

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2017. 05. 001

干旱与水资源短缺相关问题探讨

王红瑞,洪思扬,秦道清
(北京师范大学水科学研究院城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室,北京 100875)

摘要:为探讨干旱与水资源短缺之间的相互作用与发展规律,归纳总结干旱与水资源短缺的概念、内涵及评价指标,综述国内外关于两者间相互关系的研究进展,并展望干旱及水资源短缺的未来研究方向,以期今后的研究提供一定的理论基础和借鉴。
关键词:干旱;水资源短缺;相互关系;发展方向
中图分类号:TV211 **文献标识码:**A **文章编号:**1004 - 6933 (2017) 05 - 0001 - 04

Discussion on related issues of drought and water shortage

WANG Hongrui, HONG Siyang, QIN Daoqing
(Beijing Key Laboratory of Urban Hydrological Cycle and Sponge City Technology, College of Water Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to probe into the interaction relationship and development law between drought and water shortage, the concepts, implications and evaluation indicators of drought and water shortage are summarized in this paper. Reviewing of the domestic and international research progress of the mutual relationship between the two related issues has been done here. And future research direction in this regard has been forecast as well, expecting to provide some theoretical basis and reference for future research.
Key words: drought; water shortage; mutual relationship; development direction

在全球水资源极度紧张的地区,干旱和水资源短缺均是流域水资源管理中的重要方面,但干旱和水资源短缺在很多情况下被混淆使用。干旱是由于大尺度气候变化引起的自然灾害,水资源短缺则是由于不合理的水资源利用导致的供水量远低于用水量的现象。在水资源管理中,对待两者的管理措施是有较大差异的,因此概念上的混淆可能误导水资源管理应对措施的制定。水资源管理措施可以缓解水资源短缺的状况,但只能通过采取积极措施适应气候变化所导致的干旱,并建立机制降低干旱危害性和增强干旱抵抗性^[1-3]。水资源管理体系通常需要决策工具的支持^[4-6],进而监测、预报干旱和水资源短缺的影响^[7-10],但无法分别评估干旱和水资源短缺的影响,因为在水资源紧缺的地区,干旱现象可

能更加剧烈,而在干旱的地区,水资源短缺现象更加明显^[11]。因此,要明确区分干旱和水资源短缺的各自特征、概念及其对水文系统的破坏程度,以便更好地在水资源短缺地区协助水资源管理系统制定更有效的决策。本文对干旱及水资源短缺的概念、评价指标、两者之间的关系及未来的发展方向进行梳理,以期缓解干旱及水资源短缺的影响及更合理制定水资源管理政策提供一定的理论基础和借鉴。

1 干旱问题研究进展

1.1 干旱概念

由于气象水文变量、社会经济因素及世界各地用水需求不同,很难对干旱有一个准确定义。干旱定义通常依赖于所选择的影响因素,因此可根据影

响干旱的不同因素将干旱划分为4类:气象干旱^[12]、水文干旱^[13]、农业干旱及社会经济干旱^[14-15]。不同的干旱类型,其研究侧重点不同。大多数学者普遍认为干旱是在一段时间内、一定区域上降水量明显少于多年平均水平的一种自然现象,这种现象可能会对水文循环、农业及社会经济造成一定的影响。

1.2 干旱评价指标

随着社会经济的发展,表征干旱特征的各类指标日益丰富起来。这些指标可以从干旱全过程各个角度揭示干旱成因、持续时间、干旱强度。干旱指标的发展和完善,很大程度上是由可获得数据决定的。Palmer^[16]提出了Palmer旱度模式(PDSI),综合考虑了前期降水、水分供给、水分需求、实际蒸散量、潜在蒸散量等要素,以水分平衡为基础而建立的干旱指数,具备良好的时间和空间的可比性,在世界范围内得到了广泛的应用^[17-18]。标准化降水指标(SPI)也是代表性干旱指标之一,适合于月以上尺度的干旱监测与评估,在区域干旱过程监测的应用中比较广泛和深入。Vicente-Serrano等^[19]基于SPI研发出旨在更深层次解决气候干旱评估评价的标准化降水蒸散指数(SPEI),该指数基于降水和温度数据,有机地集成了PDSI对蒸发需求变化的灵敏性和SPI的计算简单和多时空的自然属性,是监测干旱化及研究增温影响干旱化过程较为理想的工具^[20]。

总体上看,使用最广泛的干旱指数主要是气象干旱指数。气象干旱是其他干旱类型的诱发因素,同时气象干旱指数计算数据类型简单、较易获取,且时间尺度可以根据研究者的需要进行选择,因此适用性很强。农业干旱所造成的经济损失易于量化,因此,干旱风险研究中对农业干旱风险的研究最多。

2 水资源短缺问题研究进展

2.1 水资源短缺概念

水资源短缺指水资源相对不足,不能满足人们生产、生活和生态需要的状况。目前,水资源短缺定义及评判标准没有统一,但水资源短缺的研究对象往往是一个区域(城市、流域、国家等),涉及的主体通常是人类,其所带来的危害包括影响经济社会的正常运转及人类的正常生活。

2.2 水资源短缺评估指标

现有研究中还没有一种普适性的水资源短缺评价指标。具有代表性的是欧洲环境局^[21]提出的表征水资源短缺的指标 water exploitation index (WEI)。WEI是年总抽取水资源量与多年平均可利用水资源量的比值,主要用于国家尺度的研究。随后,欧盟“水

资源短缺与干旱专家组”对WEI指数进行了改进,WEI+应运而生,该指数旨在更好地刻画可更新水资源量与水资源利用之间的平衡关系,以便在流域尺度评价水资源短缺程度。WCI (water consumption index)是欧洲地区常用的表征一个国家水资源短缺的指标,其计算公式是总耗水量除以长期用水量,一般农业用水量大的国家往往WCI值也较高。

水资源短缺并不是一个单纯的自然现象,所涉及的社会问题广泛,尤其在我国,随着社会经济的高速发展,缺水问题日益严重,且不同地区不同时期所面临的水资源问题不同,因此并不能像干旱一样能够一个具体指标来表征,因而构建指标体系在水资源短缺评价中极其重要。欧盟构建的WEI、WEI+指数能够给我们一定的启示,但基于国情不同,借鉴过程中需要进行相应的改进。

3 干旱与水资源短缺关系

目前,国内对于干旱与水资源短缺二者关系的研究相对较少,代表性的是张伟光等^[22]从风险的视角探究干旱风险与水资源短缺风险在发生前、发生中和发生后的相互关系,进而探究所造成的损失程度。国外对这二者的研究主要集中在欧洲一些国家。Mazzanti等^[23]将意大利的流域作为研究对象,选取相关指标从时间尺度、空间尺度探索干旱与水资源短缺的关系,其中,对水资源短缺,通过计算逐年、逐月WEI+指数来表征;对干旱,通过计算SPI指数和SRI (standardized runoff index)指数来表征,随后将这些指数进行空间制图并将干旱与水资源短缺现象进行对比分析,发现水资源可利用率及用水量的分析非常重要,需要在未来的水资源管理中着重考虑。Kossida等^[24]将希腊的Pinios流域作为研究对象,分析干旱与水资源短缺的风险,选取干旱指标SPI及反映干旱烈度、峰值、持续时间等特征的子指标,利用AHP法计算权重后构建一个新的复合指标 drought vulnerability index (DVI),计算DVI值并作图,随后再添加关于地表地下水开发、水资源短缺及土地利用等社会经济指标,与DVI值相结合绘制与干旱及水资源短缺相关的风险图。该风险图能够帮助水资源管理者快速确定优先调控区。Lanen等^[25]研究干旱与水资源短缺在气候变化条件下的特征,采用大尺度水文模型模拟并预测未来干旱的特征(强度、持续时间),并通过实测数据来验证模型的可靠性,再采用模型模拟结果对未来干旱可能导致的水资源短缺概率进行相关分析,但模型的不确定性仍是需要解决的问题之一。Loon等^[26]构建了一个观测-模拟框架来区分干旱与水资源短缺,将

研究时期划分为未受干扰期和受干扰期,利用未受干扰期的观测数据对降雨径流模型进行率定和验证,并模拟整个研究期径流变化,以此径流序列来表征自然情况,利用观测数据来表征受人类活动影响下的干扰情况,通过建立时变阈值达到识别并区分干旱与水资源短缺的目的。欧盟委员会利用 WaterGAP 模型进行研究,该模型包括水文模型及用水模型两部分,其中水文模型模块能够模拟干旱,用水模型模块能够模拟水资源短缺,通过输入两个模块各自所需的数据进行模拟,可以得到水资源可利用量、用水量、水资源压力等指标的时空分布规律。随后,采用 DPSIR (driver-pressure-state-impact-response) 概念模型对干旱及水资源短缺的诱因进行识别与分析。

综上,对干旱与水资源短缺二者关系的研究,或采用指标来表征两种现象,或利用模型进行模拟间接反映。对应用指标表征干旱及水资源短缺,现有研究多将指标运算结果进行简单的叠加分析,往往难以深入反映干旱与水资源短缺两者之间的内在联系及相互之间的作用 and 影响,因此,如何根据研究区的具体情况选择恰当的干旱表征指标与水资源短缺表征指标,进而建立指标之间的联系,仍是未来研究中需要着重考虑的问题。在模型的选择过程中,需要考虑模型的适用条件,强化理论基础,研究如何拟定模拟方案,并对模型模拟不确定性问题开展更为深入的研究。

4 研究展望

4.1 完善干旱与水资源短缺关系的理论

目前的研究存在干旱与水资源短缺两者界定不够清晰的现象,未来的研究应着重从成因机理的角度探索两者之间的本质差异,以两者之间的关系为核心,在总结国内外相关研究成果的基础上,从供需波动的角度明晰水资源短缺的概念与机理,建立表达式,并从不同角度分别探讨气象干旱、水文干旱、农业干旱、社会经济干旱与水资源短缺的关系,构建不同类型的干旱与水资源短缺之间的比较指标体系。同时从水量循环、水资源利用效率、水资源管理与政策、调水工程等相关领域及多学科的视角,分析并量化干旱与水资源短缺之间的相互作用和影响机制;以风险理论为切入点,构建干旱与水资源短缺联合风险评价指标体系,基于危险性、暴露性、可靠性、脆弱性、恢复性等风险特征,从风险发生前、发生中、发生后等多个方面探索干旱风险与水资源短缺风险的关系,分析两者之间的时滞效应,揭示干旱与水资源短缺相互作用的机理与风险形成过程。

4.2 分析干旱与水资源短缺的时空变化特征

目前,分别针对干旱及水资源短缺的时空变异

特征的研究已较为普遍和广泛,而少有研究将两者结合起来分析其时空变异特征。此外,干旱与水资源短缺两者之间的相互作用对各自发展规律影响的研究也尚未涉及,且这种影响如何反映在时空变化规律上,也值得研究者进行更为深入的思考。笔者认为,在对研究区气候类型、自然条件及可能发生的干旱类型等进行综合分析的基础上,可开展与之相关的区划分析,确定干旱表征指标、水资源短缺表征指标,从而分区开展计算分析;可采用 Hilbert-Huang 变换、滑动窗口 Mann-Kendall 趋势检验、Pettit 突变检验、累积距平曲线、动态时间扭曲等统计方法,分析干旱与水资源短缺指标的周期、趋势、突变、相似性等时间变化特征,通过检测各类指标时间序列的突变点,分析干旱与水资源短缺时间序列的变化趋势与周期,采用反距离加权插值法等空间分析方法分析干旱与水资源短缺空间变化特征;厘清干旱与水资源短缺相互间的时变制约关系,运用加速度分析等方法研究干旱程度与水资源短缺程度的变化速度及趋势;借助空间插值技术分析干旱表征指标与水资源短缺表征指标的空间分布特征。

4.3 借助时变 Copula 函数探究干旱与水资源短缺相依关系

Copula 方法是一种以 Copula 函数为基础进行多变量联合分布分析的方法,可以对满足不同边缘分布的多变量构造其联合分布函数。在干旱与水资源短缺相依关系的研究中,Copula 函数适用性好,具有一定的理论与实际意义。值得注意的是,干旱和水资源短缺事件的发生存在着不同时性,这些问题在前期的研究中被忽略或者没有解决。时变 Copula 方法对这些问题开展研究,但是时变 Copula 的研究也刚刚起步,理论基础和方法还需要进一步探究。基于时变 Copula 方法研究干旱与水资源短缺相互关系,笔者有以下几点设想:首先,在研究区各分区分别建立干旱表征指标和水资源短缺表征指标的经验分布,进而构造联合 Copula 函数;其次,考虑到干旱和水资源短缺可能存在不同步的情况,对各分区的干旱和水资源短缺表征指标进行不同时段划分,从而构造时变 Copula 函数,并做出最佳选择;再次,根据时变 Copula 函数计算干旱事件和水资源短缺事件同时发生的概率,研究在干旱事件发生条件下水资源短缺事件发生的概率;最后,通过计算各类重现期,探讨干旱和水资源短缺之间的相依关系。

此外,关于研究区的选取,可侧重于受干旱和水资源短缺严重制约的城市化水平较高的地区,以水资源分区嵌套行政地级区为单元,分析干旱及水资源短缺程度和趋势。基于风险分析理论,对两者的

各类风险要素进行评价,从而发现两者之间的内在发展规律。

5 结 语

归纳总结干旱与水资源短缺两者的概念、内涵及评价指标,综述两者间相互关系的国内外研究进展,并在此基础上对干旱及水资源短缺的未来研究方向进行展望,可为后续更加深入的研究提供一定的基础和借鉴。探讨干旱与水资源短缺之间的相互作用与发展规律,可为管理部门科学制定应对干旱与水资源短缺的风险预案提供技术支撑,值得进行更为深入的研究。

参考文献:

[1] WILHITE D A. Combating drought through preparedness [J]. Natural Resources Forum,2002,26(4):275-285.

[2] ESTRELA T, VARGAS E. Drought management plans in the European Union: the case of Spain [J]. Water Resource Management, 2012, 26: 1537-1553. doi: 10. 1007/s 11269-011-9971-2.

[3] MORTAZAVI M, KUCZERA G, CUI L. Multiobjective optimization of urban water resources:moving toward more practical solutions [J]. Water Resource Research,2012, 48: W03,514. doi:10. 1029/2011WR010866.

[4] FLUG M, CAMPBELL S G. Drought allocations using the systems impact assessment model: Klamath river [J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2005,131(2):110-115.

[5] MYSLAK J, GIUPPONI C, ROSATO P. Towards the developmentof a decision support system for water resource management [J]. Environ. Modell. Software, 2005, 20 (2):203-214. doi:10. 1016/j. envsoft. 2003. 12. 019.

[6] CARBONE G J, RHEE J, MIZZELL H P, et al. Decision support;a regional-scale drought monitoring tool for the Carolinas, Bull. Am [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2008, 89 (1): 20-28. doi: 10. 1175/BAMS-89-1-20.

[7] SMAKHTIN V U. Low flow hydrology: a review [J]. Journal of Hydrology,2001,240(3/4):147-186. doi:10. 1016/S0022-1694(00)00340-1.

[8] NIEMEYER S. New drought indices in drought management;scientific and technological innovations [J]. Zaragoza,2008,12/13/14:267-274.

[9] WAGENER T, SIVAPALAN M, TROCH P A, et al. The future of hydrology: an evolving science for a changing world [J]. Water Resources Research, 2010, 46 (5): W05301. doi:10. 1029/2009WR008906.

[10] JARANILLA-SANCHEZ P A, WANG L, KOIKE T. Modeling the hydrologic responses of the pampanga river

basin, philippines: a quantitative approach for identifying droughts [J]. Water Resource Research, 2011, 47: W03514. doi:10. 1029/2010 WR009702.

[11] KUNDZEWICZ Z W, BUDHAKOONCHAROEN S, BRONSTERT A, et al. Coping with variability and change: floods and droughts [J]. Natural Resources Forum,2002, 26(4):263-274.

[12] CHANG T J. Investigation of precipitation droughts by use of Kriging method [J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE,1991,117:935-943.

[13] DRACUP J A, LEE K S, PAULSON E G. On the statistical characteristics of drought events [J]. Water Resources Research, 1980,16:289-296.

[14] MISHRA A K, SINGH V P. A review of drought concepts [J]. Journal of Hydrology, 2010, 391 (1/2): 202-216. doi:10. 1016/j. jhydrol. 2010. 07. 012.

[15] MISHRA A K, SINGH V P. Drought modeling: a review [J]. Journal of Hydrology,2011,403:157-175.

[16] PALMER W C. Meteorological drought [J]. Weather Bureau Research Paper,1965,5:45-58.

[17] HEIM R R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States [J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2002,83(8):1149-1165.

[18] 卫捷,陶诗言,张庆云. Palmer 干旱指数在华北干旱分析中的应用 [J]. 地理学报,2003,58:91-99. (WEI Jie, TAO Shiyan, ZHANG Qingyun. Analysis of drought in northern China based on the Palmer severity drought index [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58: 91-99. (in Chinese))

[19] VICENTE-SERRANO S M, BEGUERÍA S, LÓPEZ-MORENO J I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index [J]. Journal of Climate,2010,23 (7):1696-1718.

[20] VICENTE-SERRANO S M, BEGUERÍA S, LÓPEZ-MORENO J I, et al. A new global 0. 5 gridded dataset (1901—2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the palmer drought severity index [J]. Journal of Hydrometeorology, 2010,11(4):1033-1043.

[21] European Environment Agency. Towards efficient use of water resources in Europe [R]. Copenhagen: European Environment Agency,2012.

[22] 张伟光,王红瑞,范琳琳,等. 干旱风险与水资源短缺风险关系辨析 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2015, 51 (4): 418-422. (ZHANG Weiguang, WANG Hongrui, FAN Linlin, et al. Analysis of the relationship between the risk of water shortage and the risk of drought [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2015,51(4):418-422. (in Chinese))

(下转第 24 页)

参考文献:

[1] 彭述明. 都江堰史[M]. 北京:科学出版社,2004.

[2] 刘玉泉,朱克勤. 浅谈都江堰工程中流体力学原理的运用[J]. 力学与实践,2008,30(4):102-105. (LIU Yuquan,ZHU Keqin. Talking about the application of fluid mechanics principle in Dujiangyan Project [J]. Mechanics in Engineering,2008,30(4):102-105. (in Chinese))

[3] CAO S, LIU X, ER H. Dujiangyan irrigation system; a world cultural heritage corresponding to concepts of modern hydraulic science [J]. Journal of Hydro-Environment Research,2010,4(1):3-13.

[4] CAO Shuyou, FANG Duo, CHEN Jiayang, et al. Model prototype correlation study on bed load transport of Dujiangyan Project, China [C]// Proceedings of the International Symposium. New York: ASCE,1988:247-256.

[5] CAO Shuyou, FANG Duo, CHEN Jiayang. Random characteristics of sediment-laden flows and the techniques of effective sediment exclusion on Dujiangyan Irrigation Project in China [C]// Proceedings of National Conference on Irrigation and Drainage Engineering. New York: ASCE,1988:409-416.

[6] 许志方. 从现代水利科技看中国古代的都江堰[J]. 中国水利,2004(18):25-26. (XU Zhifang. View on the ancient Dujiangyan Project from the modern water science and technology [J]. China Water Resources,2004(18):25-26. (in Chinese))

[7] 林承坤,吴小根. 2200 多年来都江堰的效能为何历久不衰[J]. 自然杂志,2001,23(4):193-198. (LIN Chengkun,WU Xiaogen. Why is Dujiang Weir of the Min River so effective in use over 2200 years? [J]. Nature Magazine,2001,23(4):193-198. (in Chinese))

[8] 张倩倩,黄友权,李育红. 天下名堰与项目管理:都江堰对现代工程项目管理的启示[J]. 施工企业管理,2007(10):76-77. (ZHANG Qianqian, HUANG youquan, LI yuhong. The world famous weir and project management; revelation of Dujiangyan Project on modern engineering project management [J]. Construction Enterprise Management,2007(10):76-77. (in Chinese))

[9] 吴自力. 浅谈都江堰工程对企业人力资源管理的几点启示[J]. 企业家天地,2010(12):54-55. (WU Zili. Revelation on the human resources management of the Dujiangyan Project [J]. Entrepreneurs World,2010(12):54-55. (in Chinese))

[10] 李可可,黎沛虹. 都江堰:我国传统治水文化的璀璨明珠[J]. 中国水利,2008(18):75-78. (LI Keke, LI Peihong. Dujiangyan Project; the shining pearl in China's traditional water culture [J]. China Water Resources,2008(18):75-78. (in Chinese))

[11] 郑钧. 都江堰枢纽区水流泥沙运动规律研究[D]. 北京:清华大学,2008.

[12] 曹叔尤,刘兴年,方铎,等. 山区河流卵石推移质的输移特性[J]. 泥沙研究,2000(4):1-5. (CAO Shuyou, LIU Xingnian, FANG Duo, et al. Transport behavior of pebble bed-load in mountain rivers [J]. Journal of Sediment Research,2000(4):1-5. (in Chinese))

[13] 肖帆,阳本福. 造化与传承:都江堰经久不衰、持续发展的动因[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2005,7(4):33-35. (XIAO Fan, YANG Benfu. Fortune and inheritance : the motivation for the enduring and sustainable development of Dujiangyan Project [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences),2005,7(4):33-35. (in Chinese))

[14] 邹礼洪. 都江堰是“以水治水”的成功范例[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版),2005,24(6):31-33. (ZHOU Lihong. A successful example of water - control: Dujiangyan Irrigation Project [J]. Journal of Xihua University(Philosophy & Social Sciences),2005,24(6):31-33. (in Chinese))

[15] 陈陆. 李冰无须言 自有都江堰[J]. 中国三峡建设,2008(4):87-92. (CHEN Lu. The Dujiangyan Project by Li Bing [J]. China Three Gorges,2008(4):87-92. (in Chinese))

[16] 徐明,肖帆,阳本福,等. 都江堰水利可持续发展战略研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.

(收稿日期:2017 - 03 - 20 编辑:彭桃英)

(上接第 4 页)

[23] MAZZANTI B, CHECCUCCI G, MONACELLI G, et al. Drought and water scarcity indicators: experience and operational applications in italian basins [C]// Proceedings of Austria, EGU General Assembly Conference. Vienna:European Geosciences Union,2013.

[24] KOSSIDA M, MIMIKOU M. An indicators' based approach to drought and water scarcity risk mapping in Pinios River Basin[C]//Proceedings of Greece, European Geosciences Union, General Assembly. Vienna: European Geosciences Union,2013.

[25] Van LANEN H A J, TALLAKSEN L M, STAHL K, et al. Drought, water scarcity and climate change [C]// Proceedings of Austria, EGU General Assembly Conference. Vienna:European Geosciences Union,2012.

[26] LOON A F, LANEN H A J. Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework[J]. Water Resources Research,2013,49(3):1483-1502.

(收稿日期:2017 - 06 - 30 编辑:彭桃英)