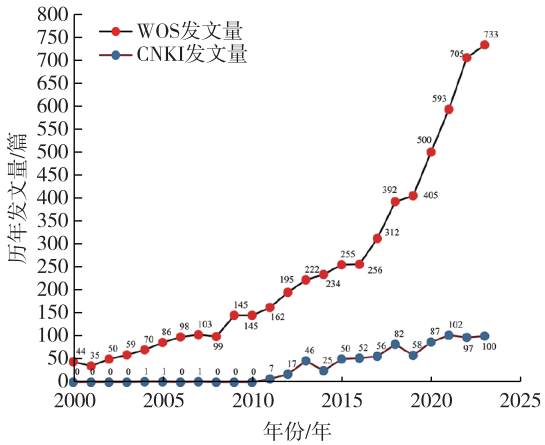

图 1　2000—2023 年水质预测领域研究发文量

Fig. 1　Number of research publications on the water quality prediction from 2000 to 2023

年国际学者对水质预测研究领域的关注度显著上升，且在基于大量水质预测方法的基础上，国际学者重点关注水生态和水环境等研究方向。

2.2 发文国家与机构

运用 VOSviewer 软件生成水质预测研究的国家合作图谱(图 2)，其阈值设为 22，共显示 49 个在水质预测领域发文的国家，其中连线的密度与粗细代表各个国家之间对该领域研究的关联程度以及强度[13]。由图 2 可知，我国与美国等国家在水质预测国际研究领域的活跃程度较高。由表 2 可知，在水质预测领域中，在 WOS 核心合集文献库发文前 5 位的国家分别为中国、美国、伊朗、澳大利亚、德国。文献被引频次是判断文章影响力与重要性的指标之一[14]，虽然我国在水质预测领域发文量处于世界第一位，但是文献被引频次低于美国，表明其重要性相较于美国整体偏弱。综上可知，我国学者虽然在水质预测领域发文量大，但是对于水质预测研究的科研成果影响力还有待提升。想要解决我国发文质量在国际上影响力较小的问题，应该加强不同高校与研究机构之间的学术交流以及科研成果的分享及合作，引入交叉性学科，使水质预测的研究方法多元化，共同推动水质预测研究领域的发展。

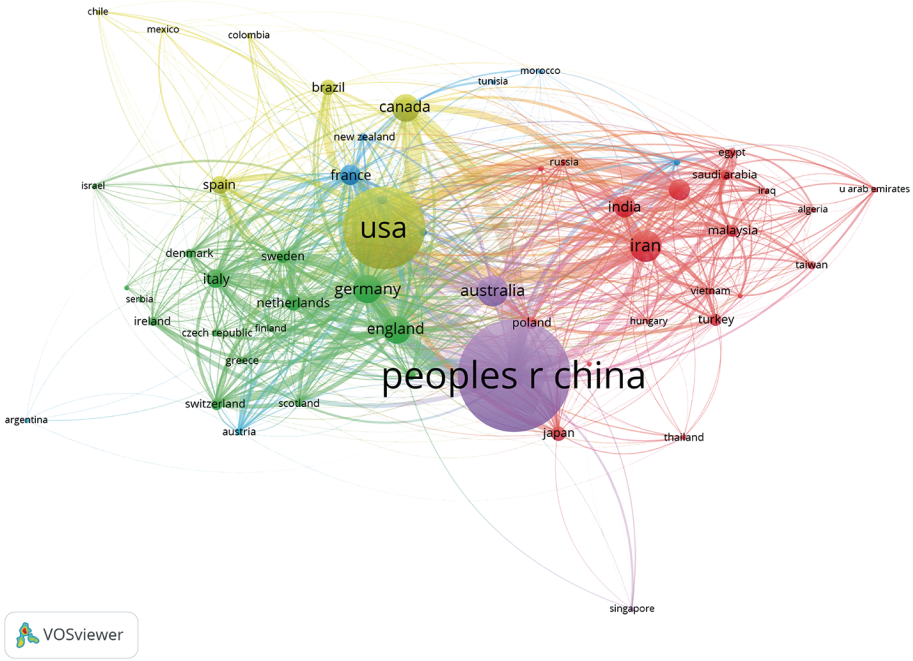

图 2 WOS 水质预测研究国家合作网络图谱

Fig. 2 WOS collaborative network of the research countries on water quality prediction

表 2 水质预测 WOS 发文量前 10 位的国家

Table 2 Top 10 countries with WOS postings on water quality prediction

排名	发文数量/篇	被引频次/次	国家
1	1 734	27 102	peoples r china(中国)
2	1 158	36 286	usa(美国)
3	333	7 446	iran(伊朗)
4	324	11 590	australia(澳大利亚)
5	292	7 849	germany(德国)
6	283	9 568	england(英国)
7	279	7 023	canada(加拿大)
8	186	5 586	france(法国)
9	176	5 238	italy(意大利)
10	139	7 055	netherlands(荷兰)

运用 VOSviewer 软件生成水质预测研究的 WOS 核心合集文献库中发文机构合作图谱(图 3)，其阈值设为 21，共显示 59 个水质预测领域发文机构，呈现出各个国家高校内部合作较多，但国际间科研机构合作较少的特点。在 VOSviewer 软件面板中节点类型选择 organizations，对发文机构进行 WOS 核心合集文献库发文数量排名统计(表 3)，可见发文量前 5 位的机构分别为中国科学院、中国农业大学、北京师范大学、武汉大学、河海大学，均为中国的高校和研究所，说明我国研究学者对于水质预测领域始终

保持着极高的关注度。其中，中国科学院排名位居首位，表明该单位在水质预测的研究领域具有科研成果丰富、发展较快、实力雄厚等特点，在水质预测领域活跃程度高。

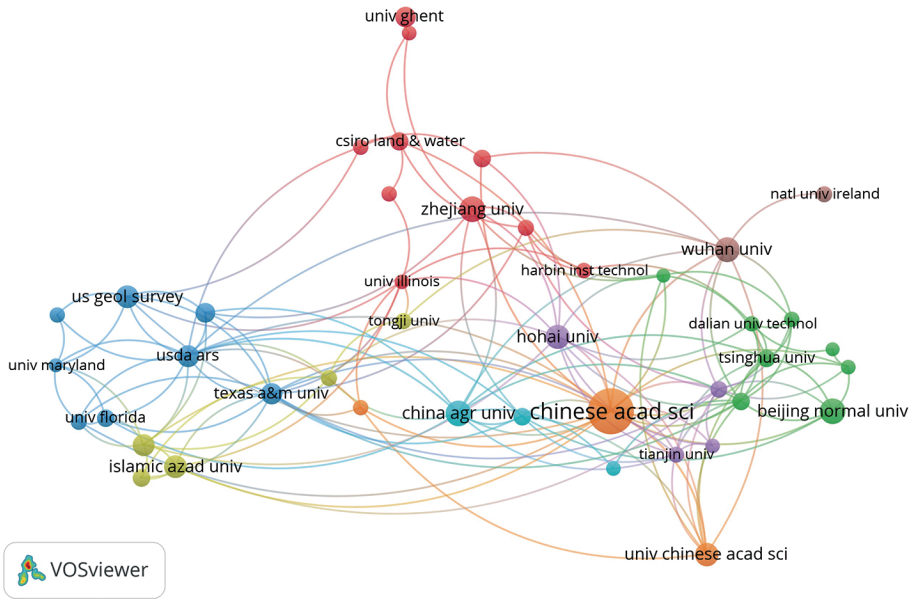

图 3　WOS 水质预测研究发文机构合作网络图谱

Fig. 3　WOS collaborative network of the institutes with publications on water quality prediction

表 3　WOS 发文机构排名前 10 位

Table 3　Top 10 institutes with WOS publications on water quality prediction

排名	发文数量/篇	被引频次/次	发文机构
1	196	4 751	chinese acad sci(中国科学院)
2	69	1 975	china agr univ(中国农业大学)
3	66	664	beijing normal univ(北京师范大学)
4	64	1 077	wuhan univ(武汉大学)
5	62	664	hohai univ(河海大学)
6	59	1 042	univ chinese acadsci(中国科学院大学)
7	54	1 982	us geol survey(美国地质调查局)
8	51	2 054	usda ars(美国农业部农业研究局)
9	48	2 810	texas a&m univ(德克萨斯农工大学)
10	33	555	china inst water resources & hydropowerres(中国水利水电科学研究院)

2.3　代表作者群体

运行 VOSviewer 软件，在节点类型区域选择 Author 板块分析出作者共现网络图谱(图 4)，对国内水质预测领域研究的核心团队及其团队之间的合作关系进行分析。结果显示，国内水质预测领域的学者大多数以独立团队进行研究，且单个作者研究的情况较多，不同高校研究团队间的协作关系较弱。在 CNKI 中文文献数据库中水质预测领域发文的团队主要有河海大学逄勇团队、天津市生态环境监测中心张震、李泽利团队和东华大学刘振鸿、高品团队。其中，发文量最多的为河海大学逄勇团队，该团队长期致力于水环境数学模型[15]和水质水

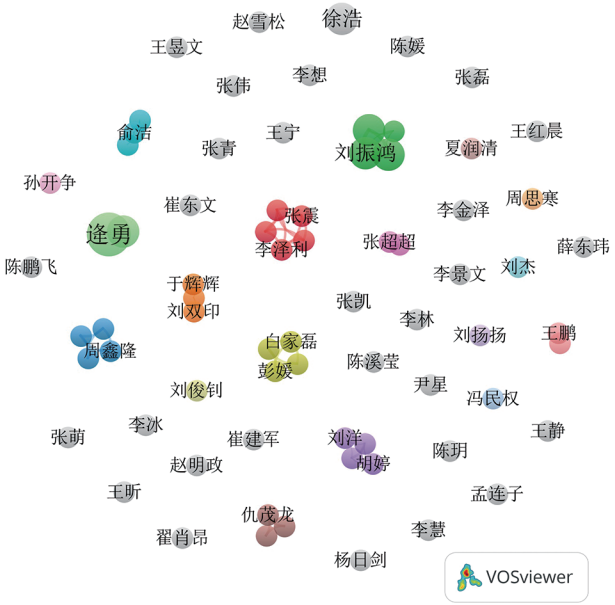

图 4　CNKI 中文文章作者合作图谱

Fig. 4　Chinese authors collaborative graph of CNKI

体富营养化[16]研究，领先于同方向的其他作者；发文量第二位的是张震和李泽利的合作团队，该团队关注的热点主要是河流水系沉积物[17]以及水环境的健康风险评价[18]；发文量第三位的为东华大学的刘振鸿团队，该团队主要研究方向为污染控制理论与技术，同时也致力于长时间序列的水质预测研究[19]。

从 CNKI 中文文献数据库中文作者合作图谱（图 4）以及 WOS 核心合集文献库英文作者合作图谱（图 5）可知，近 23 年来，国内科研团队以及致力于水质预测研究作者的学术成果成熟度较稳定，各个研究团队内部学者联系较紧密。但是从整体来看，国内不同团队之间的联系或学术交流合作较少，大多数团队常以单独作者的形式发表文章，呈现部分聚集总体分散的特点。WOS 英文作者合作图谱（图 5）与 CNKI 中文文献数据库中文作者合作图谱大致相同，也呈现局部聚集但整体分散的特点。

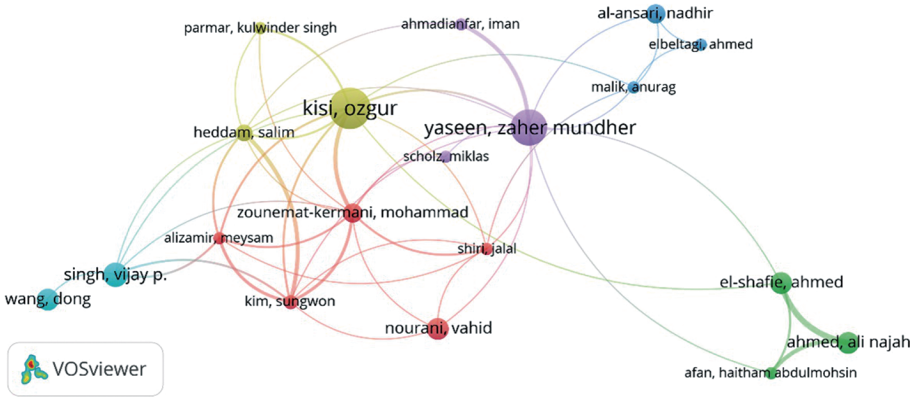

图 5 WOS 外文文章作者合作图谱

Fig. 5 Foreign authors collaborative graph of WOS

2.4 研究方向与研究热点识别

通过对 2000—2023 年中国知网（CNKI）中文文献数据库中的文献关键词“水质预测方法”进行检索，发现目前关于水质预测的方法主要有时间序列预测法[20]、灰色系统预测法[21]、数理统计预测法[22]、回归分析预测法[23]和人工神经网络法[24]等（表 4），这些水质预测方法彼此之间相互组合评价，衍生出了水质预测综合评价体系，取得了许多新的研究成果。

表 4 常用水质预测方法对比及次数排序

Table 4 Comparison of general water quality prediction methods and frequency sequencing

预测方法	理论基础	试用情况	VOSviewer 出现次数/次	特点及局限性
人工神经网络法	神经网络原理（数理统计）	短期、中期预测以及动态不确定的水环境系统	145	近年来最广泛的应用方法
回归分析预测法	数理统计	应用广泛	73	需要通过较大的数据量得到样本的量化规律，受统计数据影响，对样本的分布有较高的要求
灰色系统预测法	灰色系统理论（数理统计）	短期、中期预测	25	能体现水质变化趋势，但对随机成分反映不足，预测精度较低
时间序列预测法	数理统计	短期、中期预测	15	只考虑预测水质指标的时间变化规律，影响因素较多，准确性较差
数理统计预测法	概率论及数理统计原理	中期、长期预测	12	单个指标预测过程较简单，多指标预测过程较复杂

关键词是对于文章主题及内容的提炼，能够直观地体现文章的核心内容，分析高频关键词能够进一步发掘研究领域的方向与热点。通过 VOSviewer 软件中的关键词共现功能，得到近 23

年来 CNKI 中文文献数据库和 WOS 核心合集文献库中关于水质预测研究中的高频关键词。分别以“水质预测方法”与“water quality prediction methods”为检索主题进行检索，结果表明 CNKI 中文文献数据库和 WOS 核心合集文献库中“水质预测”和“水质质量”都是高频次的关键词。CNKI 中文文献数据库中频数较高的关键词还有“BP 神经网络”[25]、“深度学习”[26]、“遗传算法”[27]等，表明国内学者重视各种水质预测研究方法在评价区域内的优化与实际应用(图 6)。图 6 为 CNKI 中文文献数据库水质预测研究相关文章的关键词共现网络图，对文章进行关键词共现分析可以得到该领域的总体研究情况[28]。使用 VOSviewer 软件进行关键词共现分析，关键词节点的大小表示关键词出现的频率，节点越大说明关键词出现的频率越高，高频关键词在一定程度上代表着该领域的研究方向[29]。节点间连线的宽度反映两个相关关键词出现的频率，连线越宽表示两个关键词同时出现的频率越高，二者的联系越紧密[30]。图 6 出现频率最高的关键词为“水质预测”、“BP 神经网络”、“水质”、“水质模型”等。从节点之间连线的宽度来看，水质预测与 BP 神经网络、以及水质模型之间的联系都比较密切，说明这几组关键词同时出现的频率较高。从关键词共现结果看，红色节点聚焦于研究对象，由于本文侧重于对水质预测进行研究，因此主要研究对象为“水质预测”。红色节点侧重于水质量研究，两个主要的红色节点分别是水质评价和水质。黄色节点侧重于模型研究，主要的黄色节点是 BP 神经网络[31]和水质模型[32]。本次研究中针对的水质模型为统计学模型，图 6 中涉及的统计学模型为时间序列模型、灰色理论、回归模型、人工神经网络模型等。统计学模型属于非机理型模型，属于随机性水质模拟模型范畴。该模型针对某一特定的水质系统，通过数学统计的方法模拟水质变化，无需获取大量的水质基础资料，模拟预测效果较好，所以广泛应用于模拟预测水质[33]。另一方面，WOS 核心合集文献库中的高频关键词包括“water”、“water quality”、“river”等，有关水质对人类活动、生态环境系统等造成的影响，说明国际学者更倾向于以水质质量对人类活动、生态系统影响的环境研究主题(图 7)，也反映水环境系统具有不确定性和未知性，预测河流水质变化的趋势是将来水质模拟预测的新兴方向[34]。同时，国内学者致力于探索更先进、准确的水质预测方法，例如将数值模拟的水质模型与地理信息系统(GIS)相结合[35]。

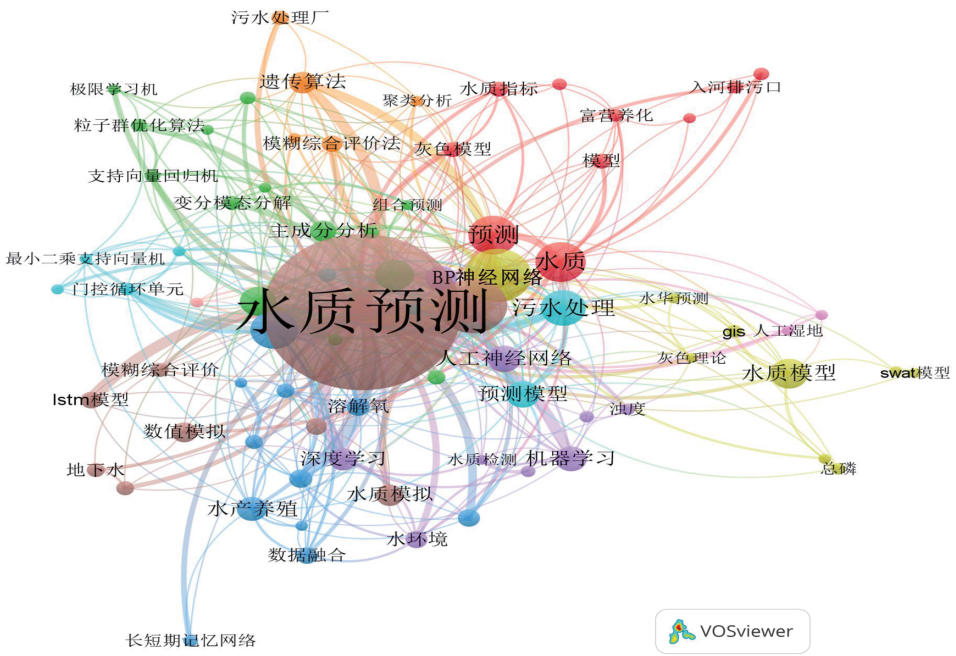

图 6　CNKI 关键词共现密度图谱

Fig. 6　Keywords co-occurrence density of CNKI

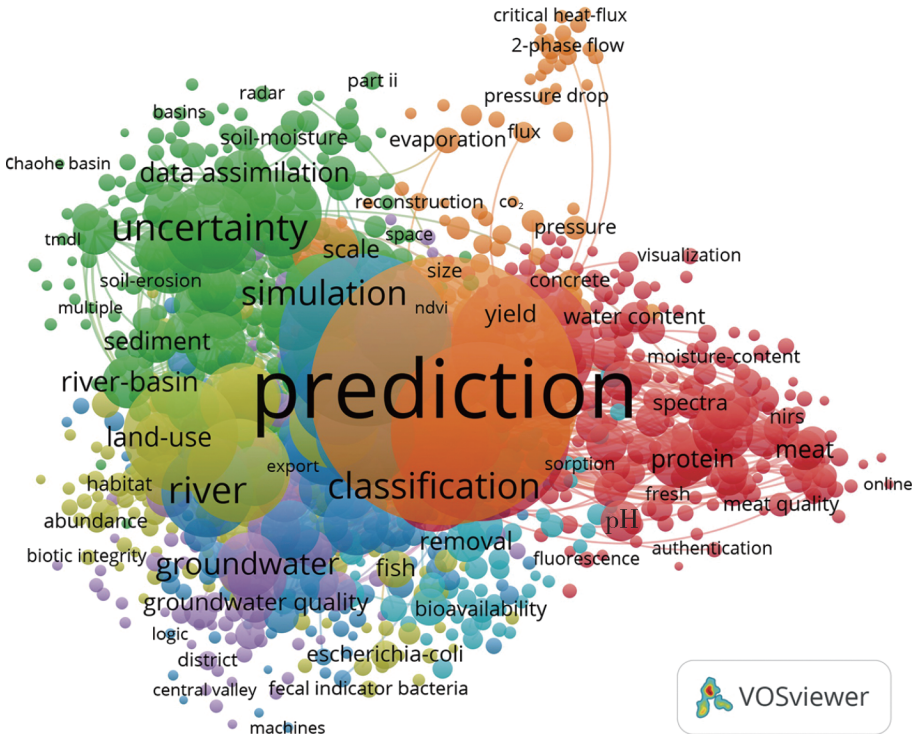

图 7 WOS 关键词共现密度图谱

Fig. 7 Keywords co-occurrence density of WOS

使用 VOSviewer 软件对 WOS 核心合集文献库整合的所有文献进行关键词共现分析，形成水质预测相关文章的关键词共现网络图（图 7），其中出现频率最高的关键词为“prediction”、“uncertainty”、“river”、“groundwater”、“classification”[36]等。从节点之间连线的宽度来看，“prediction”、“uncertainty”、“river”、“groundwater”之间的联系均较紧密，说明这几组关键词同时出现的频率较高。从关键词共现的结果来看，红色节点聚焦于研究对象，本文侧重于对水质预测[37]进行研究，主要研究对象为“prediction”；黄色节点侧重于水质量对环境[38]影响的研究，主要代表关键词有“land use”、“river”；绿色节点侧重于模型与方法的研究，主要的绿色节点是“uncertainty”[39]和“data assimilation”[40]。

关键词的时间序列分析可以反映研究热点随时间的演变趋势。本文对 CNKI 中文文献数据库中有关水质预测研究的关键词进行了时间序列分析（图 8）。节点颜色越深，表明该领域研究的开始时间越早；节点颜色越浅，说明该领域研究的开始时间越晚。从研究关键词的时间序列分析来看，水质预测的研究是对水质评价的初步认识；随着研究方法的深入，学者们开始对水质预测方法展开讨论，当前研究开始侧重于利用 BP 神经网络[41]、深度学习[42]等先进方法开展研究。

对 WOS 核心合集文献库国际文献的关键词进行时间序列分析（图 9），其演化趋势从 pH 值等有关水环境的方面开始，到中期的“land-use”、“river”等水质与人类生活息息相关的内容，最后到现今的各种水质评估模型，表现出与图 8 不同的演化趋势，进一步表明了我国学者重点聚焦于水质预测模型及方法研究。

此外，关键词共现密度图可反映水质预测领域的研究热点。从 CNKI 关键词共现密度图（图 10）中可以看出，我国学者在该领域的研究热点除了水质预测外，还有深度学习、BP 神经网络、人工神经网络等。从 WOS 关键词共现密度图（图 11）则可以看出，国际学者在该领域的研究热点除了“prediction”外，还有“classification”、“uncertainty”等。

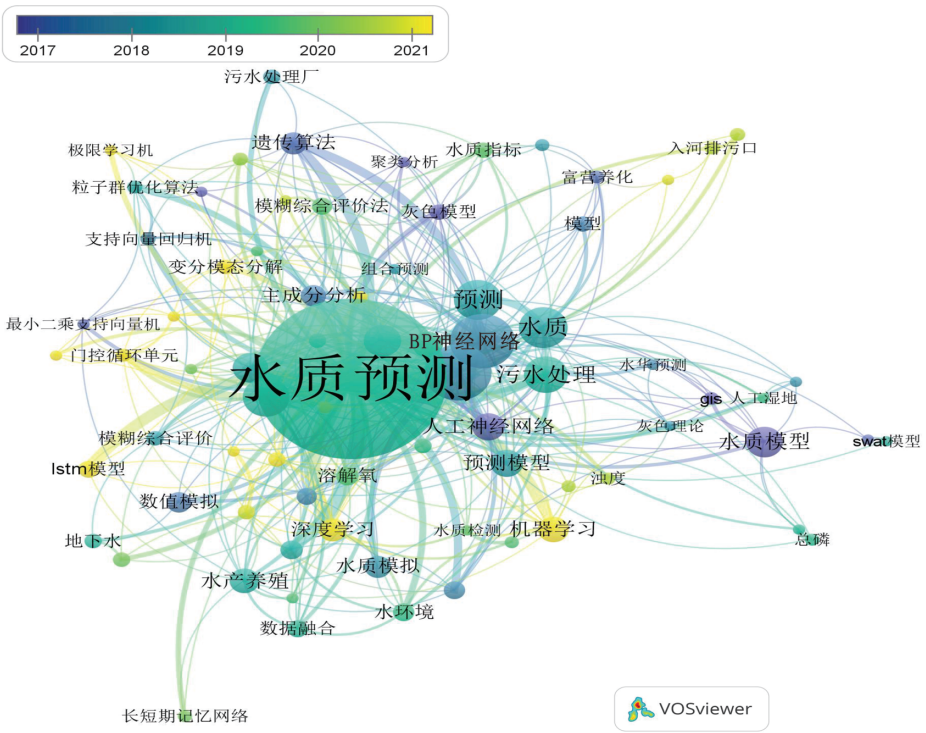

图 8　CNKI 关键词时间序列分析图谱

Fig. 8　Keywords time-series analysis of CNKI

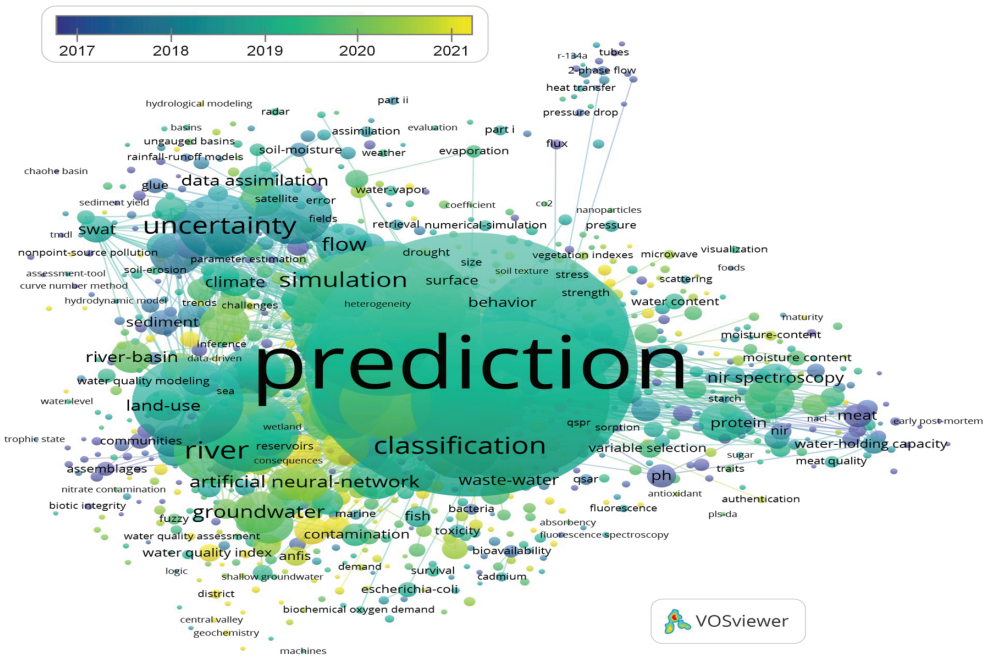

图 9　WOS 将关键词时间序列分析图谱

Fig. 9　Keywords time-series analysis of WOS

图 10 CNKI 关键词热点分析图

Fig. 10 Keywords hotspot analysis of CNKI

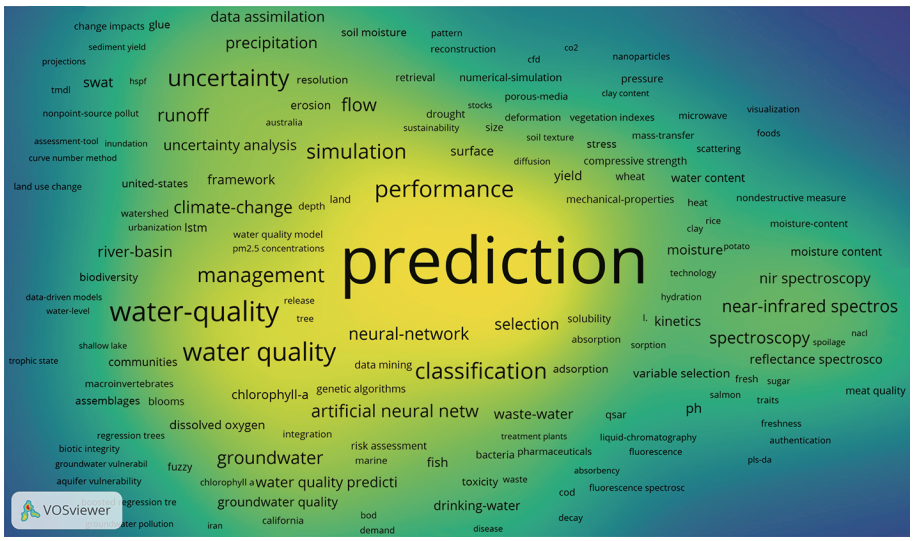

图 11 WOS 关键词热点分析图

Fig. 11 Keywords hotspot analysis of WOS

3 结论

(1)基于 2000—2023 年水质预测相关的文献计量学分析,国内外学者在水质预测的发文量呈持续增长趋势,我国在水质预测领域的发文量处于世界领先地位,但科研成果影响力还有待提高。

(2)聚类合作图表明,国内外主要代表作者群

体均呈局部聚集整体分散的特点，说明团队内部交流联系密切，但不同团队之间的联系较少，我国应进一步加强国际学术交流与合作，提升水质预测研究水准。

(3)我国与国际上在水质预测研究领域的方向有所差异。国内研究方向主要为水质预测的优化与实际研究应用，而国外研究方向为水质量对人类活动、生态系统影响的环境研究，今后我国应加快由数值模型和预测方法研究向水环境、水生态领域研究转化。

参考文献

[1] CHO K H，PACHEPSKY Y，LIGARAY M，et al. Data assimilation in surface water quality modeling：a review [J]. Water Research，2020，186：116307.

[2] BIGNOLI G，SABBIONI E. Long-term prediction of the potential impact of heavy metals on groundwater quality as a result of fertilizer use[J]. Studies in Environmental Science，1981，17：857-862.

[3] 邱均平，张洋. 网络信息计量学的应用研究[J]. 图书情报工作，2007，51(9)：16-19，36.
QIU J P，ZHANG Y. On the application of webometrics [J]. Library and Information Service，2007，51 (9)：16-19，36.

[4] 高俊宽. 文献计量学方法在科学评价中的应用探讨[J]. 图书情报知识，2005，23(2)：14-17.
GAO J K. Application of bibliometrics methods in scientific evaluation[J]. Documentation，Information & Knowledge，2005，23(2)：14-17.

[5] 赵蓉英，许丽敏. 文献计量学发展演进与研究前沿的知识图谱探析[J]. 中国图书馆学报，2010，36(5)：60-68.
ZHAO R Y，XU L M. The knowledge map of the evolution and research frontiers of the bibliometrics[J]. Journal of Library Science in China，2010，36(5)：60-68.

[6] 秦义，田元祥. 基于 CiteSpace 的血瘀证证候诊断标准研究的可视化分析[J]. 世界科学技术-中医药现代化，2015，17(12)：2656-2665.
QIN Y，TIAN Y X. Visualization analysis on diagnostic criteria research of blood stasis syndrome based on CiteSpace[J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology，2015，17(12)：2656-2665.

[7] 徐坚，王维平. 我国人工智能教育发展及现状研究——基于 1976—2017 年中文文献的 CiteSpace 可视化分析[J]. 信息化研究，2017，43(6)：1-6.
XU J，WANG W P. Review and situation study on Chinese artificial intelligence education：a visualized analysis in Chinese Journal papers from 1976 to 2017 based on CiteSpace software[J]. Informatization Research，2017，43(6)：1-6.

[8] 刘瑞. 重金属存在下多环芳烃微生物修复的研究热点及趋势——基于 CiteSpace 的文献计量分析[J]. 福建农业科技，2020，51(11)：49-56.
LIU R. Research hotspots and trends of microbial remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the presence of heavy metals—based on bibliometrics analysis of CiteSpace[J]. Fujian Agricultural Science and Technology，2020，51(11)：49-56.

[9] 高云峰，徐友宁，祝雅轩，等. 矿山生态环境修复研究热点与前沿分析——基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的大数据可视化研究[J]. 地质通报，2018，37(12)：2144-2153.
GAO Y F，XU Y N，ZHU Y X，et al. An analvsis of the hotspot and frontier of mine eco-environment restoration based on big data visualization of VOSviewer and CiteSpace[J]. Geological Bulletin of China，2018，37(12)：2144-2153.

[10] 王健，向峰，邱飞，等. 水质预测模型研究进展[J]. 环境科学导刊，2018，37(4)：63-67.
WANG J，XIANG F，QIU F，et al. Research progress of water quality prediction model[J]. Environmental Science Survey，2018，37(4)：63-67.

[11] VAN ECK N J，WALTMAN L. VOSviewer：a computer program for bibliometric mapping[C]//Int Soc Scientometrics & Informetrics，2009.

[12] 高凯. 文献计量分析软件 VOSviewer 的应用研究[J]. 科技情报开发与经济，2015，25(12)：95-98.
GAO K. Research on the application of bibliometric analysis software VOSviewer [J]. Sci-Tech Information Development & Economy，2015，25(12)：95-98.

[13] 赵蓉英，喻恺鹏，陈必坤. 国内外影响因子研究的可视化比较分析[J]. 情报科学，2014，32(3)：3-11.
ZHAO R Y，YU K P，CHEN B K. Visualizing comparative analysis of impact factor at home and abroad [J]. Information Science，2014，32(3)：3-11.

[14] 韩成吉，王加亭，王国刚. 基于 CiteSpace 中国草牧业研究的文献计量分析[J]. 草业科学，2021，38(5)：

976-991.
HAN C J,WANG J T,WANG G G. Bibliometric analysis of grass-based livestock husbandry China[J]. Pratacultural Science,2021,38(5):976-991.

[15] 庄巍,逄勇,吕俊. 河流二维水质模型与地理信息系统的集成研究[J]. 水利学报,2007,52(S1):552-558.
ZHUANG W,FENG Y,LV J. Study on integration of GIS and 2D water quality models[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2007,52(S1):552-558.

[16] 陈鋆,高光,李一平,等. 太湖水体中悬浮物的静沉降特征[J]. 湖泊科学,2006,18 (5):528-534.
CHEN Y,GAO G,LI Y P,et al. Hydrostatic settling of suspended matter of Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences,2006,18(5):528-534.

[17] 徐绍箐,马启敏,李泽利,等. 锦州湾表层沉积物中多环芳烃测定与生态风险评价[J]. 环境化学,2011,30(11):1900-1905.
XU S Q,MA Q M,LI Z L,et al. Determination and risk assessment of polycyclicaromatic hydrocarbons in surfacesediment from Jinzhou Bay,China [J]. Environmental Chemistry,2011,30(11):1900-1905.

[18] 李泽利,吕志峰,赵越,等. 新安江上游流域 SWAT 模型的构建及适用性评价[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(1):25-31.
LI Z L,LV Z F,ZHAO Y,et al. Construction of SWAT model and its applicability evaluation in upper basin of Xin'an River[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2015,26(1):25-31.

[19] 张梦迪,徐庆,刘振鸿,等. 基于动态滑动窗口 BP 神经网络的水质时间序列预测[J]. 环境工程技术学报,2022,12(3):809-815.
ZHANG M D,XU Q,LIU Z H,et al. Prediction of water quality time series based on the dynamic sliding window BP neural network model[J]. Journal of Environmental Engineering Technology,2022,12(3):809-815.

[20] 王尚晓,牛晓楠,张洁,等.新安江流域 2000—2021 年 NDVI 时空变化特征及其影响因素分析[J].华东地质,2023,44(3):273-281.
WANG S X,NIU X N,ZHANG J,et al. Spatial and temporal variation features of NDVI and its influence factors in the Xin'an River Basin from 2000 to 2021 [J].East China Geology,2023,44(3):273-281.

[21] 魏智宽,蒋世云,李少旦. 灰色理论在龙江突发镉污染水质预测中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(3):135-137,141.
WEI Z K,JIANG S Y,LI S D. Application of grey theory in water quality prediction of sudden cadmium pollution in Longjiang River[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering,2013,24(3):135-137,141.

[22] 邹武,张纯,张洁,等. 应用多元统计法评价吉安市饮用水源地水质及污染源解析[J]. 四川环境,2023,42(4):199-204.
ZOU W,ZHANG C,ZHANG J,et al. Water quality evaluation of drinking water sources by multivariate statistical analysis method and pollution sources analysis in Ji'an City[J]. Sichuan Environment,2023,42(4):199-204.

[23] 陈昭明,王伟,赵迎,等. 改进主成分分析与多元回归融合的汉丰湖水质评估及预测[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(4):15-19.
CHEN Z M,WANG W,ZHAO Y,et al. Evaluation and prediction of water quality in Hanfeng Lake based on improved principal component analysis and multivariate regression model[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring,2020,32(4):15-19.

[24] 陈能汪,余镒琦,陈纪新,等. 人工神经网络模型在水质预警中的应用研究进展[J]. 环境科学学报,2021,41(12):4771-4782.
CHEN N W,YU Y Q,CHEN J X,et al. Artificial neural network models for water quality early warning:A review[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2021,41(12):4771-4782.

[25] KANG Y,SONG J L,LI K Q,et al. Research on water quality prediction model based on echo state network[J]. Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering,2022,22(3):901-910.

[26] BARZEGAR R,AALAMI M T,ADAMOWSKI J. Short-term water quality variable prediction using a hybrid CNN-LSTM deep learning model [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,2020,34(2):415-433

[27] WEN J S,LI F,ZENG X Y,et al. Genetic algorithm—based fuzzy comprehensive evaluation of water quality in Dongzhaigang[J]. Water,2015,7(9):4821-4847.

[28] 周宇飞,周琳,禹利君,等. 基于 CiteSpace 的茶黄素研究现状可视化分析[J]. 茶叶科学,2022,42(1):131-139.
ZHOU Y F,ZHOU L,YU L J,et al. Visualization a-

nalysis in research status of the aflavins based on CiteSpace[J]. Journal of Tea Science，2022，42(1)：131-139.

[29] HUANG N X. Quantitative and visual analysis of tsunami warning research：a bibliometric study using web of science and VOSviewer[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction，2024，103：104307.

[30] 刘金花，崔金梅. 基于 VOSviewer 的领域性热门研究主题挖掘[J]. 情报探索，2016，36(2)：13-16.
LIU J H，CUI J M. VOSviewer-based mining of territorial hot research topics[J]. Information Research，2016，36(2)：13-16.

[31] CHEN S Y，FANG G H，HUANG X F，et al. Water quality prediction model of a water diversion project based on the improved artificial bee colony-backpropagation neural network[J]. Water，2018，10(6)：19.

[32] EJIGU M T. Overview of water quality modeling[J]. Cogent Engineering，2021，8(1)：21.

[33] 樊敏，顾兆林. 非机理性水质模型研究综述[J]. 环境科学与管理，2009，34(9)：63-67.
FAN M，GU Z L. Overview on research methods for non-mechanism water quality model[J]. Environmental Science and Management，2009，34(9)：63-67.

[34] MAHMOODI N，OSATI K，SALAJEGHEH A，et al. Trend in river water quality：tracking the overall impacts of climate change and human activities on water quality in the Dez River Basin[J]. Journal of Water and Health，2021，19(1)：159-173.

[35] 王潇凯，马昕立，武田诚，等. 基于 GIS 的平面二维水质模型构建及其对广域平原河网水系数值模拟的适用性分析[J]. 环境科学学报，2023，43(4)：377-390.
WANG X K，MA X L，WU T C，et al. Construction of two-dimensional water quality model based on GIS and its applicability of wide-area plain river system[J]. Acta Scientiae Circumstantiae，2023，43(4)：377-390.

[36] HUANG P J，JIN Y，HOU D B，et al. Online classification of contaminants based on multi-classification support vector machine using conventional water quality sensors[J]. Sensors，2017，17(3)：17.

[37] AHMED A N，OTHMAN F B，AFAN H A，et al. Machine learning methods for better water quality prediction[J]. Journal of Hydrology，2019，578：18.

[38] CHEN H Y，LIN Y J. The use of GIS technology-based water quality safety in environmental impact evaluation[J]. Desalination and Water Treatment，2021，241：230-235.

[39] ZHANG W，LI T，DAI M H. Uncertainty assessment of water quality modeling for a small-scale urban catchment using the GLUE methodology：a case study in Shanghai，China[J]. Environmental Science & Pollution Research，2015，22(12)：9241-9249.

[40] SHAO D G，WANG Z M，WANG B，et al. A water quality model with three dimensional variational data assimilation for contaminant transport[J]. Water Resources Management，2016，30(13)：4501-4512.

[41] 高峰，冯民权，滕素芬. 基于 PSO 优化 BP 神经网络的水质预测研究[J]. 安全与环境学报，2015，15(4)：338-341.
GAO F，FENG M Q，TENG S F. On the way for forecasting the water quality by BP neural network based on the PSO[J]. Journal of Safety and Environment，2015，15(4)：338-341.

[42] 郝玉莹，赵林，孙同，等. 基于 RF-LSTM 的地表水体水质预测[J]. 水资源与水工程学报，2021，32(6)：41-48.
HAO Y Y，ZHAO L，SUN T，et al. Surface water quality prediction based on RF-LSTM[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering，2021，32(6)：41-48.

Research progress and trend on water quality prediction based on bibliometric analysis

FU Dunkai[1,2], ZHANG Yunhui[1,2*], XU Xiaojun[3], WANG Ying[1,2], XU Zhongyuan[1,2], WANG Yangshuang[1,2]

(1. *Faculty of Geosciences and Engineering*, *Southwest Jiaotong University*, *Chengdu* 611756, *Sichuan*, *China*;
2. *Yibin Research Institute*, *Southwest Jiaotong University*, *Yibin* 644000, *Sichuan*, *China*;
3. *Sichuan Transportation Inland Waterway Harbor and Navigation Engineering Technology Research Center*, *Sichuan Communication Surveying and Design Institute CO.*, *LTD*, *Chengdu* 610017, *Sichuan*, *China*)

Abstract: With the development of social economy, various domestic water environment problems are gradually emerging. Water quality prediction based on large-sample environmental monitoring data plays a significant role in accurately formulating the countermeasure of environmental protection in advance, but there are fewer analytical studies related to the phasic summary of this subject. Based on the theory of bibliometrics, the article searches the papers in the field of water quality prediction included in the database of China Knowledge Network (CNKI) and WOS database from 2000 to 2023, and comprehensively overviews relevant domestic and foreign literature with VOSviewer software. By constructing a long time sequence mapping, the authors systematically comb the scientific research progress and achievements in the discipline, so as to exhibit the research status and trends of water quality prediction. The results show that water quality prediction research is a typical multi-author, multi-country, multi-institution cooperative field; China publishes the largest number of papers annually, and its scientific research outcomes has always been ranked in the top tier, indicating China's global leading role in the research of water quality prediction. By analysing the keywords, it is found that compared with traditional way, BP neural networks and deep learning are effective methods of water quality prediction in recent years. This study will be conducive to improving the domestic research of water quality prediction and provide bibliometric references for future research.

Key words: water quality prediction; bibliometrics; VOSviewer; CNKI database; WOS database