DOI:10.19789/j.1004-9398.2023.03.009
文献引用:姜雪梅,朱正如,曹永强.基于文献计量的水资源生态足迹现状及热点研究[J].首都师范大学学报(自然科学版),2023,44(3):56-68. JIANG X M,ZHU Z R,CAO Y Q. Research on the current situation and hotspot of water resources ecological footprint based on bibliometrics [J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition),2023,44(3):56-68.

基于文献计量的水资源生态足迹现状及热点研究*

姜雪梅[1,2],朱正如[1],曹永强[1**]

(1.辽宁师范大学地理科学学院,辽宁 大连 116029;2.辽宁师范大学历史文化旅游学院,辽宁 大连 116081)

摘要:为了分析水资源生态足迹的研究现状和热点趋势,本文以中国知网(CNKI)和web of science数据库为数据源,运用CiteSpace可视化分析软件,对2005—2020年水资源生态足迹领域中文和英文论文的发展现状和研究热点进行分析。前者包括发文数量、文献来源、研究机构、作者、地域合作网络和高被引文献等,后者包括关键词聚类分析和热点突现词分析等。常规参数分析结果表明:关于水资源生态足迹的研究,中文文献早于英文文献,二者发文量总体上都呈现上升趋势,是目前研究的热点领域;大部分中英文文献来源于领域内核心期刊,主要涉及环境和生态等领域;中文文献的研究机构合作网络较分散,而英文文献的研究机构合作关系更为密切;中文文献的研究者较多,形成相对明显的合作子群,而英文文献发文者较少且以中国学者居多;中国、美国和荷兰等国家是文献发表的主要力量。在热点突现词分析中,生态足迹的突现强度最高,表明水资源生态足迹研究进入成熟阶段。未来应加强水资源生态足迹领域的研究深度与广度,实现多学科交叉融合。

关键词:水资源生态足迹;CiteSpace;文献计量;研究热点
中图分类号:TV213.9;X22 **文献标识码**:A

Research on the current situation and hotspot of water resources ecological footprint based on bibliometrics*

JIANG Xuemei[1,2], ZHU Zhengru[1], CAO Yongqiang[1**]

(1. School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning 116029; 2. School of History, Culture and Tourism, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning 116081)

Abstract: In order to analyze the research status and hot trends of water resources ecological footprint, this paper takes CNKI and web of science database as data sources, and uses CiteSpace visual analysis software to comprehensively analyze development status and research hotspots of Chinese and English papers in the field of water resources ecological footprint from 2005 to 2020. The former includes the number of publications, sources of literatures, research institutions, authors, regional cooperation networks and highly cited literatures, while the latter includes keyword cluster analysis and hot emergent word analysis. The development status results show that on the study of ecological footprint

收稿日期:2022-07-20
* 国家自然科学基金项目(52079060);辽宁省重点研发计划项目(2020JH2/10200043);辽宁省兴辽英才项目(XLYC2008033,XLYC2007111)
** 通信作者:caoyongqiang@lnnu.edu.cn

of water resources, the Chinese literatures are earlier than the English literatures, and the number of published papers of both show an increasing trend, which are the hot research fields at present. The Chinese and English literatures mainly come from the core journals in the field, mainly involving the environment and ecology and other fields. The cooperative network of Chinese literatures research institutions are relatively decentralized, while the cooperative relationship of English literatures research institutions are closer. There are more researchers in Chinese literatures, forming a relatively obvious cooperative subgroup, while there are fewer English literatures writers and most of them are Chinese scholars. Countries such as China, the United States and the Netherlands are the main forces of literature publication. In the analysis of hotspot emergent words, the intensity of ecological footprint is the highest, indicating that the research of water resources ecological footprint has entered a mature stage. In the future, the depth and breadth of research in the field of water resources ecological footprint should be strengthened to achieve interdisciplinary integration.

Keywords: water resources ecological footprint; CiteSpace; bibliometrics; research hotspot

CLC: TV213.9; X22 **DC**: A

0 引 言

可持续发展是人类社会的共同目标,作为其关键要素之一,水资源的开发与利用已然成为当今全球生态领域面临的重要议题。1992年,加拿大生态经济学家Rees[1]最早提出生态足迹;1996年,Wackernagel和Rees[2]进行了补充完善,其认为生态足迹是衡量区域内人类对自然资源利用程度及计算人类为了满足自身需求所消耗自然资源的一种方法,可进一步评估生态系统的可持续发展情况。进入21世纪,水资源成为影响和制约人类社会生存与发展的主要生态因子之一。水资源生态足迹是指人类生活生产及自然环境维持自身进化所消耗的水资源。目前,运用水资源生态足迹方法对区域水资源利用情况及可持续发展进行研究成为了热点方向。Jenerette等[3]运用生态足迹模型分析了美国121座城市的非均匀城市的水资源足迹,进而研究了城市淡水供应中生态足迹与生态系统价值的关联;Ewing等[4]在多区域投入产出框架中整合生态足迹和水资源生态足迹核算,进一步改进了水资源生态足迹的计算模型。

梳理有关水资源生态足迹的中文文献,表明国内有关于水资源生态足迹的研究广泛。从研究主题看:黄林楠等[5]是水资源生态足迹较早的研究者,其对产量因子和均衡因子进行了确定,对后续国内各省地区水资源生态足迹的研究具有深刻的影响;王文国等[6]通过对水资源生态足迹和生态承载力的测量,从时空分布特征的角度对四川省水资源状况进行深度解析;张义[7]和官冬杰等[8]则是从生态足迹评价的角度分别对河池市和贵州省水资源可持续利用进行评价以及对未来水资源生态足迹状况进行预测。从研究方法看:于强等[9]和张义课题组[10-15]均是采取生态足迹模型、生态承载力模型、生态盈亏指数以及生态压力指数对河北省和广西省进行水资源生态足迹的评价;郑涛等[16]、贾陈忠等[17]和邵骏等[18]则是在传统生态足迹理论的基础上结合对数平均迪氏指数(logarithmic mean Divisia index, LMDI)法对山西省、云南省水资源生态足迹状况进行驱动因素分析,对水资源生态足迹方面进行了更深一步的研究。从研究手段看:杨开忠等[19]和王荣森等[20]则是采取对比的方式分别对首都圈与长三角、安徽省和江苏省水资源生态足迹进行了比较分析,拓展了水资源生态足迹理论的研究视角。

综上所述,水资源生态足迹的研究已经引起了国内外研究者的广泛关注,运用生态足迹分析方法能够有效地量化和评价水资源的利用和发展状况,解释人类用水对生态环境的影响,对推进水资源优化配置和节约集约利用,改善水资源用水环境具有重要的理论价值和实践意义。目前,水资源生态足迹领域的研究成果较多,但尚没有“基于文献计量的水资源生态足迹现状及热点研究”类似文献发表。因此,基于中英文文献研究的丰富成果,本文利用CiteSpace软件对水资源生态足迹研究的相关文献进行梳理和概述,运用文献计量分析和知识图谱方法,将文献的发文数量、文献来源、研究机构、

作者、地域合作网络、高被引文献、关键词聚类分析和热点突现词分析等清晰展示,力图客观、直观和形象地揭示水资源生态足迹的发展现状和研究热点,以期为这一领域的理论及应用研究提供有益参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

文献计量分析作为一种快速了解相关学术领域发展脉络以及前沿热点的重要方法,目前已经发展的相对成熟。信息可视化技术手段和方法的运用,可直观地展示主题的研究发展历程、研究现状、研究热点和发展态势[21-22]。CiteSpace、Vosiewer和Histcite都是可视化使用最广泛的工具,但CiteSpace具有更强的可操作性和利用性。本文使用CiteSpace软件,将关于水资源生态足迹领域的中英文文献进行了常规参数与统计和研究热点分析,以求能对水资源生态足迹领域的研究进行深入探索。在CiteSpace输出的知识图谱中,节点的大小表示分析对象出现的频次及贡献多少,节点间的连线代表节点的关联度;网络密度用于刻画网络中节点间相互连边的密集程度,代表所测量对象的密集程度以及演化趋势,取值范围为[0,1],值越大表示密集程度越高。

1.2 数据来源

本文运用中国知网(CNKI)的高级检索方式,以学术期刊为检索范围,设置主题为"水资源生态足迹"或"水生态足迹",该主题最早出现在2005年,因而确定时间跨度为2005—2020年,检索到期刊文献共399篇,经过筛选、去重、梳理与整合,最终获得335篇相关文献;国际研究数据来源于web of science(WOS)数据平台的WOS核心合集数据库,以topic为"water resources ecological footprint"进行检索,因这一主题在WOS核心合集数据库中最早出现于2009年,故选取检索时间为2009—2020年,再筛选"article",共得到323条检索结果,经过筛选最终获得314篇相关文献。

2 水资源生态足迹中英文文献研究对比

2.1 发文量演化过程

文献发表数量是显示某项研究发展状况的重要指标,2005—2020年中英文文献关于水资源生态足迹的发文数量变化曲线如图1所示。中文文献关于水资源生态足迹研究自2005年起步,主要缘于:首先,这与国家"十一五"期间提出"我国将全面推进节水型社会建设,对全社会用水实行总量控制和定额管理,提高水资源的利用效率和效益"等相关政策息息相关;其次,生态足迹研究于2005年整体进入热点期,多个领域出现不同"足迹"的相应讨论[23];最后,在此时间前后,水资源短缺、水质污染等现实问题引起了学界对于水资源生态足迹的关注[24]。总体来看:中文文献关于水资源生态足迹的发文数量呈现波动上升趋势,2005—2011年发文数量开始增长,说明国内研究人员对水资源生态足迹领域进行了广泛拓展;2012年出现短暂下降,随后增长较为迅速,至2017年发文数量为45篇,为发文量的高峰期,这与我国越来越重视水资源利用与保护息息相关。

英文文献关于水资源生态足迹的研究自2009年开始涉及,较中文文献稍晚一些,其发文量具有稳步增长趋势。与中文文献发表数量相比:2017年之前英文文献数量明显较少,说明这一时期中文文献的作者对这一研究的贡献较大;但2018、2019和2020年英文文献发文数量均高于同期中文文献,发文量分别为40、47和72篇,可见近几年关于水资源生态足迹的研究得到了英文期刊的更多关注,其发文量显著增加。

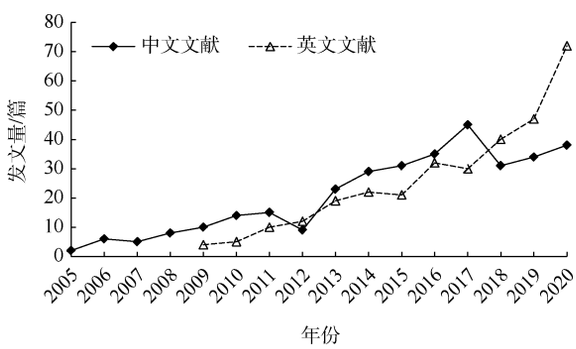


图1 水资源生态足迹中英文文献年发文量变化曲线

2.2 文献来源分析

文献来源的统计分析能够揭示水资源生态足迹领域论文发表的期刊分布特征。中国知网检索到的335篇文献来源于221种期刊,其中中文核心期刊约占60.6%;《生态学报》《安徽农业科学》《资源科学》《人民黄河》和《人民长江》的发文量最多,分别为13、11、11、9和9篇;对应这5种期刊在2021年综合影响因子分别为3.444、0.494、3.505、0.857和0.720;发文量排名前10位的期刊中,有8种期刊为中文核心期刊。

WOS检索到的314篇英文文献来源于157种期刊,其中*Journal of Cleaner Production*、*Ecological Indicators*、*Sustainability*、*Science of the Total Environment*和*Journal of Environmental Management*的发文量最多,分别为41、31、20、16和11篇;对应这5种期刊在2021年影响因子分别为11.072、6.263、3.889、10.754和8.910;排名前5位期刊的发文量约占总文献量的37.9%,这些期刊主题主要涉及环境和生态等领域,是水资源生态足迹英文文献的核心期刊源。

2.3　研究机构分析

通过CiteSpace可视化分析软件对水资源生态足迹的中文文献研究机构进行分析,得到了研究机构及其合作关系如图2所示。输出的知识图谱中共有节点44个,连线26条,网络密度为0.027 5,这表明研究机构数量较多。其中:中国科学院、西南大学地理科学学院发文量较多,分别为12和6篇;河池学院经济与管理系、重庆师范大学地理与旅游学院等发文量次之,均为5篇。从研究机构的区域分布来看,研究机构包括我国中东部、西南部、西北部、东北和华北等地区的高校和研究机构,大部分研究机构基于本地水资源状况进行分析,可见研究机构的区域分布广泛,能够在一定程度上体现我国水资源研究的广度和深度。在机构合作方面,图谱中仅部分机构之间有明显连线,即有合作关系。西南大学地理科学学院与西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室利用生态足迹理论,结合水资源利用效率指数、水资源生态压力指数和水资源生态承载力指数等对不同城市的水资源生态足迹和水资源可持续利用状况进行评价分析[25-26];重庆师范大学地理与旅游学院与贵州省山地资源研究所、贵州师范大学喀斯特研究院、重庆市三峡库区地表过程与环境遥感重点实验室、贵州科学院山地资源研究所也有深度合作,这些研究机构从水资源和水环境的综合视角研究了岩溶地区水资源生态足迹与经济发展的脱钩水平,研究表明水资源与经济发展的脱钩程度取决于水量和水质生态足迹的变化特征,降低水资源生态足迹是实现水资源可持续利用的重要方向[27-29]。但是,图谱输出的网络密度值较低,说明各机构之间合作关系不够紧密,主要以各单位自主作为团队进行独立研究,还未明显形成核心研究机构以及机构之间的交叉合作网络。

对英文水资源生态足迹文献进行研究机构合作网络分析,结果如图3所示,图谱中共有节点37个,连线37条,网络密度为0.055 6。中国科学院(Chinese Acad Sci,47篇)是水资源生态足迹领域研究的核心机构,具有研究机构中最大中介中心性0.76,凸显了其强大的科研影响力;北京师范大学(Beijing Normal Univ,23篇)、北京大学(Peking Univ,8篇)、北京林业大学(Beijing Forestry Univ,7篇)、特文特大学(Univ Twente,6篇)等也是研究的主要机构。在机构合作方面,图谱中机构之间的连线较多,说明英文文献研究机构之间的合作关系较中文文献更为密切。以中国科学院、北京师范大学为研究核心,其他发文机构都与其有一定的合作关系。如中国科学院与北京师范大学从水资源生态

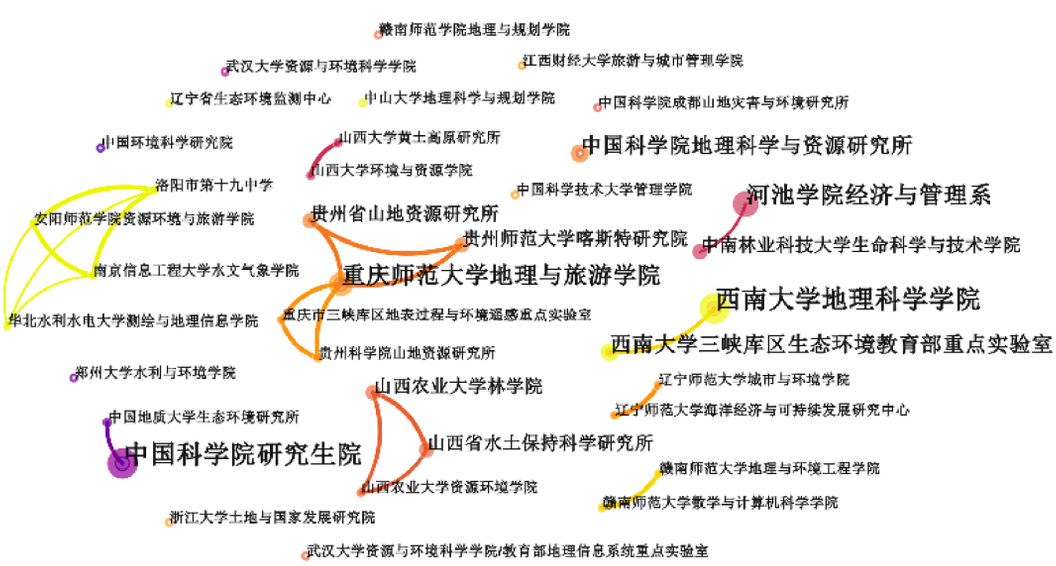


图2　2005—2020年水资源生态足迹中文文献研究机构图谱

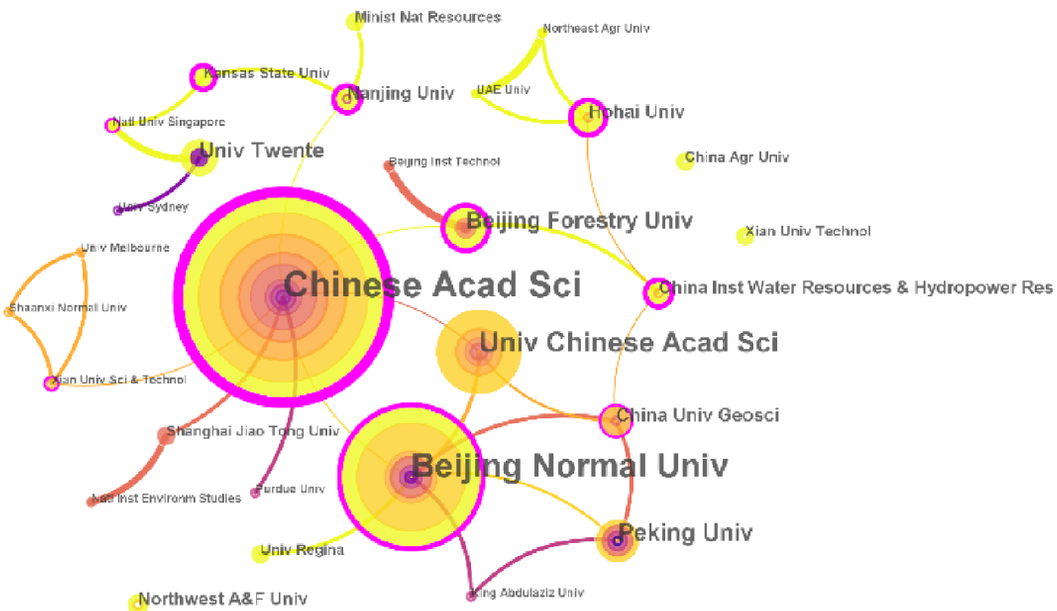


图3　2009—2020年水资源生态足迹英文文献研究机构图谱

系统服务流的角度对不同流域水平衡和水循环进行了合作研究,基于水资源生态足迹理论评估了水资源的生态安全、水资源压力状态及水资源横向生态补偿等问题[30-31]。中国科学院与北京林业大学运用生态水亏缺和生态耗水量等数据相结合的综合方法研究了干旱、半干旱地区的水足迹情况,为干旱地区流域规模水足迹分析和水资源管理提供了借鉴[32-34]。总体而言,水资源生态足迹的英文文献研究以团队合作为基础,形成了一定规模的机构合作网络。

2.4　作者分析

在2005—2020年水资源生态足迹中文文献作者合作图谱(图4)中,共有节点60个,连线86条,网络密度为0.048 6。表明中文文献的研究学者人数较多,核心作者主要有张义、苏维词、谢世友、孟丽红、王丹丹和晓兰等。其中张义发文数量最多,为9篇,被引用次数最高的论文是2013年发表在《资源科学》上的"基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析",其从水质水量角度核算水资源的供需状况,加强水资源生态足迹的准确核算,体现了这一研究领域的科学性和价值性[11];苏维词课题组共发文7篇,主要侧重于水资源生态足迹演化特征和评价预测方面的研究,揭示了水资源生态足迹的变化与社会经济发展的密切关系[35-36];谢世友课题组共发文5篇,其利用生态足迹理论和模型进行了水资源评价的应用研究,并证实水资源生态足迹受降水影响较大[37-38]。

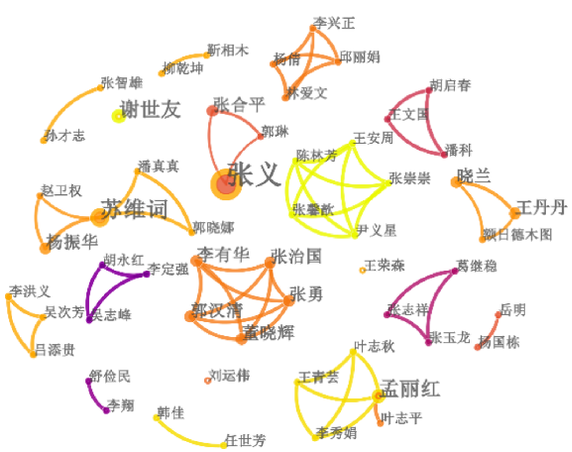


图4　2005—2020年水资源生态足迹中文文献作者合作图谱

作者之间的连线多少表明其合作程度,图谱中显示关于水资源生态足迹的研究学者之间合作密切,形成了较强的研究团队。其中李有华、张治国、张勇、董晓辉和郭汉清研究团队成果突出[39-42],其研究基于水资源生态足迹模型,结合水资源生态赤字、生态压力指数、水资源利用效率指数等指标,系统分析了山西省水资源生态足迹变化趋势,并对未来水资源生态赤字(盈余)趋势进行了预测;陈林芳、王安周、张崇崇、尹义星和张馨歆团队运用水资源生态足迹模型分析了河南省及其重点城市水资源生态足迹的动态变化[43-45],并从人口和经济发展指标分析了水资源生态足迹的驱动效应;孟丽红、李秀娟、王青芸和叶志秋等基于水资源生态足迹的基本原理和可变模糊集理论[46-48],对江西省水资源

生态足迹和生态承载力进行了评价分析,为区域水资源生态安全和可持续利用提供借鉴。

2009—2020 年水资源生态足迹英文文献作者合作关系如图 5 所示,共有节点 32 个,连线 22 条,网络密度为 0.044 4。作者发文数量决定了节点的大小,从图谱可知,英文文献的发文作者中 Fang C L(方创琳)、Yang Y(杨屹)和 Geng Y(耿涌)发文数量较多,均为 3 篇。其中:方创琳课题组提出了改进的水资源生态足迹(water resources ecological footprint,WEF)模型[49],分析了中国湖北省的人均水资源生态承载力、人均水资源承载力和水资源生态压力指数,更准确地反映了水资源消耗和供应的结果;杨屹课题组将生活用水、生产用水和生态环境用水 3 个子账户添加到生态足迹模型中[50],运用生态压力指数和生态经济协调指数来评估关中平原城市群的生态安全水平。图谱表明:英文文献的发文作者绝大部分为中国学者,说明在水资源生态足迹研究领域中国学者进行了长期深入研究;而国外作者发文量最多的均为 2 篇,其他发文作者较多且分散,缺少固定学者对水资源生态足迹进行深入探讨和长期研究。其中 Hoekstra 课题组是国外学者中研究水资源生态足迹的代表[51-52],其从宏观角度分析了生产者、消费者和政府对水资源使用的可持续性、效率和公平性,强调了合并足迹、评估足迹,改进了计算技术和估计最大可持续足迹水平对这一领域的重要性。

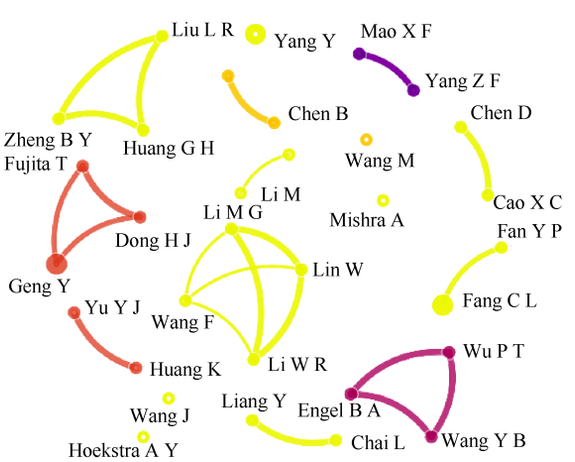


图 5　2009—2020 年水资源生态足迹英文文献作者合作图谱

图谱中的 22 条连线说明英文文献的发文作者合作不够紧密,尚未形成具有一定规模的研究团队。主要的合作网络中耿涌、Dong H J(董会娟)和 Fujita 等作者对环境可持续性研究方法进行了综述[53-54],深入分析了投入产出法、生命周期法、生态足迹、碳足迹、能值分析和成本效益的优缺点,并提出了不同方法的整合;同时,从生产和消费 2 个角度评估了水资源生态足迹问题,为中国及世界水资源生态足迹整体绩效的科学评估提供了参考[55]。方创琳和 Fan Y P(范育鹏)作者基于生态足迹法和灰色水足迹模型[56-57],研究缺水和水污染的驱动力及其对环境绩效的影响,以及水和不可再生资源的能值生态足迹状况。Li M G(李孟刚)、Li W R(李文锐)和 Wang F(王芳)等作者合作采用生态足迹法和生态承载力综合指数[58-59],揭示了京津冀地区水资源的使用量以及提供产品和服务的能力,根据研究所反映的生态赤字或生态盈余来反映京津冀地区生态环境的状况和趋势。

2.5　地域合作网络分析

由于中文文献近乎全是国内学者发表,而英文文献会有不同国家学者的合作,能够体现一定的合作关系网络,故文中只对英文文献的地域合作进行了网络分析。2009—2020 年英文水资源生态足迹研究文献的地域合作网络图谱如图 6 所示。共有节点 23 个,连线 23 条,网络密度为 0.090 9。发文量最多的国家分别是中国、美国、荷兰、澳大利亚、英国和意大利,分别是 143、59、26、23、22 和 19 篇;发文量最大的国家是中国,说明我国对水资源生态足迹研究非常重视,在这一领域的研究深度及其在国际上影响力较大;其次是美国、荷兰、澳大利亚、英国和意大利等国家发文量也较多,CiteSpace 中显示其合作网络的中介中心性均>0.1,表示这 5 个国家都是关键节点,体现了其较强的国际合作关系。

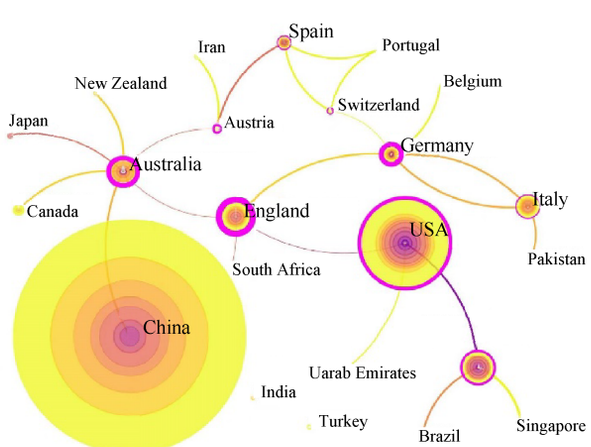


图 6　2009—2020 年水资源生态足迹英文文献研究的地域合作网络图谱

2.6 高被引文献

高被引文献通常是关于基础理论或研究方法的核心论文,代表着这一领域的研究热点和发展方向。中文文献中,水资源生态足迹的计算方法和计算模型是学者们聚焦的核心主题,黄林楠等[5]在2008年发表的"水资源生态足迹计算方法"、谭秀娟和郑钦玉[60]在2009年发表的"我国水资源生态足迹分析与预测"被引次数最高,分别为443、248次;关于水资源生态足迹和可持续发展问题的研究也备受关注,如高被引文献王文国等[6]在2011年发表的"四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析"、刘子刚和郑瑜[61]在2011年发表的"基于生态足迹法的区域水生态承载力研究:以浙江省湖州市为例",引用次数分别为166和151次。特别是后一篇文章,其界定了水资源生态足迹与水资源承载力的内涵,构建了包含水资源生态足迹的指标体系。以上高被引文献来源于《生态学报》《资源科学》和《自然资源学报》等期刊。

英文文献中,water footprints和virtual water是学者们聚焦的核心主题。可知Hoekstra等[62]在2012年发表的"global monthly water scarcity:blue water footprints versus blue water availability"、Zhang和Anadon[63]在2014年发表的"a multi-regional input-output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China"的文献被引次数最高,分别为536、266次,主要围绕虚拟水领域、水足迹多区域投入产出及蓝水足迹与蓝水可用性等开展研究,为这一方向奠定了良好基础;Hubacek等[64]在2009年发表的"environmental implications of urbanization and lifestyle change in China:ecological and water footprints"、Ewing等[4]在2012年发表的"integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input-output framework"的被引用次数分别为250、187次,其主要研究了水资源足迹和生态足迹的可量化指标,以及借助多区域投入产出模型进行水资源生态足迹的计算。以上研究成果代表了这一领域的研究深度。

3 水资源生态足迹研究热点

3.1 关键词聚类

关键词是文章主题和内容的核心,可以帮助读者直观地了解和判断某学科或领域的研究热点。关键词时间线的聚类分析既可以有效表达类之间的相互联系和影响,又可以展示类内部相关文献的历史跨度[65]。

对2005—2020年水资源生态足迹领域的中文代表性文献、高频关键词进行聚类分析,生成关键词时间线视图如图7所示。共有节点480个,连线1 144条,网络密度为0.010 0。聚类分析结果显示模块(Modularity Q)值为0.712 4,平均轮廓(Mean Silhouette)值为0.946 6。其中,代表网络模块个数的模块值一般为0.4~0.8,值越大表明网络聚类的效果越好;反映每个聚类相似性程度的平均轮廓值越接近1,表明网络同质性越高。输出信息显示,本次图谱聚类结构良好,2005—2020年水资源生态足迹研究的热点问题围绕关键节点形成11个聚类,主要表现在#0水资源、#1生态承载力、#2水资源生态足迹和#3生态足迹等;网络同质性较高,聚类切合,各聚类研究主题明确。从关键词聚类发展的时间线分析:首先,#1生态承载力和#3生态足迹的研究贯穿2005—2020年水资源生态足迹领域,其文献数量最多且影响力最高,长期为这一领域的研究热点;其次,#6水生态足迹和#2水资源生态足迹因表述不同分别出现在2006和2011年,总体时间趋势表明二者均是水资源生态足迹研究的核心关键词;再次,#0水资源和#4水资源生态承载力等的研究自2006年前后开始,到2020年关注度一直不减;最后,#5水生态承载力、#9生态足迹法和#10三维生态足迹模型等研究自2014年左右开始,起步较晚,文章数量和影响力还有待进一步提升,但这有利于对水资源生态足迹研究的不断深入和探索。以上结果表明,数个关键词共同构成了水资源生态足迹这一研究领域的演进路径。生态足迹与生态承载力关联度高,2个概念有边界重叠的互证特征,并扩展至水资源研究领域,而理论模型的嵌入实现了关于水资源足迹的深化讨论。

对2009—2020年水资源生态足迹的英文文献进行关键词聚类分析,生成关键词时间线视图如图8所示。共有节点101个,连线131条,网络密度为0.025 9。聚类分析得到模块值为0.711 8,平均轮廓值为0.823 4,说明网络聚类较好、聚类成员的相似性越高。关键词时间线视图显示,2009—2020年水资源生态足迹研究英文文献的热点问题围绕关键节点形成9个聚类,主要表现在#1 economic growth(经济增长)、#4 limiting factors(限制因素)、#6 cli-

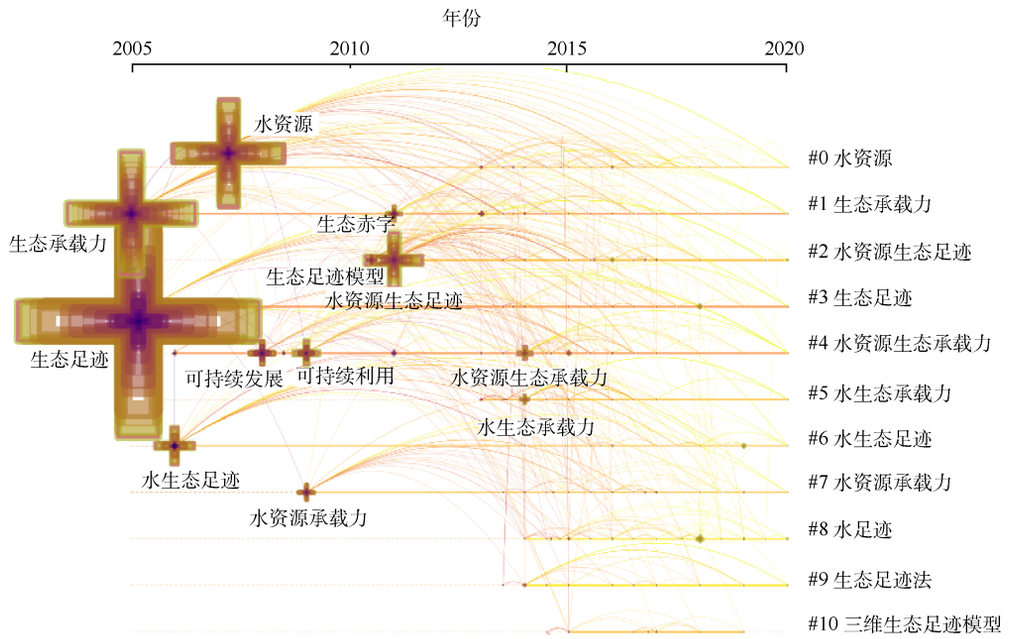


图7 2005—2020年水资源生态足迹领域中文文献关键词时间线视图

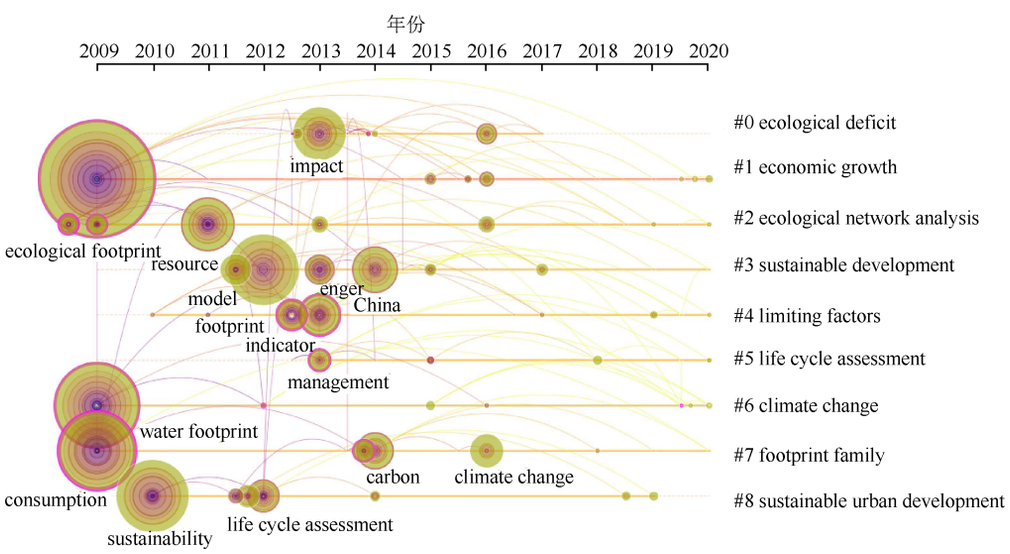


图8 2009—2020年水资源生态足迹领域英文文献关键词时间线视图

mate change(气候变化)、#7 footprint family(足迹族)、#8 sustainable urban development(城市可持续发展)等;网络同质性分析表明,聚类#6 climate change在9个聚类中同质性最大为0.966,可见该聚类研究方向较为一致且研究热点集中。关键词时间线视图的结果表明:首先,这一领域关键词聚类热度一直持续的有#1 economic growth、#2 ecological networks analysis(生态网络分析)、#6 climate change和#7 footprint family,说明这些关键词是水资源生态足迹外文文献研究的热点方向和研究趋势;其次,#0 ecological deficit(生态赤字)生命周期最短,2013年起步,2017年以后逐渐趋冷;再次,#8 sustainable urban development的研究最初引起很大关注,但研究热度逐年有所下降;最后,#5 life cycle assessment(生命周期评估)的相关研究则一直影响力较弱。

3.2 热点突现词

研究热点是某一领域内关键词的最核心内容,代表着一组文献中出现次数较多且内在联系密切的研究主题[66]。本文通过分析水资源生态足迹关键词的词频增长率,进而识别重点突现词并了解这一领域的研究热点和发展趋势。

对2005—2020年水资源生态足迹领域中文文献进行热点突现分析,筛选出前11个关键词的强

度,详细结果列于表1。强度最高的突现词为“生态足迹”,实现强度高达22.209 4,远超于其他关键词,这一突现词生命周期最长,开始于2005年、结束于2013年,热点突现词的结束表明了生态足迹模型在水资源领域的应用进入成熟阶段。基于时间序列结果,2010年以前,突现词主要为生态足迹、生态承载力、水资源生态足迹、水资源、可持续发展、水资源承载力和可持续利用;2010年以后,突现词主要为生态赤字、生态盈余、LMDI模型和影响因素。生态足迹和生态承载力的持续时间最长。在2016—2017年,热点突现词不太明显,分析其原因主要为:2005—2015年,基于传统方法的区域水资源生态足迹核算研究在国内已经非常普遍;2016—2017年,正是水资源生态足迹方向研究挖掘创新点的准备期;2018—2020年,在传统水资源生态足迹核算的基础上结合LMDI模型进行影响因素的全面分析。

对2009—2020年水资源生态足迹领域英文文献进行热点突现分析,其热点突现词如表2所示。Ecological footprint(生态足迹)的突现强度最高,达到8.359 9,生命周期为2009—2013年,持续了5年;international trade(国际贸易)、resource(资源)等突现词的突现强度也较高,consumption(消耗量)的突现强度次之,但其生命周期是英文文献关键词中最长的,达到6年(2009—2014年);energy(能源)、framework(框架)、indicator(指标)、sustainability(持续性)等生命周期非常短,均为2年,进一步分析显示这些关键词的突现与当时的相关政策或重大事件的影响有关;ecological network analysis突现时间是2017—2020年,是国际水资源生态足迹近年来的最新热点问题,需要深入拓展和研究。从时间序列结果看,2010年及以前出现的突现词主要有ecological footprint、consumption和sustainability,其他热点突现词均出现在2010年之后。总体上,2009—2020年热点突现词的研究具有很好的连续

表1 2005—2020年水资源生态足迹领域中文文献的热点突现词

关键词	突现强度	开始年份	结束年份	2005—2020年
生态足迹	22.209 4	2005	2013	
生态承载力	4.912 6	2005	2013	
可持续发展	3.889 4	2008	2013	
水资源生态足迹	2.971 7	2006	2008	
水资源	2.707 8	2007	2010	
水资源承载力	2.254 8	2009	2012	
生态赤字	2.139 1	2011	2013	
LMDI模型	1.926 2	2018	2020	
生态盈余	1.907 9	2013	2015	
影响因素	1.870 5	2018	2020	
可持续利用	1.868 0	2009	2014	

注:线条代表不同年份;红色表示关键词突现的年份;蓝色表示该年度未出现关键词突现;LMDI为对数平均迪氏指数法。

表2 2009—2020年水资源生态足迹领域英文文献的热点突现词

关键词	突现强度	开始年份	结束年份	2009—2020年
ecological footprint	8.359 9	2009	2013	
international trade	5.216 0	2012	2016	
resource	3.608 8	2011	2013	
consumption	3.164 0	2009	2014	
energy	2.851 8	2013	2014	
biodiversity	2.662 1	2011	2014	
framework	2.571 0	2015	2016	
indicator	2.269 0	2013	2014	
ecological network analysis	2.232 8	2017	2020	
exergy	2.188 6	2014	2016	
land use	2.179 9	2015	2018	
sustainability	2.069 3	2010	2011	

性,说明英文文献对水资源生态足迹的研究更加持续和广泛。

4 讨 论

在全球资源环境日益变化的背景下,水资源生态足迹的研究具有重要价值。从文献信息来看,中文文献起步早于英文文献,二者发文量随时间变化均平稳上升,2017年之前,中文文献数量多于英文;2017年之后,英文文献发表量出现明显赶超之势。水资源生态足迹中文文献的核心研究机构为中国科学院、西南大学地理科学学院,机构合作网络相对较分散,英文文献的研究以中国科学院、北京师范大学为核心,机构相互联系更为紧密,合作网络良好。从文献的作者来看,中文文献的研究学者人数较多,核心作者凸显,形成了一定规模的研究团队,而英文文献的研究学者相对较少且以中国学者为主,且尚未形成核心作者群。从研究力量对比,中国、美国和荷兰等国家居于水资源生态足迹研究的主要地位。此外,通过高被引文献的计量分析表明,水资源生态足迹的研究在基础理论探究基础上,不断向研究方法、计算模型、指标改进和多区域分析角度推进,拓展了这一领域的研究视角。

中文文献水资源生态足迹的研究热点以生态承载力、生态足迹、水资源和水资源生态承载力等为主,中文文献的作者越来越关注水资源的可持续利用和发展,基于生态足迹衡量水资源可持续利用是定量测度和评价水资源生态承载力的重要理论和核算方法[19,60]。近些年,国家节水战略规划的提出,使水资源消耗得到有效控制,通过规划和监测加强水生态保护也为水资源生态足迹研究提供了重要方向[67]。英文文献水资源生态足迹的研究热点以经济增长、生态网络分析、气候变化和足迹群等为核心,并逐渐迁移至社会科学领域。从整体来看:2009—2014年是水资源生态足迹研究的繁盛期,所发表的文献数量多且影响力最高;研究内容更加注重生态足迹、生态赤字和水资源的生态可持续性等方面,重点在于水资源生态足迹基础理论及计算模型的分析[68]。同时,水资源生态足迹研究的根源在于探究水作为自然资源的全球维度,通过揭示水资源的生态网络、限制因素对经济增长和气候变化等的影响,以促进水资源的有效利用和保护[52]。

在中英文文献热点突现词分析中,强度最高且生命周期最长的热点突现词均为生态足迹,这表明生态足迹研究在水资源领域的应用进入成熟阶段。中文文献热点突现词表明基于生态足迹模型研究水资源生态足迹影响因素、评价区域水资源可持续利用和发展状况已成为热点研究领域[17,69],这对于研究资源环境关系及生态可持续问题具有重要意义;突现强度较高且生命周期较长的关键词有生态承载力和可持续发展等,说明在全球气候变暖、资源日益匮乏的背景下,生态承载力和可持续发展等议题成为学界共同关注的新热点;LMDI模型和影响因素等是新出现的突现词,根据国家水资源及生态领域的政策指向和现实需要,这些突现词预示着目前及未来国内水资源生态足迹领域的新方向;分析高被引文献中的高频词和突现词,表明中文文献研究热点和重点集中在生态足迹、水资源评价、可持续发展及利用和生态承载力等方面。英文文献的热点突现词研究表明:international trade、resource和consumption等突现词的突现强度较高,可见基于生态足迹理论研究水资源的消耗、供应和可持续利用已成为世界性的重要课题,水资源生态足迹研究对水资源管理和优化配置具有重要的理论和实践意义[49,70];energy、framework、indicator和sustainability等突现时间非常短;ecological network analysis是水资源生态足迹的最新热点问题[71-72]。总之,各个阶段水资源生态足迹的研究热点有一定的变化,但水资源生态足迹及其可持续发展仍是研究重点。

5 建 议

本文基于CiteSpace文献计量分析,综合水资源生态足迹中英文文献的研究现状,提出未来水资源生态足迹研究应重点关注的方面:

(1)加强水资源生态足迹的研究深度。目前水资源生态足迹理论模型的研究多集中于不同时空尺度生态足迹的测算。未来要在生态保护和可持续发展战略背景下,加强水资源生态足迹的理论研究。

(2)拓展水资源生态足迹的研究广度。应侧重不同尺度区域水资源生态足迹的计算和比较,加强水资源生态足迹影响因素的研究,并引入新技术或指标对水资源生态足迹研究方法加以改进和创新。

(3)促进水资源生态足迹研究内容的多元化、学科领域的交叉化。水资源生态足迹的研究不仅要关注生态保护,还要与社会经济发展相联系。今后的研究应不断加强地理学与环境学、生态学、经

济学等学科之间的交叉研究,实现水资源生态足迹在全球水资源开发、利用以及可持续发展领域的应用价值。

6 结束语

水资源是人类生存和社会发展不可替代的自然资源,是经济社会可持续发展的重要保障。本文基于水资源生态足迹的中英文文献进行了文献计量分析,为这一领域的研究现状和研究热点进行了详细梳理,有助于这一领域的研究者更好地了解水资源生态足迹的演进脉络和发展趋势。由于文献计量工具及研究范围的局限性,未来仍需不断丰富文献计量研究的角度,运用不同的文献计量工具、选用不同阈值制作知识图谱来进行水资源生态足迹研究的对比分析,在水资源生态足迹发文作者的学科领域、研究层次及实际应用上不断突破;此外,可以利用文献计量工具对不同学科领域进行更广泛的文献计量研究,深入梳理某一领域的研究现状和热点方向,为这一领域的研究者提供借鉴。

参 考 文 献

[1] REES W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity what urban economics leaves outs[J]. Environment & Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.

[2] WACKERNAGEL M, REES W. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996: 2-17.

[3] JENERETTE D G, MARUSSICH A W, NEWELL P J. Linking ecological footprints with ecosystem valuation in the provisioning of urban freshwater[J]. Ecological Economics, 2005, 59(1): 38-47.

[4] EWING R B, HAWKINS R T, WIEDMANN O T, et al. Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input-output framework[J]. Ecological Indicators, 2012(23): 1-8.

[5] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,等.水资源生态足迹计算方法[J].生态学报,2008,28(3):1279-1286.

[6] 王文国,何明雄,潘科,等.四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J].自然资源学报,2011,26(9):1555-1565.

[7] 张义.基于生态足迹模型的河池市水资源可持续利用评价[J].南水北调与水利科技,2013,11(4):26-30.

[8] 官冬杰,苏印,苏维词,等.贵州省水资源生态足迹评价与预测[J].重庆大学学报(自然科学版),2015,38(4):112-120.

[9] 于强,王金龙,王亚南.基于水资源足迹分析的河北省城镇化发展路径[J].经济地理,2014,34(11):69-73+106.

[10] 张义,张合平.基于生态系统服务的广西水生态足迹分析[J].生态学报,2013,33(13):4111-4124.

[11] 张义,张合平,李丰生,等.基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析[J].资源科学,2013,35(8):1601-1610.

[12] 张义.基于生态足迹模型的广西水资源利用评价[J].人民黄河,2014,36(2):58-61.

[13] 张义,覃勇荣,田米香.基于STIRPAT模型的河池市水资源可持续利用对策[J].考试周刊,2014(48):194-195.

[14] 张义,邹永福,李丰生,等.基于灰色神经网络模型的水资源生态足迹预测:以广西为例[J].人民长江,2017,48(1):37-42.

[15] 张义.基于生态足迹模型的桂中地区水资源可持续利用评价[J].水利发展研究,2017,17(4):19-23+46.

[16] 郑涛,弥智娟,谢银昌.云南省水资源生态足迹动态变化及驱动因素分析[J].人民珠江,2021,42(1):7-12+19.

[17] 贾陈忠,乔扬源,关格格,等.山西省水资源生态足迹时空变化特征及驱动因素[J].水土保持研究,2019,26(2):370-376.

[18] 邵骏,卢满生,杜涛,等.长江流域水资源生态足迹及其驱动因素[J].长江科学院院报,2021,38(12):19-24+32.

[19] 杨开忠,张子晔,刘翊,等.首都圈与长三角含水生态足迹差异比较研究[J].城市问题,2014(6):28-36.

[20] 王荣森,张宇舟,梁山雪.安徽省与江苏省水资源生态足迹比较分析[J].哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2017,19(2):106-110.

[21] 李杰,陈超美.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,2017.

[22] 曹永强,肖春柳,袁立婷.基于文献计量的新世纪中国自然地理学国际影响力分析[J].地理科学,2019,39(5):807-816.

[23] 孙艳芝,沈镭.关于我国四大足迹理论研究变化的文献计量分析[J].自然资源学报,2016,31(9):1463-1473.

[24] 曾昭.基于水足迹的水资源短缺评价[D].北京:北京林业大学,2014.

[25] 兰简琪,谢世友.基于生态足迹理论的青岛市水资源可持续分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2020,45(10):55-62.

[26] 张倩,谢世友.基于水生态足迹模型的重庆市水资源可持续利用分析与评价[J].灌溉排水学报,2019,38(2):93-100.

[27] 杨振华,苏维词,赵卫权.岩溶地区水资源与经济发展脱钩分析[J].经济地理,2016,36(10):159-165.

[28] 杨振华,苏维词,李威.岩溶地区典型城市水资源与经济发展脱钩分析[J].贵州科学,2016,34(5):32-38.
[29] 杨振华,苏维词,赵卫权,等.基于GRNN模型的岩溶地区城市水生态足迹分析与预测[J].中国岩溶,2016,35(1):36-42.
[30] XU J, XIAO Y, XIE G D, et al. Ecosystem service flow insights into horizontal ecological compensation standards for water resource: a case study in Dongjiang Lake Basin, China[J]. Chinese Geographical Science, 2019,29(2):214-230.
[31] HAO X P, ZHAO C S, LIU C M, et al. Assessment of water related ecological security under changing environment in China[J]. Environmental Engineering and Management Journal,2018,17(6):1399-1410.
[32] WANG Z Y, PENG D L, XU D Y, et al. Assessing the water footprint of afforestation in Inner Mongolia, China[J]. Journal of Arid Environments,2020,182(4):104257.
[33] GAO G Y, SHEN Q, ZHANG Y, et al. Determining spatio-temporal variations of ecological water consumption by natural oases for sustainable water resources allocation in a hyper-arid endorheic basin[J]. Journal of Cleaner Production,2018(185):1-13.
[34] ZHANG P, DENG M J, LONG A H, et al. Coupling analysis of social-economic water consumption and its effects on the arid environments in Xinjiang of China based on the water and ecological footprints[J]. Journal of Arid Land,2020,12(2):73-89.
[35] 周子琴,苏维词,郑群威.2007—2016年贵州省水资源生态足迹的演化特征[J].水土保持通报,2019,39(2):227-233+325.
[36] 郭晓娜,苏维词,杨振华,等.城乡统筹背景下重庆市水生态足迹分析及预测[J].灌溉排水学报,2017,36(2):69-75.
[37] 侯煐晨,谢世友.中小城市水资源生态足迹与生态承载力时空分析:以宿迁市为例[J].西南大学学报(自然科学版),2020,42(12):134-141.
[38] 熊娜娜,谢世友.成都市水资源生态足迹及承载力时空演变研究[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(6):124-131.
[39] 张勇,张治国,董晓辉,等.基于ARIMA模型的山西省水资源生态足迹时间序列分析[J].安徽农业科学,2016,44(22):53-55+59.
[40] 张勇,张治国,杜轶,等.山西省水资源生态足迹核算与预测研究[J].亚热带水土保持,2015,27(4):34-37.
[41] 杜轶,张治国,董晓辉,等.基于水资源生态足迹模型的水资源可持续性研究[J].山西水土保持科技,2015(4):15-17.
[42] 郭汉清,张治国,董晓辉,等.山西省水资源生态足迹动态分析[J].山西农业大学学报(自然科学版),2015,35(3):306-310.
[43] 焦士兴,陈林芳,王安周,等.中原城市群水资源生态足迹变化及驱动研究[J].人民黄河,2020,42(5):62-66.
[44] 焦士兴,王安周,陈林芳,等.河南省水生态足迹测度及其驱动效应分析[J].水文,2020,40(1):91-96.
[45] 焦士兴,张馨歆,王安周,等.水足迹视角下安阳市水资源利用与经济增长关系研究[J].中国农业资源与区划,2019,40(12):10-15.
[46] 孟丽红,丁之勇,李秀娟,等.基于生态足迹模型的赣南地区生态安全评价[J].安徽农业科学,2019,47(23):65-70.
[47] 孟丽红,李秀娟,王青芸,等.聚焦:江西省水资源生态足迹和生态承载力的空间分布[J].区域治理,2019(27):144-147.
[48] 孟丽红,叶志平,董书庆,等.可变模糊集理论在江西省水资源承载力评价中的应用[J].数学的实践与认识,2015,45(10):8-16.
[49] WANG H, HUANG J, FANG C L, et al. Analysis of sustainable utilization of water resources based on the improved water resources ecological footprint model: a case study of Hubei Province, China[J]. Journal of Environmental Management,2020,262(2):110331.
[50] YANG Y, CAI Z X. Ecological security assessment of the Guanzhong Plain urban agglomeration based on an adapted ecological footprint model[J]. Journal of Cleaner Production,2020(260):120973.
[51] HOEKSTRA A Y, WIEDMANN T O. Humanity's unsustainable environmental footprint[J]. Science, 2014,344(6188):1114-1117.
[52] HOEKSTRA A Y. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis[J]. Ecological Economics, 2008, 68(7):1963-1974.
[53] YU X M, GENG Y, DONG H J, et al. Emergy-based sustainability assessment on natural resource utilization in 30 Chinese provinces[J]. Journal of Cleaner Production,2016,133:18-27.
[54] DONG H J, FUJITA T, GENG Y, et al. A review on eco-city evaluation methods and highlights for integration[J]. Ecological Indicators,2016,60:1184-1191.
[55] DONG H J, GENG Y, FUJITA T, et al. Regional water footprint evaluation in China: a case of Liaoning[J]. The Science of the Total Environment,2013,442:215-224.
[56] FAN Y P, FANG C L. A comprehensive insight into water pollution and driving forces in Western China: case study of Qinghai[J]. Journal of Cleaner Production,2020,274(4):123950.

[57] FAN Y P, FANG C L. Assessing environmental performance of eco-industrial development in industrial parks[J]. Waste Management, 2020, 107: 219-226.

[58] LI M G, LI W R, XU Y Q, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of Bohai Coast Jing-Jin-Ji Regions[J]. Journal of Coastal Research, 2020(106): 414-418.

[59] YANG D Y, LI M G, WANG F, et al. Ecological footprint evaluation: an empirical study of the Bohai Coast of the Jing-Jin-Ji Region[J]. Journal of Coastal Research, 2020(106): 407-413.

[60] 谭秀娟,郑钦玉.我国水资源生态足迹分析与预测[J].生态学报,2009,29(7):3559-3568.

[61] 刘子刚,郑瑜.基于生态足迹法的区域水生态承载力研究:以浙江省湖州市为例[J].资源科学,2011,33(6):1083-1088.

[62] HOEKSTRA A Y, MEKONNEN M M, CHAPAGAIN A K, et al. Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water availability[J]. PloS One, 2012, 7(2): 32688.

[63] ZHANG C, ANADON L D. A multi-regional input-output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China[J]. Ecological Economics, 2014, 100: 159-172.

[64] HUBACEK K, GUAN D B, BARRETT J, et al. Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: ecological and water footprints[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(14): 1241-1248.

[65] 袁铁男,刘兴诏,聂晓嘉,等.国际城市森林研究知识图谱:基于CiteSpace V共被引分析[J].生态学报,2019,39(20):7780-7787.

[66] CHEN C M. Searching for intellectual turning points: progressive knowledge domain visualization[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2004, 101(1): 5303-5310.

[67] 马剑锋,秦腾,佟金萍.干旱区水资源生态足迹变动及影响因素的分析[J].统计与决策,2016(18):100-103.

[68] WEINZETTEL J, STEEN-OLSEN K, HERTWICH E, et al. Ecological footprint of nations: comparison of process analysis and standard and hybrid multiregional input-output analysis[J]. Ecological Economics, 2014, 101: 115-126.

[69] 晓兰,王丹丹,王塔娜,等.内蒙古东部地区水资源生态足迹比较分析[J].环境科学与技术,2016,39(7):193-199.

[70] LI J, LEI X, FU Q, et al. Multi-scale research of time and space differences about ecological footprint and ecological carrying capacity of the water resources[J]. Applied Water Science, 2018, 8(1): 22.

[71] LIU Y T, WANF S G, CHEN B. Water-land nexus in food trade based on ecological network analysis[J]. Ecological Indicators, 2019, 97(14): 466-475.

[72] WANG S G, LIU Y T, CHEN B. Multiregional input-output and ecological network analyses for regional energy-water nexus within China[J]. Applied Energy, 2017, 227: 353-364.

(责任编辑:王 媛)