

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2020353

曹永强,路洁.国内外气象干旱研究现状与前沿分析[J].中国防汛抗旱,2021,31(3):1-7.CAO Yongqiang,LU Jie.Research status and frontier analysis of meteorological drought at domestic and abroad[J].China Flood & Drought Management,2021,31(3):1-7.(in Chinese)

国内外气象干旱研究现状与前沿分析

曹永强 路洁

(辽宁师范大学地理科学学院,大连116029)

摘要:基于Web of Science(WOS)核心数据库和中国知网(CNKI)中有关气象干旱的文献,利用CiteSpace可视化软件,采用关键词词频分析、时区演化、共被引分析及引文网络结构变换等方法,综合分析国内外气象干旱研究热点、研究前沿演化趋势并对未来发展趋势进行预测。研究表明:①国际气象干旱领域主题呈现多元化趋势,包括气象干旱指标的建立、干旱气候变化、干旱成因等多个方面,各主题之间联系密切;国内研究主题主要集中在干旱指标的建立,相关热点之间的联系呼应较弱。②国外率先对于旱成因和驱动机制进行研究,国内近几年的研究相对较少且不够深入,研究内容有所固化。③通过引文网络结构变换方法,预测出具有潜在影响力的文献包括BACHMAIR S(2016)和VAN LOON,ANNE F(2015)等,主题包括SPEI(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)、Drought severity indices和Dendroclimatology等。通过对比国内外可视化图谱,浅析国内外发展差异,可为我国干旱方面未来研究方向提供借鉴。

关键词:气象干旱;CiteSpace软件;知识图谱;可视化分析

中图法分类号:S421

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2021)03-01-07

0 引言

近年来,全球环境变化导致气象灾害频繁发生,其中旱灾影响范围广、造成的社会经济损失大,被认为是最严重的气象灾害之一^[1]。干旱是由水分收支不平衡造成的水分持续短缺现象^[2-3],引起干旱事件发生的因素很多,自然因素包括大气环流异常、气候波动、气候因子变化及其协同作用,此外还受土壤墒情、作物抗旱能力不同的影响;人类活动主要通过干预土地覆盖状况,改变地表反射率,导致区域间能量水分交换不同进而引发干旱^[4]。由于干旱影响对象和形式的不同,将干旱分为气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱4种^[5]。无论是农业干旱还是水文干旱,从本质上讲都是气象干旱的影响结果,比气象干旱发生得晚,可以通过

气象干旱监测做到提前预警。在全球气候变化大背景下,旱灾发生日趋频繁,已引起国内外社会的高度重视,对气象干旱的研究逐渐增多,相应的文献数量也持续增多。

国内外针对气象干旱研究综述的成果也很多^[6-8],但大多是对气象干旱成果进行梳理,鲜有国内外的对比研究且运用传统文献梳理的方式很难达到了解国内外气象干旱的研究热点、发展趋势及两者发展异同的目的,鉴于此,筛选Web of Science(WOS)核心数据库和中国知网(CNKI)中的相关文献,借助CiteSpace可视化软件,运用词频分析、时间演化及引文网络结构变化等方法,对国内外气象干旱的研究热点、演化趋势进行对比,提出未来发展趋势,总结、反思我国现有研究中存在的不足,以期后续研究提供参考。

收稿日期:2020-12-28

第一作者信息:曹永强,男,教授,E-mail:caoyongqiang@lnnu.edu.cn。

基金项目:国家自然科学基金项目(52079060、51779114);辽宁省重点研发计划项目(2020JH2/10200043)。

1 数据来源与分析工具

1.1 数据来源

本文数据源于CNKI及WOS核心数据库,检索时间为2020年3月9日,对检索结果去重、整理,删除报告、会议等形式的文章,最终筛选结果如表1所示。

表1 数据来源

项目	数据库	
	WOS核心数据库	CNKI
检索方式	Topic=Meteorological drought	主题=气象干旱
检索时间段	2000—2020年	2000—2020年
文献类型	Article	期刊论文
检索结果/篇	2 977	634

1.2 分析工具

CiteSpace是由陈超美教授基于Java应用程序开发的,用于计量分析,显示研究发展进程和结构关系的可视化分析软件^[9]。本文借助CiteSpace5.5R2中的CNKI和WOS板块提取气象干旱研究领域关键词,绘制突现词图谱和时间线图,此外,在文献共被引分析基础上,引入引文网络结构变换模型^[10],包括两个计量指标:模式性变化率(ΔM)和中心性分散度(ΔCkl),检测知识基础网络变换情况。

2 研究热点分析

关键词是掌握文章信息的关键,因此对高频关键词进行分析可以了解研究领域的热点问题。对国内外有关气象干旱检索文献中的关键词进行分析,得到气象干旱关键词共现知识图谱(图1)。国内外气象干旱研究热点有重合部分,主要集中于气候变化对干旱的影响、气候干旱指标的建立、干旱成因和驱动机制及干旱与植被生长、作物发育之间互馈关系等方面。

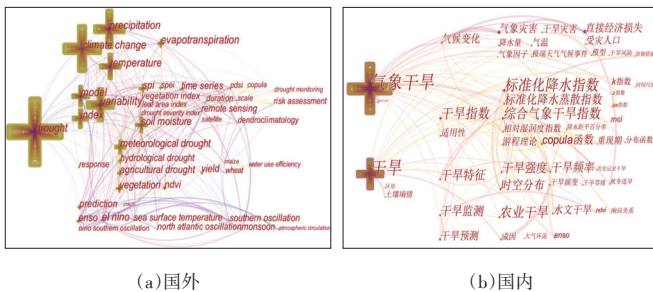


图1 2000—2020年气象干旱领域及关键词知识图谱示意图

(1)干旱气候变化研究。国内外知识图谱中都出现气候变化(climate change)、降水量(precipitation)及温度(temperature)等关键词。近年来,全球气候变暖导致大气环流发生异常,同时极端降水事件也频繁发生,受气候变化影响,由水分亏缺造成的高温干旱事件发生概率和强度也有不同程度的增多。因此,研究气候变化对干旱的影响是采取相应措施应对干旱的前提。降水量减少是其重要原因,前期研究主要集中于通过降水量的减少反应区域干旱事件的发生,随着研究的不断深入,发现降水量减少不是唯一因子,因此后续研究逐渐考虑了降水、温度及蒸散量等气候因子的作用,即着重研究气候变化对干旱的影响。

(2)气象干旱指标的建立。国内外知识图谱中都出现标准化降水蒸散指数(SPEI)、标准化降水指数(SPI)及土壤相对湿度指数(soil moisture)等关键词,说明气象干旱指标的建立一直都是气象干旱领域的研究热点。20年来,国外运用的干旱指标主要包括McKee等^[11]建立的SPI、Vicente-Serrano^[12]提出的SPEI及土壤相对湿度指数等。通过对不同地区干旱指数计算,可以反映某地区干旱时空演变特征,实现干旱的预警预测。不同地区其干旱特征有差异,因此对某一地区干旱指数适应性的研究也成为一个问题。

(3)干旱和植被生长的互馈关系。国内外知识图谱中都出现归一化植被指数(NDVI)、农业干旱(agriculture drought)等关键词。气象干旱事件的发生对生态环境的负面影响非常显著,其中植被生长发育会受到干旱的制约,植被的减少又会导致土壤含水量下降,降水量减少导致水土流失、土壤沙化等一系列生态问题和干旱事件的发生,因此探讨干旱和植被之间的关系成为一个热点问题。

(4)干旱成因及预测。国内外知识图谱中都出现厄尔尼诺—南方涛动和拉尼娜(ENSO)、大气环流(atmospheric circulation)等关键词。深入认识干旱成因和驱动机制对未来干旱预测有重要的意义。目前关于干旱的成因主要集中于气候因素和人类活动两个方面,气候因素主要包括海温变化引起的大气环流异常,最著名的是ENSO事件、Hadley环流(处于气流下沉区,气候干旱)、全球变暖使干旱化加剧以及沙尘气溶胶的作用等。人类活动主要表现为人类过度开垦等不合理活动,造成地表裸露、土地沙化、地表反射

率增强、大气气压增强、空气必须下沉维持热平衡、降水减少干旱加剧。

从国内外知识图谱来看,国际气象干旱关键词多,研究领域主题呈现多元化趋势,形成以气象干旱监测为基础,多元主题相互发展的知识体系,而国内研究热点数量偏少,研究主题仅集中于干旱和气象干旱,还未形成有规模的研究热点,相关热点之间的联系呼应较弱,表明我国气象干旱的研究还处于吸收阶段,发展缓慢,有待进一步探索。

从国内外研究内容来看,国外气象干旱研究热点主要集中在气象干旱指标的建立、干旱气候变化、干旱成因等多个方面;国内则对干旱指标研究较为深入,包括SPI、SPEI、综合气象干旱指数(CI)等,运用这些指数进一步分析区域气象干旱的时空演变特征,以达到干旱监测的目的。

3 研究热点演化过程

3.1 国外气象干旱研究热点演化

研究前沿为某时间段内研究领域突然出现的最先进和具有发展潜力的研究热点问题。突现词是指在短时间关键词频次突然增加或频次增长率突然提高的研究主题词,其突现强度值和突现期可以反映研究前沿的演化趋势。在CiteSpace中对国外气象干旱领域20年来关键词进行分析,得到关键词突现图谱和关键词时序图谱(图2)。

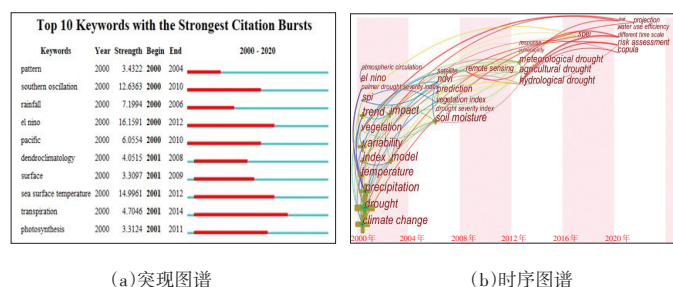


图2 2000—2020年国际气象干旱领域关键词突现图谱和时序图谱

国外气象干旱领域研究演化主要分为以下3个阶段:

(1)2000—2004年。出现大量的高频关键词,其中具有代表性的有干旱(drought)、气候变化(climate change)、降水量(precipitation)等,突变分析中,蒸散发(transpiration)是突现时间最长的关键词,蒸散发是地表水热平衡的重要参量,对作物需水估算及农田灌溉管理意义重大,与区域

干旱和农业生产密切相关,因此,蒸散发与干旱之间的关系一直是国外干旱领域的研究热点。此外,在这一时间段突现强度高的关键词主要包括南方涛动(southern oscillation)、海面温度(sea surface temperature)、厄尔尼诺(el nino)等,说明众多学者在研究干旱气候变化基础上,正尝试进一步探讨干旱的成因和驱动机制^[13-14]。

(2)2005—2016年。根据高频关键词看,这一阶段正在探索气象干旱和其他类型干旱之间的相关性,其中具有代表性的关键词有气象干旱(meteorological drought)、农业干旱(agricultural drought)、水文干旱(hydrological drought)等,此外,还出现了遥感(remote sensing),遥感具有覆盖范围广、分辨率高、数据易获取的优点,因此运用遥感监测干旱已成为当时研究的重要手段。在这一时间段出现的突现词还包括年轮气候学(dendroclimatology),说明众多学者已注意到树轮对气候变化的响应,并将树木年轮数据与干旱指数进行结合重建,以期揭示某区域过去干旱变化规律及机制,为区域水资源可持续利用提供科学参考。

(3)2017—2020年。出现了一些新颖关键词如SPEI、风险评估(risk assessment)、copula函数等。Vicente-Serrano^[12]研究全球干旱分布状况时,在SPI基础上提出标准化降水蒸散指数,不仅综合考虑了对降水和蒸散发的响应,还从多时间尺度进行计算,适用性好,是现阶段最常用的气象干旱指标。此外,干旱灾害风险评估主要包括危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力等指标,是目前进行干旱监测的重要依据。

3.2 国内气象干旱研究热点演化

按照相同的方法对国内20年来气象干旱文献进行分析,得到关键词突现图谱和时序图谱(图3),由图3可以发现,国内高频关键词的出现主要集中于2008—2016年,在这一时间段国内运用干旱指数分析某区域干旱时空演变

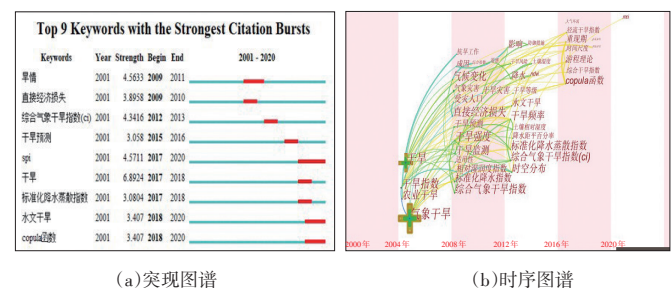


图3 2000—2020年国内气象干旱领域关键词突现图谱及时序图谱

和特征的研究较多,在常用的干旱指数中,CI是国家监测干旱的标准,它将标准化降水指数和相对湿润度指数结合在一起,可以同时反映降水量和水分亏缺情况,对干旱动态监测具有重要作用^[15-17]。此外,SPEI实现时间最长,鉴于其多尺度及计算简便的优点,在国内应用也相当广泛。与这一主题相关的还包括直接经济损失、受灾人口等,且突现强度也大,这是由于2009年我国发生了较为严重的干旱,社会经济损失大,但也从侧面反映了国家对抗旱减灾工作的重视。

2016—2020年,具有代表性的高频关键词包括综合干旱指数、水文干旱等,这一时间段突现词很多,包括干旱预测、copula函数及水文干旱等。说明这一时间段国内研究还是集中于运用干旱指数对区域干旱特征进行描述,但不同的是为提高干旱监测的精度,众多学者基于多种单指标及遥感干旱指数等建立了综合干旱指数,这一主题在国内外都成为进行干旱描述的新热点。气象干旱是一种包括干旱历时、干旱烈度和干旱强度结合起来的特征变量事件,目前除建立综合指数外,还常采用游程理论进行识别。

copula函数^[18]是一种多变量分析方法,能对干旱问题中的多特征量多元拟合,进一步进行条件概率分析和重现期分析等。在实际研究中,应用该方法实现干旱事件的有效预测,降低干旱事件的风险。

20年来,国内外都对气象干旱指标和干旱特征有较多研究,但由于干旱成因的复杂性,还没有找到普适性的标准对干旱进行识别,因此,应继续加强对气象干旱指标适宜性的研究。对比国内外研究前沿发现,国外率先对干旱成因和驱动机制进行研究,而国内还是以对区域干旱特征描述为主,研究内容有所固化,需进一步突破这一瓶颈。

4 知识基础主题聚类及潜在影响力主题预测

4.1 知识基础主题聚类

知识基础是某领域研究前沿引用文献表现出来的引用轨迹。由于气象干旱领域国外研究进步于国内,且由于数据格式限制,CiteSpace软件不能实现对知网数据库中的文献进行共被引,因此选取国外气象干旱领域2000—2020年文献进行共被引分析,聚类信息表如表2所示。

表2 气象干旱2000—2020年聚类信息表

聚类号	聚类大小	轮廓值	平均年份	LLR算法抽取的聚类信息
#0	140	0.644	2011	SPEI; copula; modeling
#1	75	0.724	2004	atmospheric general circulation model; cmip models; colorado river basin
#2	70	0.660	2001	north atlantic oscillation; floods; probabilistic scenarios
#3	65	0.757	2002	drought severity indices; return period; vegetation
#4	58	0.714	2006	standard precipitation index; RDI; vegetation
#5	55	0.671	2004	dendroclimatology; arid northwest china; climate variability
#6	48	0.866	2004	transpiration; regional climate models (rcms); climate change impact

选择LLR(Log-likelihood rate)算法形成的聚类中,#0 SPEI主题的研究热点为基于SPEI指数描述干旱演变,或通过游程理论识别干旱历时、烈度和峰值,利用copula函数建模,用于模拟和评估区域干旱风险。#1大气环流模式(atmospheric general circulation model)主题集中于区域干旱对大气环流响应及应用cmip降尺度数据进行干旱预测等方面。#2北大西洋振荡(north atlantic oscillation)集中于应用旱涝指标和北大西洋涛动指数预测干旱等级的转换概率。#3干旱严重程度指数(drought severity indices)主题主要集中于应用综合考虑植被指数和蒸散指数的干旱严重程度指数进行干旱描述的分析。#4 SPI主题集中于SPI指标和其

他干旱指标的对比和适用性分析。#5树木年轮气候学(dendroclimatology)将树木年轮数据和干旱结合起来,研究树木生长对干旱的响应,主要应用于西北干旱区。#6蒸散量(transpiration)主要集中于蒸散发等气候变化对干旱的影响。

4.2 潜在影响力文献和主题预测

4.2.1 模式性变化率

为了对气象干旱研究领域具有潜在影响力的文献和主题进行预测,借助CiteSpace软件对2000—2020年数据进行计算,从 ΔM 和 ΔCkl 两个方面探讨知识基础结构变化情况。

选取模式性变化率最大的前10篇施引文献(表3)并展现部分文献引文轨迹(图4)。研究发现10篇施引文献集中分布于2015—2019年,其核心引文作者均不相同,呈百花齐放状态。其中模式性变化率最大的文献为BACHMAIR S(2016)^[19],具有重要影响力。这篇文献主要是以定量分析方法去客观评估干旱指标和干旱监测和预警系统的适用性。作者指出目前提出的干旱指标有很多,但对于

哪个指标最能反映干旱实情没有形成共识,并且指标中阈值的设定也具有不确定性;已有干旱指标建立过程中大多考虑对农业的影响,但很少综合考虑干旱与环境和社会之间的耦合关系,目前综合指标的构建及其应用取得很大进展,但今后要更加关注干旱监测预警系统与环境社会的紧密关联性,为未来综合干旱指标的研究起到抛砖引玉的作用。

表3 ΔM 前10篇施引文献及其相关研究者信息表

ΔM	Citing Articles	DOI	引文所属聚类
17.11	BACHMAIR S(2016)	10.1002/wat2.1154	#0
16.49	VAN LOON、ANNE F(2015)	10.1002/wat2.1085	#0
13.34	ZHANG B(2019)	10.1016/j.agrformet.2018.10.010	#0
12.39	MUKHERJEE S(2018)	10.1007/s40641-018-0098-x	#0
12.31	DAYAL KAVINA S(2018)	10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001593	#0
9.55	XIANG-XIANG LI(2017)	10.1016/S2095-3119(16)61545-9	#0
9.05	GARNER G(2015)	10.1111/fwb.12667	#0、#6
9.03	GEYAERT ANOUK I(2018)	10.5194/hess-22-4649-2018	#0
8.34	GUO HAO(2019)	10.1016/j.rse.2019.111220	#0
7.90	VICENTE-SERRANO、SERGIO M(2015)	10.1016/j.jhydrol.2014.11.025	#0、#4

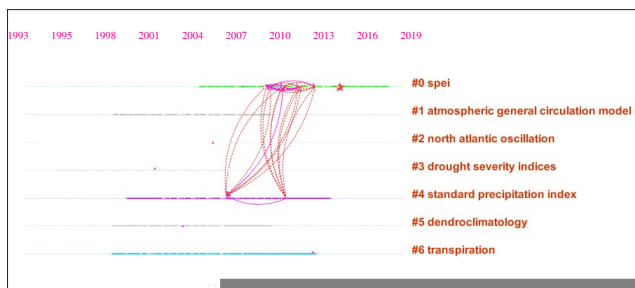


图4 VICENTE-SERRANO、SERGIO M(2015)的引文轨迹示意图

4.2.2 中心性分散度

选取中心性分散度最大的前10篇施引文献(表4)并展现部分文献引文轨迹(图5)。研究发现中心性分散度最大的文献为BONACCORSO B(2003)^[20],达到0.55。从施引文献的所属聚类看,除BONACCORSO B(2003)、YE X(2015)、VAN LOON ANNE F(2015)3篇文献涉及一种聚类主题外,大部分文献涉及的聚类主题超过3个,说明气象干旱的研究有向多元化发展的趋势。其中#4和#5聚类出现超过4次,说

表4 ΔCkl 前10篇施引文献及其相关研究者信息表

ΔCkl	Citing Articles	DOI	引文所属聚类
0.55	BONACCORSO B(2003)	10.1023/A:1024716530289	#4
0.15	YE X(2015)	10.1155/2015/928534	#0
0.13	TRNKA M(2009)	10.1002/joc.1703	#2、#4、#5
0.13	TRNKA M(2009)	10.1002/joc.1745	#2、#4、#5
0.09	BURKE ELEANOR J(2006)	10.1175/JHM544.1	#3、#5、#6
0.08	VAN LOON、ANNE F(2015)	10.1002/wat2.1085	#0
0.08	VIDAL J(2009)	10.1002/joc.1843	#3、#4、#5
0.08	JARANILLA-SANCHEZ、PATRICIA ANN(2011)	10.1029/2010WR009702	#1、#3、#4、#5、#6
0.08	LI Y(2009)	10.3354/cr00797	#2、#3、#5
0.07	GARNER G(2015)	10.1111/fwb.12667	#0、#6

明与其他聚类相比具有较高的潜在影响力,在今后的研究工作中应重点关注。此外通过分别分析 ΔM 和 ΔCkl 指标发现 VAN LOON、ANNE F(2015)和 GARNER G(2015)两篇文献都在两个指标排名前10中出现,说明这些文献对引文网络结构影响力也较大,是引发新的研究变革的潜在标志。

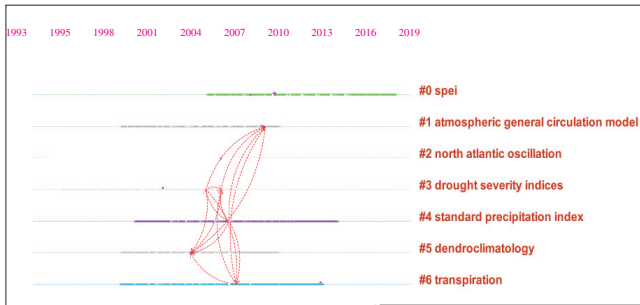


图5 JARANILLA-SANCHEZ, PATRICIA ANN(2011)的引文轨迹示意图

5 结 论

气象干旱事件发生的演变规律和成因机制等是非常复杂的,干旱领域的研究对实现抗旱减灾和社会可持续发展至关重要。通过文献计量分析可以较好地梳理气象干旱的研究演变过程,从而对今后该领域进一步的探索提供重要的理论建议。通过 CiteSpace 软件对相关文献数据分析,得出以下结论:

(1)对比国内外研究热点,国际气象干旱领域主题呈现多元化趋势,国内研究热点数量偏少,我国气象干旱的研究还处于吸收阶段,发展缓慢,有待进行进一步的探索。

(2)对比国内外研究前沿演化分析,国外率先对于旱成因和驱动机制进行研究,而国内近几年也有涉及,但研究相对较少且不够深入,还是以对区域干旱特征描述为主,研究内容有所固化,需进一步突破这一瓶颈。

(3)国外气象干旱研究主题包括 SPEI、north atlantic oscillation、drought severity indices、dendroclimatology 等。通过引文网络结构变换方法,预测出具有潜在影响力的主题和文献,其中文献包括 BACHMAIR S(2016)、BONACCORSO B(2003)、VAN LOON; ANNE F(2015)和 GARNER G(2015)等,主题包括 SPEI、drought severity indices 和 dendroclimatology 等,不仅是当前的研究热点,在未来也将会

容易引起研究变革,成为新兴主题的知识基础。

参考文献

- [1] 孙艺杰,刘宪锋,任志远,等.1960—2016年黄土高原干旱和热浪时空变化特征[J].地理科学进展,2020,39(4):591-601.
- [2] Mishra A K, Singh V P.A review of drought concepts[J].Journal of Hydrology,2010,391(1-2):202-216.
- [3] 李明,胡炜霞,王贵文,等.基于 Copula 函数的中国东部季风区干旱风险研究[J].地理科学,2019,39(3):506-515.
- [4] 闫昕昉,张强,闫晓敏,等.全球干旱区分布特征及成因机制研究进展[J].地球科学进展,2019,34(8):826-841.
- [5] 刘宪锋,朱秀芳,潘耀忠,等.农业干旱监测研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(11):1835-1848.
- [6] Giorgos Kallias. Droughts[J]. Annual Review of Environment and Resources, 2008,33:85-118.
- [7] 崔修来,孙瑶,王东.干旱监测预报研究综述[J].南方农业,2019,13(20):151-152.
- [8] 张俊,陈桂亚,杨文发.国内外干旱研究进展综述[J].人民长江,2011,42(10):65-69.
- [9] Chen C M. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J].Journal of the American Society for Information Science and Technology,2006,57(3):359-377.
- [10] Chen C M. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization[C]//The National Academy of Sciences of the United States of America, Scientific Research Publisher,2004:5303-5310.
- [11] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]// The 8th Conference on Applied Climatology. Anaheim, California: American Meteor Society, 1993:179-183.
- [12] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I, et al. A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscale drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer drought severity index[J].Journal of Hydro-meteorology, 2010, 11(4): 1033-1043.
- [13] McCabe G J, Palecki M A, Julio L, et al. Pacific and Atlantic Ocean influences on multidecadal drought frequency in the United

- States [C]//The National Academy of Sciences of the United States of America,2004,101(12):4136-4141.
- [14]Ricardo Garc í a-Herrera, aniel Paredes, Ricardo M Trigo.The outstanding 2004/05 drought in the iberian peninsula: associated atmospheric circulation[J].Journal of Hydrometeorology, 2007(8): 483-498.
- [15]谢清霞,谷晓平,万雪丽,等.西南地区干旱的变化特征及其与大气环流的关系[J].干旱区地理,2020,43(1):79-86.
- [16]王春林,郭晶,薛丽芳,等.改进的综合气象干旱指数Cnew及其适用性分析[J].中国农业气象,2011,32(4):621-626.
- [17]赵海燕,高歌,张培群,等.综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性[J].应用气象学报,2011,22(6):698-704.
- [18]于忱,陈隽,王红瑞,等.多变量Copula函数在干旱风险分析中的应用进展[J].南水北调与水利科技,2018,16(1):14-21.
- [19]Bachmair S,Svensson C,Hannaford J.A quantitative analysis to objectively appraise drought indicators and model drought impacts [J].Hydrology And Earth System Sciences,2016,20(7):2589-2609.
- [20]Bonaccorso B, Cancelliere A, Rossi G.An analytical formulation of return period of drought severity[J].Stochastic Environmental Research And Risk Assessment,2003,17(3):157-174.

Research status and frontier analysis of meteorological drought at domestic and abroad

CAO Yongqiang , LU Jie

(School of Geographical Sciences , Liaoning Normal University , Dalian 116029)

Abstract: Based on the core database of web of science and the literature about meteorological drought in China National Knowledge Infrastructure, using the CiteSpace visualization software, using the methods of keyword frequency analysis, time zone evolution, Co-citation analysis and citation network structure transformation, this paper comprehensively analyzes the domestic and abroad research hotspots and research frontier evolution trend of meteorological droughts and forecasts the future development trend. The results show that: ① the international themes of meteorological drought are diversified, including the establishment of meteorological drought indicators, drought climate change, drought causes and other aspects, and the themes are closely related; the domestic research themes are mainly focused on the establishment of drought indicators, and correspondence between related hotspots is weak. ② Foreign countries have taken the lead in researching the causes and driving mechanisms of drought. In recent years, domestic researches have been relatively few and not deep enough, and the research content has been solidified. ③ Through the method of citation network structure transformation, it is predicted that the literatures with potential influence include BACHMAIR S(2016)和 VAN LOON ANNE F(2015), and the topics include SPEI, Drought severity indices, Dendroclimatology and so on. Through the comparison of domestic and foreign visual maps, the paper analyzes the development differences at home and abroad, and puts forward suggestions for the future drought research in China.

Keywords: meteorological drought; CiteSpace; knowledge map; visual analysis

责任编辑 马 啸