

干旱灾害评估研究进展

李 芬^{1,2}, 于文金¹, 张建新², 朱凤琴¹, 刘英丽¹

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044 2. 山西省气象局, 太原 030002)

摘 要:在各种自然灾害中,干旱是发生范围最广、频率最高、灾情和影响最严重的灾害。近年来,随着自然灾害损失的加剧,减灾工作得到各国政府前所未有的重视,各国科技工作者开始了包括干旱在内的自然灾害的评估工作。本文旨在把握干旱灾害评估的研究现状,力求对干旱灾害评估各个方面的研究做出较全面的总结和评价,以期达到促进中国干旱灾害评估研究进一步深化的目的。文章从干旱指标、干旱评估理论、干旱评估方法以及干旱评估类型等方面对国内外的研究进展进行了较全面的分析,分析表明,现有干旱评估研究多侧重于农业干旱和区域单品种干旱灾情的特征研究,缺乏从系统的角度综合研究干旱对生态环境、社会经济效应等区域灾害系统的模拟研究,干旱评估模型结果不能反映干旱带来的系统影响。未来的干旱评估研究要更多地应用新技术和新方法,不断向多学科、综合研究方向发展。

关 键 词:干旱;评估;研究;进展

1 引言

干旱是全球范围内频繁发生的一种慢性自然灾害,它对社会生活和经济发展的影响之大、范围之广、持续之久、危害之深,超出了其他任何自然灾害^[1]。干旱严重威胁着人类赖以生存的粮食、水和生态环境,尤其是给农业生产造成了严重影响。据测算,全球每年因干旱造成的经济损失高达60亿~80亿美元,远远超过了其他自然灾害^[2]。中国是世界上两条巨型自然灾害地带(北半球中纬度重灾带与太平洋重灾带)都涉及的国家,这使中国成为了全世界易灾、多灾、灾情严重的国家之一^[3]。有学者采用灰色关联分析方法,计算干旱与总灾害的关联度,得出气象灾害对农业生产的影响权重为干旱>冻害>风,雹灾>水灾^[4];还有学者对中国贫困县分布及干旱分布进行了研究,结论是中国贫困县的分布和干旱的分布基本一致^[5],这表明干旱是造成中国农村贫困的重要原因。

20世纪以来,全球变暖加剧,旱灾发生范围扩大,发生频率增加,防灾减灾及灾害评估工作得到各国政府前所未有的重视。70年代,欧美、日本等一些发达国家都相继建立了气候监测、诊断分析业务,以加强对干旱等气象灾害机理与预测的研究,

美国、日本、澳大利亚等国先后开展了单灾种和多灾种的灾害灾情评估研究。90年代以来,美国联邦紧急事务所联合国家建筑科学研究所等科研机构共同研制了一套自然灾害损失评估系统——Hazards U.S., HAZUS系统,形成了较为成熟的灾情评估技术方法体系^[6]。2003年,日本中央防灾委员会组织成立灾害教训技术调查组,该组织将灾害损失状况、当局应急、对人们生活条件和社会经济影响等信息进行了分类归档^[7]。在澳大利亚,紧急事务部门和气象部门共同开发了一套对直接经济损失和间接经济损失进行评估的灾害评估工具(Emergency Management in Australia, EMA)^[8]。与此同时,灾害评估工作也得到一些国际组织的重视,联合国拉丁美洲和加勒比海经社理事会(Economic Commission for Latin America and the Caribbean, ECLAC)于20世纪90年代提出的一套评估自然灾害对社会经济影响的方法^[9];联合国、欧盟和世界银行开发了一套灾后需求评估软件(Post Disaster Needs Assessments, PDNAS)^[10]。自然灾害研究也受到中国政府的高度重视,特别是改革开放以来,气象、水利等部门都制定了一些部门或行业性的灾情管理规定。为了评估干旱对中国经济社会的影响,相关部门专家对于干旱评估进行了较为深入的研

收稿日期:2011-01; 修订日期:2011-04.

基金项目:国家自然科学基金项目(40371048);河海灾害实验室开放基金项目(20090024)。

作者简介:李 芬(1964-),女,汉族,山西汾阳市人,在读硕士,高级工程师,主要从事气候系统与全球变化及其管理科学研究。

Email: lifen1964@sina.com

究,灾区范围综合评估、灾情统计评估、社会经济影响评估、生态环境与资源影响评估等方面的研究都有了开创性的进展,取得了丰硕的成果。本文从干旱的概念、指标、干旱评估理论、干旱评估方法以及干旱评估类型等方面对近些年来国内外干旱评估研究的进展情况进行了较全面的分析总结,旨在把握干旱灾害评估的研究现状,力求对于干旱灾害评估各个方面的研究做出较全面的总结和评价,以期促进中国干旱灾害评估的深化研究。

2 国内外干旱灾害评估研究进展

2.1 干旱指标

干旱指标是一个古老而又一直没有确定答案的问题。其困难在于干旱的发生发展乃至结束时间是模糊不清的,很难给出清晰统一的界定^[11]。事实上,干旱指标应该是表征某一地区干旱程度的标准,依据这个标准可对干旱发生的影响做出定量评价,用来反映干旱的时空特性,但由于不同地区农业生产条件差别很大,受旱的原因和造成的危害也各不相同,且干旱受气候、地形、水资源条件和农业生产状况等多种因素影响,所以,目前常用的干旱指标大都建立在特定的地域和时间范围内,不同区域干旱指标差异很大。干旱评估指标决定其评估结果的准确性,为了更加深刻的认识和准确评估干旱的影响,国内外许多专家学者对干旱的强度等级等指标进行了广泛而又深入的研究。

在国外,Bahlme和Mooley在1980年提出了BMDI指标,根据干旱程度将干旱划分为正常、轻旱、中旱、大旱、极旱5个等级^[12];Bogard等根据该指标研究了不同环境对干旱的影响^[13];Hayes等使用标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)监测美国的干旱得到了很好的效果^[14];美国学者McKee等提出了干旱对不同类型的水资源可利用量影响的标准化降水指数,其优点是只利用降水量要素和仅依赖于统计方法,能够适用于任意时间尺度,对干旱的反应较灵敏,在实际应用中得到了相当大的认可^[15];Cancelliere等基于统计学理论提出了两种SPI的季节预报方法^[16];Nalbantis等提出了一个类似于SPI的指数——RDI(Runoff drought index,径流干旱指数)来表征水文干旱的严重性,应用非平稳马尔科夫链描述干旱状态,并用希腊Evinos河谷的资料进行了验证^[17];1994年,SPI指数已

用于美国Colorado州的干旱监测,该指数还被美国国家干旱减灾中心(the National Drought Mitigation Center, NDMC)和西部区域气候中心(the Western Regional Climate Center, WRCC)用于监测紧邻的美国各州的气候分异水平^[18]。

在作物干旱指标方面,Sandholt等根据简化的Ts-NDVI特征空间提出了温度植被旱情指数(Temperature-Vegetation Dryness Index, TVDI)的概念^[19],该指标在国内得到了广泛的应用,是目前普遍认可的能够精确反映作物水分供应状况的指标之一;Jackson等提出了建立在冠气温差基础上的作物水分胁迫指数(Crop Water Stress Index, CWSI)[$CWSI=1-(\text{实际蒸散}/\text{潜在蒸散})$]^[20]得到广大学者的普遍认同,并在实践中得到广泛应用^[21-22],但该指标也存在着一定的缺陷,如:计算因子取值困难,不能很好反映作物过去时段的干旱状况等。

在国外学者对干旱指标的研究成果中,值得重点指出的是1965年由Palmer提出的目前国际上仍然应用非常广泛的帕尔默干旱指数(Palmer Drought Severity Index, PDSI)。PDSI自Palmer提出至今,被广泛应用于旱情比较、旱情时空分布特征分析、干旱面积评估等旱涝气候评价及其灾害评估,PDSI被确定为美国各州政府机构启动干旱救助计划的依据^[23]。为了测定作物干旱状况,Palmer于1968年又提出了基于PDSI指数设计出作物水分指数CMI(Crop Moisture Index),CMI在国际上被广泛应用于农业干旱的监测评估^[24]。帕尔默干旱指数考虑因子全面,是迄今为止应用最广泛的干旱指标之一。中国多位学者也在沿用该指标模式,徐向阳等利用帕尔默旱度基本原理,建立了徐州市自然旱度指标和分级判定干旱程度的农业干旱数学模拟模型^[25];王春林等借鉴帕尔默旱度的土壤水分平衡概念,构建了逐日干旱动态强度指数(I_D)、定义了干旱过程的开始和结束日期并提出了干旱过程强度指数(I_{DC})^[26]。

中国学者在干旱指标研究方面也取得了一定的进展。谢应天将目前常用的指标分为单因素指标、简单多因素综合指标和复杂多因素综合指标3类共17种干旱指标,并对这些指标的适应性进行了分析^[27];杨青、李兆元从常规的历史气候资料入手,建立了适合干旱半干旱地区大范围、长时期干旱监测的干旱指数作为衡量干旱的指标^[28];田宏等根据土壤水分盈亏原理及土壤蒸发三阶段理论,建

立了只涉及当前资料的干旱动态评估指标^[29];邱林等建立了农业干旱评估指标的静态模型和动态模型^[30];王素艳等基于风险分析原理,建立了包括自然水分亏缺率风险指数、减产率风险指数和抗灾性能趋势向量系数等风险评估指标模式和北方冬小麦干旱灾损风险评估的指标体系^[31];庞万才等则从有效降水过程入手,针对降水过程次数、降水过程总量、降水过程的时间分布结构和效能,提出了相对蒸散效能指数、降水过程总效能指数、雨量相对指数、时间分布相对指数等干旱指标^[32];姚玉璧等提出降水量、气温统计特征作为指标的气象干旱指标,以土壤含水量、作物旱情、作物需水量、供需水比例、作物水分综合统计特征为指标的农业干旱指标^[33];朱自玺等对气象产量和降水距平的关系进行了相关分析,与农业干旱划分标准相结合,确定了两套与轻旱、中旱、重旱和极端干旱相对应的干旱指标^[34]。

目前,国内外干旱指标很多,据文献资料,仅中国干旱指标就有228种以上^[35]。这些干旱指标大致可分为以下4类:气象指标、土壤水分指标、作物生理指标、综合指标。美欧国家常用综合了降水、气温和土壤湿度的Palmer干旱强度指数(PDSI)作为标准,俄罗斯等国家常用布德科辐射干旱指数作标准,在中国应用最多的是降水距平百分率及降水量标准差。现在国际上应用最多的是联合国粮农组织(FAO)推荐的根据能量平衡、水汽扩散以及热传导原理建立起的“改进的彭曼(Penman)公式”。另外土壤墒情法、降水量距平法、连续无雨日数法、缺水率法、断水天数法、受旱面积比率等指标应用也较广泛。

2.2 干旱评估方法

干旱评估是根据干旱风险的区域性、灾害危险性、受灾体的价值及防灾有效度对干旱致灾强度、灾损、抗灾能力进行综合评价,构建干旱评估模型,估算的结果及其区域分布。构建灾害评估模型就是根据灾害损失评估的要求和准则、综合指标体系、灾害损失评估目标和层次建立起数字模型^[36]的过程。干旱评估的核心内容是对干旱强度、规模、损失、影响及其造成的后果进行评价和估算。影响干旱的因子很多,主要有早期长短、降水量、降水日数、温度、日照时数、相对湿度、蒸发量、土壤保水能力、下垫面特征等,干旱评估通常是针对这些影响干旱的因子从干旱的强度、干旱面积比、抗灾能力

等因素入手,应用时间序列分析、多元回归分析、延神经网络、人工神经网络、模糊数学方法、混沌优化算法、灰色聚类分析等数理统计方法、地理信息系统的空间分析方法以及不完备样本的信息扩散方法等方法构建干旱评估体系,建立干旱评估模型,进行干旱定性或定量评估。

在国外,帕默尔提出了一套分析计算干旱严重程度的完整方法(PDSI方法)。帕尔默认为,实际降水与CAFEK降水的差值,在某种程度上反映了天气中水分因素与正常情况时的偏差大小^[37];Moran在能量平衡双层模型的基础上,提出水分亏缺指数(Water Deficit Index, WDI),通过建立作物的表面温度与气温之差与植被指数的关系来估算作物水分亏缺状况,应用于部分覆盖地表状况下缺水状况评估^[38];Sand-holt等提出了应用温度植被干旱指数(Temperature-vegetation Dryness Index, TVDI)对干旱地区土壤水分进行评估^[39]。在干旱评估模型的研究方面,国外具有代表性的模型有AKWA模型、Hydrocycle-1.0模型和Granier的水分平衡模型^[40]、BROOK90模型^[41]。

在国内,黄崇福等引入了信息扩散的模糊数学方法,针对小区域内历史灾情资料不多的特点,对历史灾情资料进行优化处理,提供了农业自然灾害风险评估的途径^[42];李文亮等采用信息扩散理论对黑龙江省干旱气象灾害进行了风险评估与区划研究^[43];何平等采用降水Z指数变化方法和彭曼综合法,探讨了有关旱涝评估的方法和标准,并以本溪为例,分析了本溪旱涝的变化规律^[44];魏一鸣等借鉴人工神经网络在分类、容错方面表现出的较好能力,探讨了用于灾情评估的人工神经网络模型^[45];张星等将灰色系统理论引入到农业气象灾害的评价与预测中,依照关联度排序结果对农业气象灾害进行等级划分^[46];霍治国等基于灾害风险分析的原理,提出了不同致灾因子、致灾指标序列的构建技术以及灾害风险估算模型的构建技术,致灾损失(减产率)的风险评估技术,致灾指标的风险评估技术,减灾措施降低灾害风险的评估技术^[47];还有学者提出了农业基本旱情评估的投影寻踪方法,根据农业旱情等级划分标准,构建了能够反映农业基本旱情系统变异信息的投影指标函数,引入自由搜索(Free Search, FS)算法,优化投影指标函数寻求最佳投影方向,利用最佳投影方向信息研究各种干旱指标对农业基本旱情评估的影响程度^[48]。在中国干

旱评估模式的研究方面,主要包括PS123模型、Wheat SM模型等作物生长模拟模型^[49-51]。模拟技术的应用为区域干旱的评估提供广阔的前景。

3S(GIS、GPS、RS)技术是目前对地观测系统中信息获取、存贮、管理、更新、分析和应用的主要方式^[52],能够大范围覆盖受灾地区,具有实时、高效、高时空分辨率、快速方便、灵活机动、大范围监测和综合集成的特点。近年来,3S技术被广泛应用于干旱的监测与评估中,构建了基于3S的干旱风险区划、干旱跟踪评估、干旱灾后评估的技术体系。

国外对干旱遥感监测的研究始于20世纪70年代,当时主要采用热惯量方法对土壤含水量进行遥感监测;80年代,干旱遥感监测取得了进一步的发展,如Crist等用NOAA/AVHRR的植被指数(NDVI)与气象资料(降水等)预报加拿大东部地区的农田干旱^[53];此后,Henricksen用多时相NOAA/AVHRR的可见光和近红外影像对1983-1984年埃塞俄比亚干旱进行了监测^[54];遥感技术在印度的自然资源和环境开发领域应用也非常广泛,并在水利工程计划中已取得了明显的经济效益和社会效益^[55]。

在国内,冯锐等依托GIS技术,利用VBA及Arc Objects建立了干旱监测评估系统,通过对辽宁省再分区,监测其干旱情况,并结合高程数据和土地利用等地理信息系统数据,对干旱定量评估进行了探讨^[56];王春林等借助GIS技术,对离散DDI资料进行1 km空间分辨率的精细化反演,结合土地利用信息,对广东干旱发生、发展及其强度、范围的进行了实时动态监测和评估^[57];李凤霞等以地面常规监测、气候监测和空间遥感监测相结合,设计和建立了“监测-评估-预测-预警”信息业务系统^[58];盛绍学等以NOAA/AHVR为资料,结合下垫面信息,对安徽省内干旱发生的动态变化、空间分布、危害程度等进行了遥感监测与评估^[59];裴浩、敖艳青等提出了适用于极轨气象卫星资料的可以较好地反映土壤干旱程度的干旱指数,建立了各层土壤含水量与干旱指数之间的关系模式,生成了实验区土壤干旱等级图^[60]。3S技术在干旱评估中的应用,极大地加强了旱情实时、动态监测和评估的能力,对于干旱评估准确性的提高具有明显的促进作用。

2.3 关于干旱评估类型的研究

2.3.1 干旱的风险评估

风险(Risk)的概念最早是由西方学者于19世纪末在经济学领域中提出,是指从事某项活动结果

的不确定性^[61]。UNDHA将自然灾害风险定义为特定区域和时间段中特定灾害的期望损失(人员伤亡,财产损失和对经济活动的干扰)。基于数学统计,风险就是灾害和脆弱性的产品^[62]。自然灾害是随机发生的风险事件,具有可被测量的不确定性。1994年Blakie等指出灾害是风险与脆弱性相互作用的结果。说明了致灾因子是触发灾害的必要条件,脆弱性存在是将受灾转化为成灾根本原因^[63]。

有国外学者认为灾害风险评估是一种结合可能性和不利作用的大小的混合测算方法^[64]。而中国学者在干旱风险的评估及模型建立中主要应用的是统计分析的方法,刘荣花等从冬小麦产量的实际灾损角度,对减产率、发生概率及产量的变异系数等因子进行了分析,构建了华北平原冬小麦干旱产量灾损风险评估模型并进行了实际灾损风险的区划^[65];李世奎等从灾害风险分析的角度构建了一个由中国北方冬小麦干旱等多种灾害组合的风险评估体系,估算了各种灾害强度和不同灾损发生的风险概率及风险指数,提出了风险区划指标并进行风险区域划分^[66];薛昌颖,霍治国等根据风险理论采用风险评估技术和方法,计算分析了历年冬小麦产量灾损的风险水平^[67];王石立、娄秀荣利用FAO产量与水分关系模型,计算出华北地区干旱引起的减产率,综合抗灾性能和承灾体密度,得到冬小麦各发育阶段的干旱风险度,并对其进行了分级定量评估^[68];薛昌颖等利用河北及京津地区冬小麦实际产量资料,选取历年减产率的变异系数、历年平均减产率和减产率风险概率作为评价指标,估算了干旱气候下河北及京津地区历年冬小麦产量灾损的风险水平^[69]。

干旱风险评估及其区划,主要是揭示干旱风险的区域性及其规律。上述风险评估研究多是由于干旱系统在农业的某个区域的某些方面的特征进行研究。对于干旱风险的评估主要是概率风险评估和可能性风险评估,而对于干旱风险评估在承灾体易损性评价和极值风险评估方面等研究还比较薄弱,这应该是未来干旱风险评估研究的重点。

2.3.2 区域干旱综合评估

干旱综合评估近年来一般都采用评估模型的方法,从社会生产力水平等因素入手,构建包括致灾等级、致灾损失的相关灾害量化指标和干旱综合模型的表征、应用,建立基于干旱性质、灾损和抗灾性能的概念模型、干旱强度概率模式和灾损量化模

式、抗灾性能模式及效果验证。区域灾情评估是在多个单次自然灾害过程的灾情基础上,综合评估区域内一定时间段内发生多次灾害过程的综合灾情强度、空间分布规律以及发展变化趋势等^[70]。

在国外,从20世纪70年代开始干旱综合评估主要分为利用作物生长模型对干旱对作物产量的影响进行综合评估和根据区域特点建立地区干旱模型对其区域干旱进行评估。作物模型主要有美国的CERES系列模型和GOSSYM系列模型^[71]、荷兰的SUCROS^[72]和MACROS^[73]系列模型以及澳大利亚的APSIM系统^[74];90年代起,国际上广泛开展了利用作物生长模型对农业气候资源的评价^[75-76]。农业生产模拟系统(小麦模型)APSIM—Wheat^[77-78]在作物生产评估中的应用广泛。

中国学者也在水稻、小麦、玉米、棉花等主要作物的模拟模型及个别生理过程模拟研究及作物生长模型评价方面取得了一定的进展。王晓红等根据风险理论,建立了包括农业干旱发生概率、抗旱能力、受灾体种植面积比等多因子的灌区农业干旱评估模型,该指标结合干旱风险评估模型对灌区农业干旱进行风险评估,分析出灌区各种作物对干旱风险度影响最大的生育阶段和风险度最高的农作物^[79];吴洪颜等根据江苏省的地理气候特点,运用地理信息系统的空间分析方法,监测了江苏的干旱情况并进行了评估^[80];薛晓萍等采用积分湿度指数方法,建立区域农业水分供应脆弱性分析模型,并以山东省为案例进行应用研究^[81];莫伟华等应用NOAA卫星资料,结合广西贵港市的数字化土地利用信息,通过时序分析方法计算了典型代表区的植被供水指数特征值划分旱情等级,生成农田旱情遥感图像,并对该区域进行了干旱评估^[82];王石立等利用Penman-Monteit参考蒸散估算方法,计算了华北各地历年小麦各发育阶段的相对蒸散。根据水分亏缺引起的不同减产程度,确定冬小麦各发育阶段干旱指标,据此分析了小麦干旱程度及发生概率。建立了冬小麦干旱综合评估模式^[83];刘静等利用FAO提供的小麦KC值和历年小麦生育期资料,模拟了中国西北旱作农区历年逐旬小麦需水量。通过土壤水分平衡方程各分量的订正,运用期望产量和作物水分生产函数建立了小麦单产的干旱灾损监测与损失评估模型^[84]。这些研究基本实现了干旱致灾强度、灾损、抗灾能力的定量估算,包括不同致灾强度、灾损等级出现的概率及其区域分布,

提出了相关灾害致灾强度、灾损、抗灾能力风险指数的等级指标及区域分布图,取得了干旱评估由定性描述向客观、定量表达的重要突破。

3 结论与讨论

(1) 现有干旱评估研究多侧重于农业干旱和区域单品种干旱灾情的特征研究,缺乏从系统的角度综合研究干旱对生态环境、社会经济效应等区域灾害系统的研究,干旱评估模型不能反映干旱带来的全部影响。未来的干旱研究,应在分析干旱系统整体特征的基础上,加强对干旱情景分析的相关研究以及干旱风险管理及其管理方法的探讨,评估内容上逐步重视灾害的社会经济影响评估,逐步形成干旱的灾前预评估、灾中应急评估、灾后综合评估的干旱评估指标体系、标准体系和方法体系。加强干旱评估模型的推广应用和干旱评估系统的研究开发,这些研究成果在社会生产实践及减灾工作中的应用亟待加强。

(2) 干旱是发生范围最广、频率最高、灾情和影响最严重的灾害。但文献表明,中国从事干旱研究的人员却不是很多。虽然近年来科研人员有所增加,但研究的连续性不足,深入研究的人员局限,为此应鼓励科研人员积极开展干旱评估的理论研究和应用研究,促进中国干旱评估体系的完善和发展。文献还发现,中国十年九旱的西北生态环境脆弱带的干旱评估研究较少。今后应把中国西北地区作为干旱研究的重点区域,实现西北干旱地区的科学抗旱减灾。

(3) 近年来,科学技术的进步推动了中国干旱评估研究的发展进程,3S等新型技术已逐渐应用在了干旱评估中。如何使这些先进技术在干旱评估中发挥更加重要的作用,是今后干旱研究需要加强的研究方向。另外,中国干旱评估研究者应密切追踪国外研究的新动向,密切关注该研究领域的国外研究进展和学术动态,进一步缩短中国在该领域与国际先进水平的差距。

(4) 干旱评估的理论研究虽然起步较早,但后续的理论研究却明显滞后于干旱评估的应用研究。有关科研人员应在干旱评估理论研究方面多做工作,全面认识干旱本质、成因及其发生规律是今后需要加强的课题,在干旱评估方面今后要加强

干旱对生态环境影响的研究,加强对区域干旱的耦合性、时空变化等系统的定量研究,促进中国干旱评估理论研究、应用研究工作的同步开展和科研水平的全面提高。

参考文献

- [1] 陈晓楠, 段春青, 刘昌明, 等. 基于两层土壤计算模式的农业干旱风险评估模型. 农业工程学报, 2009, 25(9): 51-55.
- [2] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions//Wilhite D A. ed. Drought: A Global Assessment. London & New York: Routledge, 2000:3-18.
- [3] 李世奎, 霍治国, 王道龙, 等. 中国农业灾害风险评价与对策. 北京: 气象出版社, 1999: 1-221.
- [4] 张星, 郑有飞, 周乐照. 农业气象灾害灾情等级划分与年景评估. 生态学杂志, 2007, 26(3): 111-115.
- [5] 宋连春, 邓振镛, 董安祥, 等. 干旱. 北京: 气象出版社, 2003: 54-55.
- [6] Schneider P J, Schauer B A. HAZUS: Its development and its future. Natural Hazards Review, 2006, 7(2): 40-44.
- [7] Yao Guozhang. Disaster Management System of Japan: Researches and Lessons. Beijing: Peking University Press, 2009.
- [8] Emergency Management of Australia. Manual 14 on Post Disaster Survey and Assessment. Australia: Emergency Management Australia, 2001.
- [9] United Nations, Economic Commission for Latin America, International Bank for Reconstruction and Development (The World Bank). Handbook for Estimating the Socio-economic and Environmental Effects of Disasters, 2005.
- [10] United Nations Development Group, European Communication, the World Bank. Joint Declaration on Post-Crisis Assessments and Recovery Planning [EB/OL]. <http://www.undg.Org/>, 2008.
- [11] Ji Lei, I Peters A J. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Remote Sensing of Environment, 2003, 87(1): 85-98.
- [12] Bahlme H N, Mooley D A. Large scale drought/flood and monsoon circulation. Monthly Weather Review, 1980, 108(8): 1197-1211.
- [13] Bogard H, Matgasovszky I. A hydroclimatological model of aerial drought. Journal of Hydrology, 1994, 153(1-4): 245-264.
- [14] Hayes M J, Svoboda M D, Wilhite D A, et al. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American Meteorological Society, 1999, 80(3): 429-438.
- [15] McKee T, Doesken N, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society. Boston, 1993: 179-184.
- [16] Cancelliere A, Di Mauro G, Bonaccorso B, et al. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. Water Resources Management, 2007, 21(5): 801-819.
- [17] Nalbantis I, Tsakiris G. Assessment of Hydrological Drought Revisited. Water Resources Management, 2009, 23(5): 881-897.
- [18] 商彦蕊. 农业旱灾研究进展. 地理与地理信息科学, 2004, 20(4): 101-105.
- [19] Sand-holt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(2): 213-224.
- [20] Jackson R D, Idso S B, Reginato R J. Canopy temperature as a drought stress indicator. Water Resource Research, 1981, 17: 1133-1138.
- [21] Alderfasi A A, Nielsen D C. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. Agricultural Water Management, 2001, 47(1): 69-75.
- [22] Yuan G F, Luo Y, Sun X M, et al. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winterwheat in the North China Plain. Agricultural Water Management, 2004, 64(1): 29-40.
- [23] 王劲峰. 中国自然灾害影响评价方法研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 58-86.
- [24] Richard R H, Lawrimore J H. The REDTI and MSI: Two new national climate impact Indices. Heimeta, 2003, 10(8): 1435-1442.
- [25] 徐向阳, 刘俊, 陈晓静. 农业干旱评估指标体系. 河海大学学报: 自然科学版, 2001, 29(4): 56-60.
- [26] 王春林, 吴举开, 黄珍珠, 等. 广东干旱逐日动态监测模型及其应用. 自然灾害学报, 2007, 16(4): 36-42.
- [27] 谢应天. 关于干旱指标的研究. 自然灾害学报, 1993, 2(2): 55-62.
- [28] 杨青, 李兆元. 干旱半干旱地区的干旱指数分析. 灾害性, 1994, 3(1): 34-39.
- [29] 田宏, 徐崇浩, 彭骏, 等. 四川盆地干旱动态评估指标的研究. 气象, 1998, 24(4): 11-15.
- [30] 邱林, 陈晓楠, 段春青, 等. 农业干旱程度评估指标的量化分析. 灌溉排水学报, 2004, 23(3): 34-37.
- [31] 王素艳, 霍治国, 李世奎, 等. 北方冬小麦干旱灾损风险区划. 作物学报, 2005(3): 267-274.
- [32] 庞万才, 周晋隆, 王桂芝. 关于干旱监测评估指标的一种新探讨. 气象, 2005, 31(10): 32-35.

- [33] 姚玉璧, 张存杰, 邓振镛, 等. 气象、农业干旱指标综述. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 185-190.
- [34] 朱自玺, 刘荣花, 方文松, 等. 华北地区冬小麦干旱评估指标研究. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 145-150.
- [35] 冯定原. 我国农业干旱的指标和时空分布特征. 南京气象学院学报, 1992, 15(4): 508-516.
- [36] 马宗晋, 方蔚青, 高文学, 等. 中国减灾重大问题研究. 北京: 地震出版社, 1992: 78-176.
- [37] Palmer W C. Meteorological Drought. Weather Bureau Res. Paper 45. U.S. Department of Commerce: Washington, DC, 1965: 58.
- [38] Moran M S, Clarke TR, Inoue Y, et al. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index. Remote Sensing of Environment, 1994, 49(3): 246-263.
- [39] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(2): 213-224.
- [40] Granier A, Breda N, Biron P, et al. A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. Ecology Modelling, 1999, 116(2-3): 269-283.
- [41] Federer C A, Vorosmarty C, Fekete B. Intercomparison of methods for calculating potential evaporation in regional and global water balances. Water Resources Research, 1996, 32(7): 2315-2321.
- [42] 黄崇福, 刘新立, 周国贤, 等. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法. 自然灾害学报, 1998, 7(2): 1-9.
- [43] 李文亮, 张冬有, 张丽娟. 黑龙江省气象灾害风险评估与区划. 干旱区地理, 2009, 32(5): 754-760.
- [44] 何平, 毕伯钧. 40年来本溪地区的旱涝变化特征及其评估方法. 自然灾害学报, 2006, 15(2): 38-43.
- [45] 魏一鸣, 万庆, 周成虎. 基于神经网络的自然灾害灾情评估模型研究. 自然灾害学报, 1997, 6(2): 1-6.
- [46] 张星, 陈惠, 周乐照. 福建省农业气象灾害灰色评价与预测. 灾害学, 2007, 22(4): 43-46.
- [47] 霍治国, 李世奎, 王素艳, 等. 主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究. 自然资源学报, 2003, 18(6): 1-9.
- [48] 王斌, 张展羽, 魏永霞, 等. 基于投影寻踪的农业基本旱情评估. 农业工程学报, 2009, 25(4): 157-162.
- [49] 李艳, 薛昌颖, 杨晓光, 等. 基于APSIM模型的灌溉降低冬小麦产量风险研究. 农业工程学报, 2009, 25(10): 35-43.
- [50] 孙宁, 冯利平. 利用冬小麦作物生长模型对产量气候风险的评估. 农业工程学报, 2005, 21(2): 106-110.
- [51] 张雪芬, 余卫东, 王春乙, 等. WOFOST模型在冬小麦晚霜冻害评估中的应用. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 337-341.
- [52] 高吉喜. RS和GIS技术在重大自然灾害监测评估中的应用. 中国环境监测, 1997, 13(6): 40-43.
- [53] Crist E P, Malila W A. A temporal spectral analysis technique for vegetation applications of Landsat. Proceeding 14th International Symposium Remote Sensing of Environment. Michigan, USA, 1980.
- [54] Henricksen B L. Reflections on drought: Ethiopia 1983-1984. International Journal of Remote Sensing, 1986, 7(11): 1447-1451.
- [55] 沈炳. 卫星遥感在印度自然资源和环境开发应用中的经济效益评估. 中国航天, 1992(2): 3-6.
- [56] 冯锐, 张玉书, 纪瑞鹏, 等. 基于GIS的干旱遥感监测及定量评估系统. 安徽农业科学, 2009, 37(26): 12626-12628.
- [57] 王春林, 董永春, 李春梅, 等. 基于GIS的广东干旱逐日动态模拟与评估. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 27(2): 20-25.
- [58] 李凤霞, 伏洋, 张国胜, 等. 青海省干旱预警服务系统设计及建立. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 1-5.
- [59] 盛绍学, 马晓群, 荀尚培, 等. 基于GIS的安徽省干旱遥感监测与评估研究. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 151-157.
- [60] 裴浩, 敖艳青. 极轨气象卫星监测土壤干旱方法的研究. 中国草地, 1996(5): 40-45.
- [61] Paul A S, William D N. Microeconomics. Boston: McGraw-Hill Irwin, 2001.
- [62] UNDHA. Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management. United Nations Department of Humanitarian Affairs, Geneva, 1992.
- [63] Blakie P, Cannon T, Davis I, et al. At risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. London: Routledge, 1994: 13-21.
- [64] Adams J. Risk. London: University College London Press, 1995: 228.
- [65] 刘荣花, 朱自玺, 方文松, 等. 华北平原冬小麦干旱灾损风险区划. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1068-1072.
- [66] 李世奎, 霍治国, 王素艳, 等. 农业气象灾害风险评估体系及模型研究. 自然灾害学报, 2004, 13(1): 77-87.
- [67] 薛昌颖, 霍治国, 李世奎, 等. 华北北部冬小麦干旱和产量灾损的风险评估. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 31-39.
- [68] 王石立, 娄秀荣. 华北地区冬小麦干旱风险评估的初步研究. 自然灾害学报, 1997, 6(3): 63-67.
- [69] 薛昌颖, 霍治国, 李世奎, 等. 灌溉降低华北冬小麦干旱减产的风险评估研究. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 131-136.
- [70] 袁艺. 自然灾害灾情评估研究与实践进展. 地球科学进展, 2010, 25(1): 22-32.
- [71] Ritchie J T. Model for predicting evaporation from a row crop with in complete cover. Water Resources Research, 1972, 8(5): 1204-1213.
- [72] Van Keulen H, Penning De Vries F W T, Drees E M. A summary model for crop growth//Penning de Vries F W T,

- van Laar H H (eds.). Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monographs, PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 1982: 87-98.
- [73] Penning de Vries F W T, Jansen D M, Ten Berge H F M, et al. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops//Simulation Monographs, PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 1989: 271.
- [74] McCown R L, Hammer G L, Hargreaves J N G, et al. APSIM: A novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural system research. *Agricultural System*, 1996, 50(3): 255-271.
- [75] Hammer G L, Muchow R C. Assessing climatic risks to sorghum production in water-limited subtropical environments I: Development and testing of a simulation model. *Field Crops Research*, 1994, 36(3): 221-234.
- [76] Muchow R C, Hammer G L, Vanderlip R L. Assessing climatic risk to sorghum production in water-limited subtropical environments II. Effects of planting date, soil water at planting and cultivar phenology. *Field Crops Research*, 1994, 36(3): 235-246.
- [77] Keating B A, Carberry P S, Hammer G L. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 2003, 18(3-4): 267-288.
- [78] Probert M E. Modeling water Nitrogen and crop yield for a long-term fallow management experiment. *Australia Journal of Experimental Agriculture*, 1995, 35(7): 941-950.
- [79] 王晓红, 乔云峰, 沈荣开, 等. 灌区干旱风险评估模型研究. *水科学进展*, 2004, 15(1): 77-81.
- [80] 吴洪颜, 张旭晖, 黄文杰. 地理信息技术在干旱分析中的应用. *气象科学*, 2003, 23(2): 238-245.
- [81] 薛晓萍, 张璇, 刘荣花, 等. 区域农业水分供应脆弱性分析及定量损失评估. *自然灾害学报*, 2007, 16(1): 94-100.
- [82] 莫伟华, 王振会, 孙涵, 等. 基于植被供水指数的农田干旱遥感监测研究. *南京气象学院学报*, 2006, 29(3): 396-401.
- [83] 王石立, 娄秀荣, 庄立伟. 相对蒸散在冬小麦干旱宏观评估中的应用. *气象学报*, 1998, 56(1): 104-111.
- [84] 刘静, 王连喜, 马力文, 等. 中国西北旱作小麦干旱损失评估方法研究. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 201-207.

Review of Drought Disaster Evaluation

LI Fen^{1,2}, YU Wenjin¹, ZHANG Jianxin², ZHU Fengqin¹, LIU Yingli¹

(1. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

2. Shanxi Meteorological Bureau, Taiyuan 030002, China)

Abstract: Drought is a disaster which arises most frequently in the broadest area and has the most severe impact among natural disasters. In recent years, because the loss from natural disasters increased obviously, governments have paid more and more attention to the mitigation works. Scientists have begun to evaluate the impacts of natural disasters, including drought. This paper aims to grasp the actual situation of drought evaluating study and promote its further deepening. The research progress at home and abroad about drought from index, evaluating theory, evaluating methods and evaluating types is summarized. It is found from analysis that now-existing drought evaluating study mainly focuses on agricultural drought and single crop variety drought, lacking the simulation study of drought impact on ecological environment and social economy from a system point of view, and the drought evaluating models can not simulate the systematic impact of drought. It is suggested that future drought evaluating study should use more new techniques and methods and advance to the direction of multidisciplinary and comprehensive study.

Key words: drought; evaluation; study; progress

本文引用格式:

李芬, 于文金, 张建新, 等. 干旱灾害评估研究进展. *地理科学进展*, 2011, 30(7): 891-898.