

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2020.04.012

基于文献计量学的城市洪涝灾害研究可视化知识图谱分析

李雯¹, 姜仁贵^{1,2}, 解建仓¹, 赵勇², 朱记伟¹, 王尹萍¹

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: 采用文献计量学方法系统梳理城市洪涝灾害的研究现状、研究热点和发展趋势, 以期为城市洪涝灾害后续研究提供参考。基于 2008—2019 年 Web of Science 核心集数据库中城市洪涝灾害的相关文献, 采用 CiteSpace 和 SATI3.2 软件对城市洪涝灾害相关文献的年度频次、发文期刊、发文机构、主题词共现、文献共被引以及研究前沿进行分析。结果表明: 城市洪涝灾害的研究热点为气候变化和脆弱性等; 城市洪涝灾害相关文献的出版数量与被引频次均呈增长趋势; 从发文机构来看, 发文机构主要集中在高校; 影响、模型等主题词中心度较高, 说明这些研究主题在城市洪涝灾害研究中处于重要地位。随着城市洪涝灾害的关注度逐渐上升, 其研究视角趋向多元化, 城市洪涝灾害的风险管理、应急管理和信息管理将是未来的研究重点。研究结果可为城市防洪减灾与应急管理提供理论参考。

关键词: 城市洪涝灾害; 知识图谱; 文献计量学; 可视化; CiteSpace

中图分类号: G353.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2020)04-0523-07

Analysis of visual knowledge mapping of urban flood disaster research using bibliometrics

LI Wen¹, JIANG Rengui^{1,2}, XIE Jiancang¹, ZHAO Yong², ZHU Jiwei¹, WANG Yiping¹

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Bibliometrics is used to systematically summarize the research status, research hotspots and trends of urban flood disaster, so as to provide reference for the follow-up research of urban flood disaster. Papers related to the urban flood disaster in Web of Science (WoS) in the period of 2008 - 2019 were selected. The CiteSpace and SATI3.2 software were used to analyze the annual frequency of papers, publishing journals analysis, research institutions analysis, co-occurring subject terms analysis, literature co-citation analysis and research frontier analysis. Results showed that the research hotspot on urban flood disaster focuses mainly on climate change and vulnerability. The number of published papers and cited papers has risen. From the perspective of the publishing institutions, publishing institutions are mainly concentrated in colleges and universities. Subject terms such as "impact" and "model" have a high degree of centrality, which show that these research topics play an important role in urban flood disaster research. With the increasing attention on urban flood disaster, the research perspectives of urban flood disaster are gradually enriched and diversified. The risk management, emergency management and information management of urban flood disaster will be the focus of future research. The results provide

收稿日期: 2020-09-07; 网络出版日期: 2020-10-26

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.n.20201023.1739.004.html>

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0401409); 国家自然科学基金资助项目(51509201, 51679188); 陕西省青年科技新星资助项目(S2020-ZC-XXXM-0093)

第一作者: 李雯, 女, 硕士生, 研究方向为城市防洪减灾。E-mail: 185166402@qq.com

通信作者: 姜仁贵, 男, 博士, 副教授, 研究方向为城市防洪减灾与应急管理。E-mail: jrengui@163.com

theoretical reference for urban flood control and disaster reduction and emergency management.

Key words: urban flood disaster; knowledge mapping; bibliometrics; visualization; CiteSpace

近年来,全球气候变化影响下极端天气增加,城市化进程的加快进一步加剧了城市热岛和雨岛现象^[1-2],使得城市洪涝灾害事件发生频率和危害程度不断攀升,洪涝灾害已成为城市的主要灾害之一,制约着城市经济社会的可持续发展和城市居民的生产生活^[3-4]。变化环境下城市洪涝灾害问题日益突出,暴雨的突发性、洪涝的不确定性、损失的严重性都突显出城市洪涝灾害研究的紧迫性^[5-6]。

目前,诸多学者对城市洪涝灾害关键问题进行了研究。Qin H P等^[7]以中国某城市集水区为例,分析了水沟、透水路面和绿化屋顶这三种排水技术对城市洪涝的影响,并将其与传统排水系统设计进行了对比。Zhou J Y等^[8]为了使居民能直观了解内涝交通情况,建立了道路内涝时空可视化的空间粒度和时间粒度计算定量模型。Jiang J C等^[9]基于合成图像数据集训练的检测模型确定参考目标,以获得较好的内涝深度检测精度。姜仁贵等^[10]设计了城市内涝三维可视化应急管理信息系统,基于系统提供城市内涝预警、预测、预案等服务,并以西安市为研究区域开展实例应用。谢映霞^[11]对城市内涝灾害发生的原因进行深入分析,并提出构建大排水系统的概念。王颖等^[12]运用GIS技术研究海绵城市内涝灾害数值的可视化技术,为城市内涝的预防和控制提供可靠依据。这些研究成果对城市洪涝灾害的应对具有很大的促进作用。现有文献主要集中在如何对城市内涝进行模拟仿真^[13],而对城市洪涝灾害研究的综述较少,并且这些文献综述中定性分析占主体,因此本文采用文献计量、数据挖掘和知识图谱等定量方法和技术,基于已发表文献,系统梳理国内外研究进展,绘制相关文献可视化知识图谱,直观地揭示城市洪涝灾害研究进展及其发展趋势,为未来的城市洪涝灾害研究提供参考。

文献计量学是借助文献出版数量,采用数学与应用统计学相关方法来描述、评价和预测科学技术的现状与发展趋势的图书情报学分支学科。为了有效了解近年来城市洪涝灾害的研究态势,本文基于2008—2019年发表于Web of Science核心集数据库(WoS)的文献,系统剖析城市洪涝灾害研究进展,通过绘制相关的文献知识图谱,对抽象的文献数据进行可视化表示,采用文献计量学和应用统计学方法对相关文献的年度频次、发文期刊、发文机构、主题词共现、文献共被引以及研究前沿进行分析,采

用CiteSpace和SATI3.2等软件绘制城市洪涝灾害研究可视化知识图谱。通过系统梳理城市洪涝灾害的研究现状以及发展态势,可为进一步开展城市洪涝灾害研究提供参考。

1 数据与方法

1.1 数据来源

根据布拉德福定律,核心期刊集中了学科研究领域的核心文献。本文研究数据来源于美国科技信息所(Institute for Scientific Information, ISI)推出的Web of Science核心集数据库(WoS)。文献数据的检索式为TS=urban flood disaster,文献类型设定为Article,时间跨度为2008至2019年(见表1),经过文献题录信息统计分析工具SATI去重,得到有效文献491篇。

表1 文献检索标识

Tab. 1 Literature retrieval identification

标识	名称	WoS检索说明
Se	检索式	TS=urban flood disaster
Ts	时间跨度	2008—2019
Dt	文献类型	Article
Ds	数据来源	Web of Science 核心集数据库

1.2 研究方法

随着信息技术的发展,信息源越来越庞大,大数据分析软件被应用于各类学科领域,以便了解相关研究领域的学科研究方向、研究作者和机构等^[14]。文献分析是基于统计分析和计量分析方法,对出版文献进行研究的工具,能够使信息可视化,本文综合采用CiteSpace5.6可视化软件和SATI3.2软件进行文献计量分析和文献知识图谱的绘制。

Statistical Analysis Toolkit for Informetrics (SATI)是基于.NET平台利用C#编程语言开发出的文献题录信息统计分析工具,能够完成题录格式转换、字段信息抽取、信息频次统计和知识矩阵构建等四大功能^[15]。CiteSpace软件基于Java编程语言开发,具有强大的知识图谱绘制功能。CiteSpace是一种多元、分时和动态的可视化软件,结合了社会网络分析、关联规则分析等方法,可以通过知识图谱分析研究领域的发展动态,探析其主题的演变趋势、研究热点等。城市洪涝灾害知识量化分析流程如图1所示。

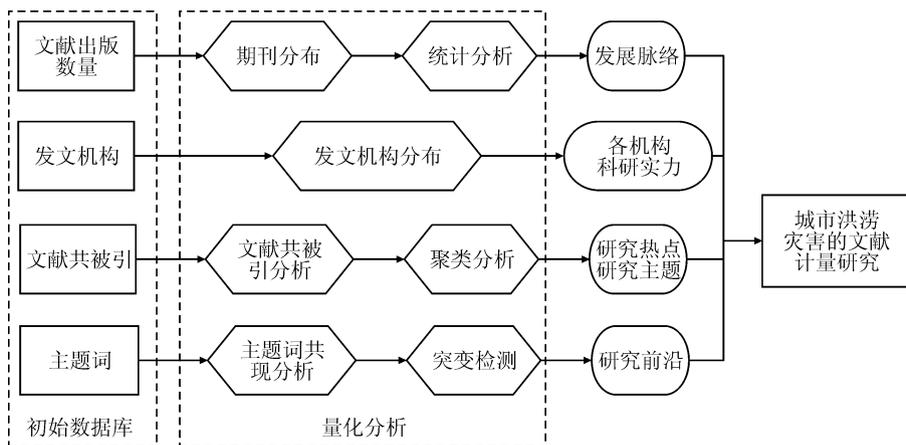


图1 城市洪涝灾害知识量化分析流程

Fig. 1 Quantitative analysis process of urban flood disaster knowledge

基于文献计量学和应用统计学相关方法,以检索到的 491 篇文献为城市洪涝灾害数据库,运用 SATI 提取来源期刊数据,进行期刊的统计分析。将文献数据库导入 CiteSpace 软件进行发展脉络分析、机构分布分析、主题词共现分析和研究前沿分析,对城市洪涝灾害研究的演进脉络、前沿热点及潜在问题进行文献计量的可视化分析,相关评价指标的选取说明如下。

1) 发展脉络。文献数量在一定程度上代表了学术界对该研究领域的关注度与重视度。利用 Web of Science 数据库中创建引文分析报告的功能可以得到文献出版数量以及文献被引频次,通过这些数据进行时序分布分析,可以推断出城市洪涝灾害研究领域的发展脉络。SATI 软件可以统计出文献期刊来源,根据期刊类型可以分析得出城市洪涝灾害研究主要分布在哪些学科。

2) 机构科研实力。利用在 Web of Science 数据库检索到的文献,在 CiteSpace 软件中进行发文机构分析,通过绘制发文机构共现知识图谱,得到城市洪涝灾害领域研究机构的文献发布数量等参数,以分析它们之间的合作关系。

3) 研究热点、研究主题。主题词是对文献研究内容的高度凝练,可通过高频主题词共现分析计算研究热点的分析指标。中心度能够体现主题词节点在某一研究领域中相对地位的重要性和连接性,用来测试高频主题词是否处于核心地位,体现节点在整体网络中的地位^[16]。中心度的分析采用中介中心度指标:

$$C_i(n_i) = \sum_j^n \sum_k^n g_{j,k}(i) / g_{j,k}, j \neq k \neq i, j < k \quad (1)$$

式中: i, j, k 为节点; $g_{j,k}$ 表示节点 j 到节点 k 的最短路径数量; $g_{j,k}(i)$ 表示节点 j 到节点 k 的最短路径中经过节点 i 的数量; $C(n)$ 为所求节点的中介中心度指标, n 为主题词节点数。

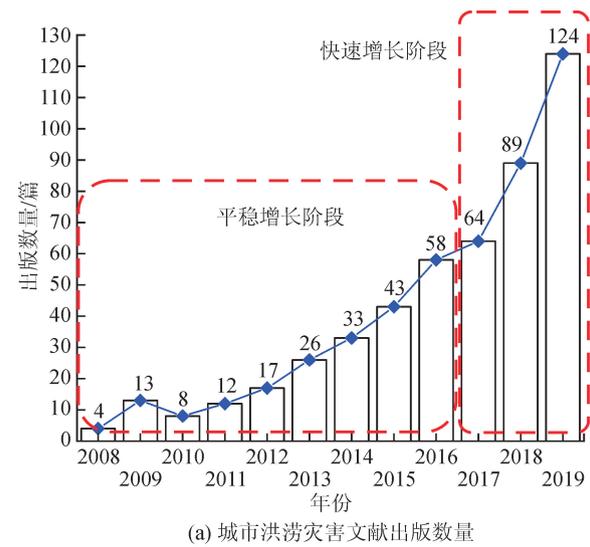
4) 研究前沿。“研究前沿”的概念是用来揭示研究领域的动态演化,将特定领域内一组突发的概念定义为“研究前沿”。利用 CiteSpace 的词频探测技术,通过对主题词的时间分布进行分析,筛选出频次变化率较高的主题词,根据词频的变动趋势确定前沿领域和发展趋势。

2 结果与分析

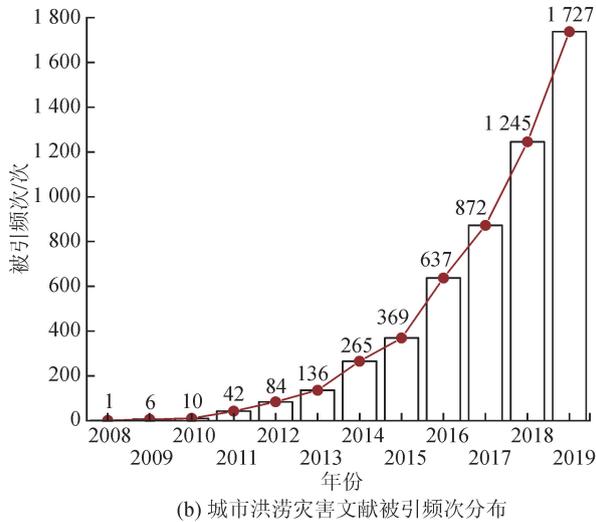
2.1 文献量时序分布分析

根据 Web of Science 数据库中的引文分析报告可知:文献出版数量共计 491 篇,平均每年出版 41 篇,被引频次共计 5 404,平均每年引用次数为 450,具体分布情况如图 2 所示。

由图 2 可知,城市洪涝灾害相关文献的出版数量与被引频次在 2008—2019 年均呈上升态势,说明关于城市洪涝灾害的研究在不断增加,研究体系构建稳步推进。城市洪涝灾害研究分为平稳增长、快速增长两个发展阶段。平稳增长(2008—2016 年):该阶段发文量在刚开始呈波动增长且发文量较低,随后持续增长,年际差异较小。快速增长(2017—2019 年):该阶段发文量的增幅明显高于第一个阶段,其中阶段分隔点是 2017 年。出版文献数量于 2019 年达到最高峰,为 124 篇,说明有关城市洪涝灾害的研究一直备受专家学者的关注;2008—2019 年文献被引频次呈显著增长趋势,增幅高达 99.9%。通过以上分析可知,城市洪涝灾害研究目前仍然广受关注,具有较好的研究前景。



(a) 城市洪涝灾害文献出版数量



(b) 城市洪涝灾害文献被引频次分布

图2 城市洪涝灾害文献出版数量与文献被引频次分布
Fig. 2 Time sequence of all articles on water ecological environment protection in WoS

运用 SATI3.2 软件提取期刊来源数据。排名最高的期刊为《Natural Hazards》，发文数量为 56 篇；排名第二的期刊为《International Journal of Disaster Risk Reduction》，发文量为 54 篇；第三是《Water》，发文量为 32 篇。期刊主要涉及自然灾害、水文学和环境科学等方面，多学科交叉。

2.2 发文机构分析

为了进一步了解发文机构在城市洪涝灾害领域的研究状态和实际贡献，将各研究机构的发文量进行统计。以 491 篇文献为基本信息，在 CiteSpace 软件中，将网络节点设置成 Institution，阈值设置为 Top 30，网络裁剪选择 Minimum Spanning Tree (MST 最小树)算法，MST 的优点是运算简捷，能较快地计算出结果，时间跨度选择 2008 至 2019 年，考虑到用文献数据分段处理更利于提升软件的运行速

度和准确性，将时间切片设为 1 年，也就是分成 12 个时段进行分析，运行得到文献数量所在机构分布情况，如图 3 所示。

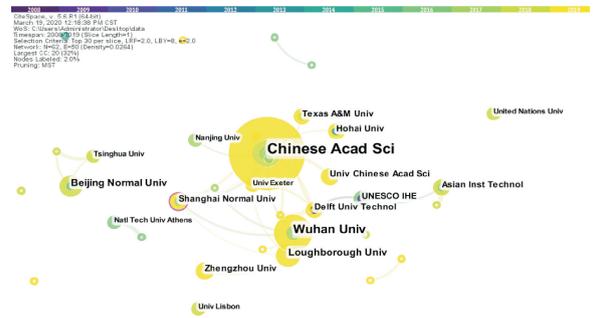


图3 发文机构分布知识图谱

Fig. 3 Distribution knowledge map of institutions

从图中可以看出，城市洪涝灾害研究在 Web of Science 核心集数据库中共涉及 62 个机构，发文机构主要集中在高校且相对集中，中国科学院 (Chinese Acad Sci) 在该领域的研究发挥着举足轻重的作用。从地理分布来看，发文机构主要分布在中国，其次是英国；从网络合作来看，各研究机构之间存在着一定的合作关系。

2.3 主题词共现分析

利用 CiteSpace 软件进行主题词共现分析，根据时间序列捕获某些区域的快照，可以推断研究领域的研究方向、趋势变化以及研究特点。将 491 篇文献的基本信息转入 CiteSpace 中进行主题词分析，运行并合并同义词后得到主题词共现图谱，如图 4 所示。

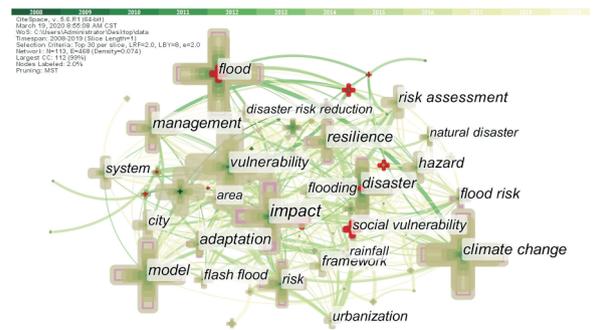


图4 主题词共现知识图谱

Fig. 4 Co-occurring knowledge map of subject terms

共现图谱密度是通过 CiteSpace 软件基于文献数据分析后计算得出的，从图 4 中可以看出图谱密度为 0.074，表明主题词共现图谱较为稀松，研究方向趋于分散。图中共有 113 个节点，连接线 468 条，取频次较高的 20 个主题词，利用 CiteSpace 软件得到其相关信息，如表 2 所示。

表2 前20个主题词
Tab.2 Top 20 subject terms

频次	中心度	年份	主题词
92	0.15	2009	flood
92	0.12	2012	climate change
86	0.08	2009	vulnerability
76	0.27	2009	impact
75	0.20	2013	model
67	0.17	2009	disaster
52	0.11	2010	risk
52	0.13	2012	management
46	0.12	2014	resilience
46	0.05	2008	GIS
36	0.08	2014	risk assessment
34	0.08	2013	hazard
33	0.10	2013	system
31	0.11	2012	adaptation
28	0.06	2014	city
23	0.12	2016	social vulnerability
23	0.08	2014	framework
23	0.06	2012	natural disaster
22	0.00	2013	urban
22	0.11	2014	flood risk

分析主题词共现图谱和表2可以看出,除检索主题词外,气候变化(climate change)、脆弱性(vulnerability)、模型(model)、灾害(disaster)、风险(risk)等节点较大,说明这些主题词出现频次较高,代表了城市洪涝灾害的研究热点。影响(impact)、模型(model)、灾害(disaster)^[17-18]等主题词节点的中心度较高,说明这些研究主题在城市洪涝灾害研究中处于重要地位,是研究热点的“桥梁”。灾害(disaster)、社会脆弱性(social vulnerability)等节点中心为红色,代表了城市洪涝灾害研究领域的未来发展趋势。

2.4 文献共被引分析

共引文献是指与文献有共同研究内容、相同参考文献的文献,在科学图谱中共引文献包含了大量的科学知识。通过共引文献可以有效展开对城市洪涝灾害研究领域知识结构等方面的研究。文献的被引数量是衡量学术影响力的一个重要指标,能够通过文献追溯学科领域的研究演变进程。共引文献的数量越多,说明文献间的相关性越大。文献共被引分析是对共引文献做相关分析。在CiteSpace中将网络节点设置为Reference,得到文献共被引网络图谱,如图5所示。

文献共被引知识图谱中,节点越大表示被引用次数越多,图中最上层的颜色代表相应年份文献展示在实施图谱中,其中有些节点其年份对应颜色的最外层还存在紫红色圈,它代表了节点中心度,例如Balica S F(2012)节点,紫红色圈层越厚,代表文献的重要性越

强。通过对图谱的关键节点进行分析可以看出,图中有两个较大节点,说明这两篇文章被引次数较多,对城市洪涝灾害研究领域的影响较大。这两篇文章的作者分别为Balica S F和Stefanidis S,被引频次最高的是Balica S F于2012年发表在《Natural Hazards》期刊上的文章,该文通过建立沿海城市洪水脆弱性指数(CCFVI),论证了哪些城市更容易受到沿海洪灾的影响^[19]。在文献共被引网络图谱的基础上,对文献进行聚类分析,聚类结果如图6所示。

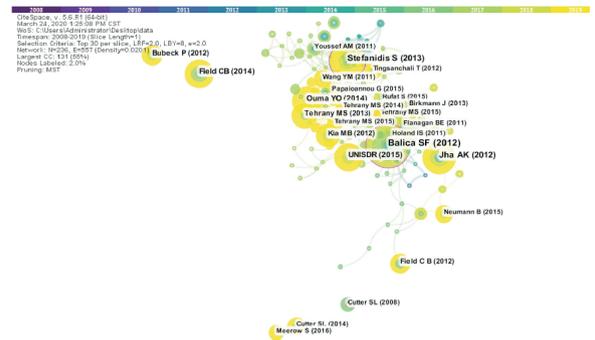


图5 文献共被引网络知识图谱

Fig.5 Co-citation knowledge map of literature

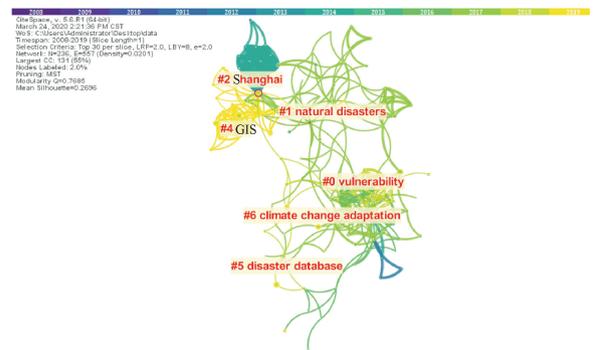


图6 共被引文献研究主题聚类知识图谱

Fig.6 Co-cited literature clustering map

由图6可知,网络节点数量为236个,利用聚类模块值(Modularity, Q值)和聚类平均轮廓值(Silhouette, S值)对聚类结果进行评估。一般而言, Q值在[0,1)区间内,当 $Q > 0.3$ 意味着划分出来的社团结构是显著的^[20]。由图6可知, $Q = 0.7685 > 0.3$,说明该聚类结果所划分出的社团结构是显著的。进一步分析可知,聚类得到#0、#1、#2、#3、#4、#5、#6共7个聚类,由于轮廓值(Silhouette)太小, #3并未显示出来,可忽略不计。因此,根据被引文献,可将城市洪涝灾害划分为6个研究类别:脆弱性(vulnerability)、自然灾害(natural disaster)、上海(Shanghai)、地理信息系统(GIS)、灾害数据库(disaster database)和气候变化适应(climate change adaptation)。脆弱性^[21]、气候变化适应或为该领域的

主要研究方向;地理信息系统^[22]、灾害数据库或为该领域的主要研究方法和手段;自然灾害、上海^[23-24]或为该领域的较常出现的节点内容。

2.5 研究前沿分析

通过主题词突现分析,检测出11个主题词发生了突现,结果如表3所示。突现强度高的主题词为该研究领域的新兴热点方向。进一步分析可知,突现强度最高的词为灾害(disaster),突现强度为6.203 2,其次是模拟仿真(simulation),突现强度为4.620 2,说明2008—2013年,城市洪涝灾害研究更多的是对其进行模拟仿真。社会脆弱性(social vulnerability)、自然灾害(natural hazard)、灾害指标(hazard index)的突现时间均为2017—2019年,或将成为城市洪涝灾害未来的研究热点。总体来看,2008—2019年这12年间,城市洪涝灾害的研究视角较为丰富。

表3 高频突现主题词

Tab.3 Subject terms with the strongest citation bursts

突现主题词	强度	开始年份	结束年份	2008—2019年
simulation	4.620 2	2008	2013	
flood	5.192 4	2009	2014	
disaster	6.203 2	2009	2013	
health	2.958 1	2013	2015	
river	2.910 4	2014	2015	
remote sensing	2.639 2	2015	2016	
social vulnerability	2.803 1	2017	2019	
China	4.448 8	2017	2019	
hazard index	2.606 0	2017	2019	
natural hazard	2.638 8	2017	2019	

注:红色线段对应主题词发生突现的持续时间;蓝色线段为研究期间不发生突现的其他时段。

3 结论

1) 自2008年以来,学术界对城市洪涝灾害研究的关注度逐渐增加,目前该领域备受关注,产生了较多新的研究热点。期刊种类主要集中在自然灾害、水文学和自然科学等方面,呈现出多学科交叉的特点。预计未来城市洪涝灾害的研究热度将持续增长。文献第一作者所在研究机构多集中在高校,(中国科学院的发文量最高),且各发文机构存在较大差异,研究团队较为分散。未来各研究机构应该加强团队协作,以形成更多创新性的研究成果。

2) 气候变化和脆弱性等主题词出现频次较高,代表了城市洪涝灾害的研究热点。影响、模型等主题

词中心度较高,说明这些研究主题在城市洪涝灾害研究中处于重要地位。通过突现分析可知,近年来,城市洪涝灾害的研究视角较为丰富,城市洪涝灾害的风险管理、应急管理和信息管理将是未来的研究方向。

3) 城市洪涝问题日益凸显,而当前文献主要集中在特征分析和模拟仿真等方面,针对成因复杂、突发频发的城市暴雨洪涝问题,如何科学应对是关键。“海绵城市”建设和对城市排水管网进行改造是从工程措施的角度探索城市暴雨洪涝问题的解决途径;从非工程措施的角度,可通过构建预估、预测、预报、预警、预案一体化的城市洪涝集成应对模式来增强城市防御洪涝灾害的能力,提升城市暴雨洪涝应急管理水平,从而最大限度地减少城市暴雨洪涝灾害损失。

参考文献:

- [1] 解建仓,李波,柴立,等. 对应对城市洪涝问题的一些认识[J]. 西安理工大学学报, 2015, 31(1): 25-33.
XIE Jiancang, LI Bo, CHAI Li, et al. Some realizations of dealing with the urban flood disaster problems[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2015, 31(1): 25-33.
- [2] 姜仁贵,解建仓. 城市内涝的集合应对体系[J]. 水资源保护, 2017, 33(1): 17.
- [3] 姜仁贵,王小杰,解建仓,等. 城市内涝应急预案管理研究与应用[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 146-150.
JIANG Rengui, WANG Xiaojie, XIE Jiancang, et al. Research on the urban waterlogging emergency preplan management[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 146-150.
- [4] 曹睿娟,姜仁贵,解建仓,等. 基于大数据的城市内涝网络舆情监测及演化机理[J]. 西安理工大学学报, 2020, 36(2): 151-158.
CAO Ruijuan, JIANG Rengui, XIE Jiancang, et al. Monitoring the internet public opinion and evolution mechanism for urban waterlogging using big data[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2020, 36(2): 151-158.
- [5] 姜仁贵,韩浩,解建仓,等. 变化环境下城市暴雨洪涝应对新模式研究[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 12-17.
JIANG Rengui, HAN Hao, XIE Jiancang, et al. The new response mode of urban storm flood under changing environment[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(3): 12-17.
- [6] XU H S, MA C, LIAN J J, et al. Urban flooding risk assessment based on an integrated k-means cluster algorithm and improved entropy weight method in the region of Haikou, China[J]. Journal of Hydrology, 2018, 563: 975-986.
- [7] QIN H P, LI Z X, FU G T. The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics[J]. Journal of Environmental Manage-

- ment, 2013, 129: 577-585.
- [8] ZHOU J Y, SHEN J, ZANG K Y, et al. Spatio-temporal visualization method for urban waterlogging warning based on dynamic grading [J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2020, 9(8): 1-18.
- [9] JIANG J C, QIN C Z, YU J, et al. Obtaining urban waterlogging depths from video images using synthetic image data[J]. Remote Sensing, 2020, 12(6):1014.
- [10] 姜仁贵, 杨思雨, 解建仓, 等. 城市内涝三维可视化应急管理信息系统[J]. 计算机工程, 2019, 45(10): 46-51.
- JIANG Rengui, YANG Siyu, XIE Jiancang, et al. Three-dimensional visualization emergency management information system of urban waterlogging [J]. Computer Engineering, 2019, 45(10): 46-51.
- [11] 谢映霞. 从城市内涝灾害频发看排水规划的发展趋势[J]. 城市规划, 2013, 37(2): 45-50.
- XIE Yingxia. Development of drainage planning in view of frequent urban waterlogging disasters[J]. City Planning Review, 2013, 37(2): 45-50.
- [12] 王颖, 王强国. 基于 GIS 技术的海绵城市内涝灾害数值可视化研究[J]. 灾害学, 2020, 35(2): 70-74.
- WANG Ying, WANG Qiangguo. Study on numerical visualization of waterlogging disaster in sponge city based on GIS technology [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(2): 70-74.
- [13] 胡文燕, 李梦雅, 王军, 等. 暴雨内涝影响下的城市道路交通拥挤特征识别[J]. 地理科学进展, 2018, 37(6): 772-780.
- HU Wenyan, LI Mengya, WANG Jun, et al. Urban traffic congestion caused by rainstorms and inundation [J]. Progress in Geography, 2018, 37(6): 772-780.
- [14] VASUDEVAN R K, ZIATDINOV M, CHEN C, et al. Analysis of citation networks as a new tool for scientific research [J]. MRS Bulletin, 2016, 41(12): 1009-1015.
- [15] 刘启元, 叶鹰. 文献题录信息挖掘技术方法及其软件 SATI 的实现——以中外图书情报学为例[J]. 信息资源管理学报, 2012, 2(1): 50-58.
- LIU Qiyuan, YE Ying. A study on mining bibliographic records by designed software SATI: case study on library and information science[J]. Journal of Information Resources Management, 2012, 2(1): 50-58.
- [16] 毛文山, 赵红莉, 蒋云钟, 等. 基于文献计量学的国内水生态环境研究知识图谱构建与应用[J]. 水利学报, 2019, 50(11): 1400-1416.
- MAO Wenshan, ZHAO Hongli, JIANG Yunzhong, et al. Construction and application of knowledge graph of domestic water eco-environment based on bibliometrics [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019, 50(11): 1400-1416.
- [17] 吴彦成, 丁祥, 杨利伟, 等. 基于 InfoWorks ICM 模型的陕西省咸阳市排水系统能力及内涝风险评估[J]. 地球科学与环境学报, 2020, 42(4): 552-559.
- WU Yancheng, DING Xiang, YANG Liwei, et al. Evaluation of drainage system capacity and waterlogging risk in Xianyang City of Shaanxi Province based on InfoWorks ICM model [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2020, 42(4): 552-559.
- [18] 曾照洋, 赖成光, 王兆礼, 等. 基于 WCA2D 与 SWMM 模型的城市暴雨洪涝快速模拟[J]. 水科学进展, 2020, 31(1): 29-38.
- ZENG Zhaoyang, LAI Chengguang, WANG Zhaoli, et al. Rapid simulation of urban rainstorm flood based on WCA2D and SWMM model [J]. Advances in Water Science, 2020, 31(1): 29-38.
- [19] BALICA S F, WRIGHT N G, VAN DER MEULEN F. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts [J]. Natural Hazards, 2012, 64(1): 73-105.
- [20] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- CHEN Yue, CHEN Chaomei, LIU Zeyuan, et al. Methodological functions of CiteSpace knowledge maps [J]. Studies in Science of Science, 2015, 33(2): 242-253.
- [21] 王思思, 于迪, 车伍. 国际城市暴雨内涝脆弱性评估和适应性对策研究[J]. 城市发展研究, 2015, 22(7): 23-26.
- WANG Sisi, YU Di, CHE Wu. Urban waterlogging vulnerability assessment and adaptive strategy research [J]. Urban Development Studies, 2015, 22(7): 23-26.
- [22] 徐艺扬, 李昆, 谢玉静, 等. 基于 GIS 的城市内涝影响因素及多元回归模型研究——以上海为例[J]. 复旦学报(自然科学版), 2018, 57(2): 182-198.
- XU Yiyang, LI Kun, XIE Yujing, et al. Studies on the influencing factors and multiple regression model of urban waterlogging based on GIS: a case of Shanghai, China [J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2018, 57(2): 182-198.
- [23] 李海宏, 吴吉东. 2007—2016 年上海市暴雨特征及其与内涝灾情关系分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(12): 2136-2148.
- LI Haihong, WU Jidong. Rainstorm characteristics and its relationship with waterlogging disaster in Shanghai during 2007-2016 [J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(12): 2136-2148.
- [24] 黄清雨, 董军刚, 李梦雅, 等. 暴雨内涝危险性情景模拟方法研究——以上海中心城区为例[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(4): 506-513.
- HUANG Qingyu, DONG Jungang, LI Mengya, et al. Research on the scenario simulation method of rainstorm waterlogging hazard: a case study in the central urban area of Shanghai [J]. Journal of Geo-information Science, 2016, 18(4): 506-513.