

农业干旱风险评估研究综述

徐新创^{1,2},葛全胜¹,郑景云¹,刘成武²

(1.中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101; 2.咸宁学院 资源与环境科学学院,湖北 咸宁 437005)

摘 要:对农业干旱风险致险性、脆弱性及损失模型等方面进行了深入系统的回顾与评述,阐述了农业干旱风险研究的前沿领域和学术问题,展望了农业干旱风险未来的发展趋势:农业干旱致险性评估的关键是构建合适的干旱指标,目前干旱评估指标很多,大致可分为水分变异程度指标、干旱发展过程指标和干旱空间差异指标三类,但多数指标对农业干旱成灾过程反映不足,在评估方法上对农业干旱灾害机理认识不深入,成为了农业致险性评估的瓶颈;农业干旱脆弱性通常决定着农业干旱风险的高低,其中,灌溉能力、技术、资金等是影响农业脆弱性高低的重要因子,而定量刻画农业干旱脆弱性对政策、技术、保险等人文因素的响应是当前研究的薄弱环节;农业干旱风险损失评估模型较多,但由于受区域、人为等因素影响,多数模型普适性较差。因此,未来农业干旱风险评估需要深入认识农业干旱影响的机理和过程,突出研究农业干旱脆弱性对人文因素变化的响应,并通过区间合作来进一步改进风险损失模型。

关键词:农业干旱风险;干旱致险性;承灾体脆弱性

中图分类号: S423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)06-0263-08

干旱是影响农业生产的主要气象因素。据测算,全球每年因干旱造成的经济损失高达60~80亿美元,且大部分损失表现在农业部门^[1,2]。IPCC在其系列评估报告中指出,未来干旱风险有不断增加的趋势^[3,4]。为了应对未来干旱灾害的影响,各国政府将会开展大量的工程和非工程减灾行动。然而,减灾行动一般都涉及到巨额的资金投入或影响广泛的社会系统的调整,显然,盲目的减灾行动必然导致人力、物力和财力等的大量浪费,有悖于减灾的初衷。只有对灾害孕育、发生、发展、可能造成的影响进行科学、系统的分析,才能避免行动的盲目性。灾害风险评估是科学、系统分析灾害风险的一种重要途径,是减灾政策形成的重要过程^[5]。因此,开展农业干旱风险评估研究十分有意义。

农业干旱风险是农业风险中最为普遍的一种自然灾害风险,它是农业干旱对农业生产、农民生活造成损失的可能性概率^[6]。依据风险评估理论^[7-9],农业干旱风险是由干旱致险性和农业承灾体的脆弱性共同构成的,其风险估算是通过一定的干旱致灾危险性模型、承灾体脆弱性评估模型进行风险量化计算,从而确定可能的损失度或损失等级的过程^[10](图1)。目前,由于自然灾害风险理论与方法的不断发展,农业干旱风险研究也取得了长足的进步。本文围绕农业干旱风险的构成要素及其评估过

程,分别从农业干旱风险的致险性、农业承灾体的脆弱性及农业干旱风险评估模型等三个方面归纳了目前的研究现状,指出研究中存在的主要问题,以及今后研究的主要发展方向。

1 农业干旱致险性研究

农业干旱的致险性是由某种干旱发生的强度和频率决定。一般而言,在假设干旱承灾体脆弱性相同的情况下,干旱灾害强度越大,发生频次越高,则灾害的致险程度越高,反之,其致险程度低^[11]。由于农业干旱致险性评估是在历史资料基础上进行的,干旱灾害频次变化从统计角度易于获取,而干旱强度的判断则比较复杂,因此,进行农业干旱风险评估时多数学者均致力于干旱强度评价指标的研究。另外,农业干旱致险性评估方法也是目前研究的重点内容。

1.1 农业干旱致险性评估指标

农业是由农业、作物、农户等不同对象组成的复杂系统,由于评估对象、目的不同而形成了多种多样的干旱指标。在区域农业干旱评估中,有的以旬或月降水量的变异程度构建指标,指示区域水资源的丰欠程度,评估区域干旱程度;也有的通过作物受旱生理机理过程构建干旱指标,探讨不同生育期缺水程度影响;此外,有的研究^[12]把区域环境、干旱发展

收稿日期:2010-05-31

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-315-4);国家科技支撑计划重大项目(2008BAK50B06);湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队资助计划项目(T200708);湖北省自然科学基金资助项目(2006BAB15B02)

作者简介:徐新创(1976—),男,博士研究生,主要从事农业环境资源变化研究。E-mail: xuxc.08b@igsnrr.ac.cn。

时空过程等作为构建干旱评估指标的主要因素。目前,各种各样的干旱指标不下百种,但在干旱风险评估中使用最多的无外乎为以下三类。

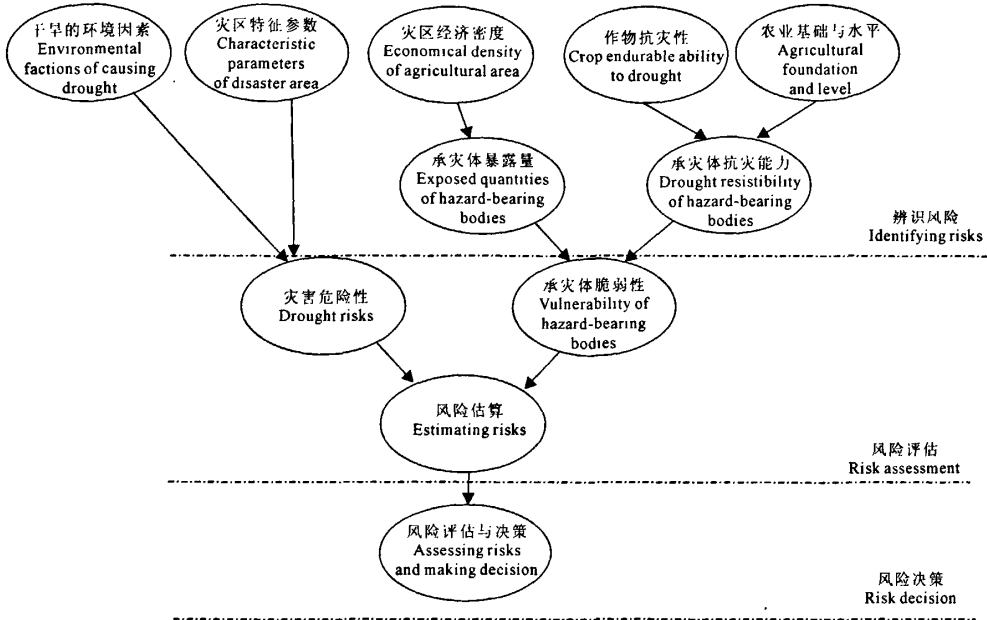


图 1 农业干旱风险评估过程

Fig.1 Risk assessment process of agricultural drought

水分变异程度指标。这类指标大多以“缺水”作为研究的出发点,以降水作为核心因素,从水分变异引起的水分平衡偏离程度来考察干旱程度。一些突出降水变异特征的简单指标,如降水距平、缺水百分率、缺水成数等成为研究者首先选用的对象。这类指标构建的基本思路是,设定一个基值(通常以历史某时期的降水平均值作为比较参考的基值),然后将评估时段降水值与此基值比较,获得一个可衡量偏离基值程度的无量纲值,并根据事先拟定的标准来表示干旱程度。此类指标结构简单,计算方便,适用于综合的宏观评估。但是仅以降水多寡来反映复杂的干旱现象显然不够全面,并且,农业干旱并非真正出现在降水结束时,而是出现在植物根系不能获取到所需的水分时,因此,还应考虑初始土壤水分墒情^[13]。然而该类指标却不能诊断土壤水分墒情,无法界定干旱起始时间,因而难以表达干旱发展的过程。

干旱发展过程指标。为了弥补水分变异程度指标的不足,使干旱指标能够反映土壤水分亏缺缓慢累积的过程,一些研究把干旱程度看作水分亏缺量和持续时间的函数,通过降水、蒸发、初始土壤水分、径流等因素构建了土壤水分距平指数(SMAI)^[14],作物水分指数(CMI)^[15],Palmer(PDSI)指数^[16]等指标。

其中 Palmer 指数技术曾被认为是“把降水和温度结合起来作为预测变量的最满意的方案”(Julian etc, 1968),在美国得到广泛使用。然而 Palmer 指数并非完美无缺,Guttman 等人^[17]在计算美国的 PDSI 时发现,通常气候条件下大平原地区的 PDSI 值比其它地方趋势更为严重些,同时还发现,PDSI 将所有降水都处理成雨水也是不精确的,因为降水不可能立刻成为两层土壤模式中的水。另外,由于在求解土壤湿度的水分平衡方程过程中涉及到的几个参数是根据美国几个台站的观测数据经验求得的,因此在实际应用传统 PDSI 指数的过程中,通常需要调整计算公式中的上述参数,这就极大限制了在较大空间尺度上开展气候干湿变化分析及其在不同地区进行相互比较的研究。因此,在具体使用时,一些研究对该指数进行了适当的修正^[18,19]。

干旱空间差异指标。为了更好地展开区域间干旱程度的比较,Mckee 等^[20]提出另外一种适用更为广泛的干旱评估指标——降水标准化指数(SPI)。这一指数有赖于大范围的实测降水资料,从概率上描述所需时间尺度上的降水短缺,在资料处理、计算过程方面比较简单,更为重要的是其结果利于时空比较。因此,Keyantash 等^[21]认为 SPI 在普适性、实用性等方面是综合评价最优的一种指标。但 SPI 指

数在应用中仅考虑降水因素,忽略了其它因素(如气温、土壤、土地利用方式等)对干旱的影响,结果的准确性显然会受到影响^[22];另外,SPI计算资料年限要求较长,Guttman^[17]认为对1a或更短的干旱期,资料年限至少需50a,对超过1a的干旱,资料年限应更长,这无疑增加了资料获取的难度。

以上研究可以看出,农业干旱形成是一个复杂的过程,很多机理仍很模糊,加上时空等因素的影响,干旱的发展过程很难确切把握,因此,难以形成一个普遍适用的指标。当前,关于农业干旱强度评估指标有很多,但在使用中都存在一些不足。随着现代技术水平的提高,各种实验条件的不断完善,这方面的研究将会更加广泛和深入。

1.2 农业干旱致险性评估方法

目前,干旱灾害致险性评估方法大致可归纳为图层叠合判别法、模糊数学法和产量损失风险评估法三类。

图层叠合判别法。这类方法是通过不同干旱等级的指标之间的叠加来识别干旱危险性水平,有两种表现形式:一种是以等级矩阵的方式表达,通常是用不同等级的干旱致灾频率与灾害程度来构建识别矩阵^[23],观察频率与灾害程度间的不同组合方式,结合实际情况,将组合结果分成若干等级来描述干旱风险的致险程度;另一种则是运用GIS技术,将不同的干旱致灾因子以栅格图层的形式在空间上进行叠加表达,通过GIS属性数据库操作和运算,获得区域灾害风险分级空间分布图。这类方法计算简单,空间表达效果好,常用来进行干旱风险区划^[24],但该方法人为主观性较强,具有一定的随意性。

模糊-概率等数理方法。灾害风险具有不确定性,因此,一些研究^[25~27]试图运用一些能刻画这种特征的数理方法来解决风险中的问题,如模糊综合评判法、模糊聚类分析法、马尔柯夫链模型以及基于信息扩散理论的评价法等,在干旱风险评估中被经常使用。特别是基于信息扩散理论的评价法,它可以通过优化利用样本模糊信息来弥补小样本导致的信息不足,因此,近些年来在干旱风险评估中广泛使用^[28]。

产量损失风险评估法。这种方法着眼于干旱影响结果,即通过历史资料获得灾害损失资料,以不同的农业损失程度刻画干旱强度,并结合一定的损失发生频率来进行干旱的致险度分析。研究中^[29,30],通常将早年气象产量(CY_i)看作是趋势产量(TY_i)与实际粮食产量(AY_i)的差值,即: $CY_i = AY_i - TY_i$ 。并认为趋势产量是反映历史时期生产力发展水平的长

周期产量分量,符合低频振动变化规律,由历史产量资料通过一定的方法拟合获取;气象产量则受以气象要素(干旱)为主的短周期变化因子影响的产量分量。气象因子年际变化明显,因此与趋势产量相比较,气象产量具有高频变化特点,且多呈正态分布特征。为便于比较,用相对损失率 $R(R = CY_i / AY_i)$ 替代绝对损失量来反映气象产量引起的损失变化,并将损失率按一定标准分成若干等级,形成损失等级,由此反映干旱灾害强度,进而与发生该种干旱强度的概率一起来评价干旱风险。这种由果及因的评估方法,评估简单,结果明了,但对于干旱影响作物产量的机理研究不足,并且该方法要有较好的时空序列资料作保证,而实际上一个地区很难有多年连续的降水和产量对应资料,因此如何找到足够的统计样本资料是另一个棘手的问题。

2 农业干旱风险脆弱性研究

自然灾害风险是自然灾害与承灾体脆弱性共同作用的结果,风险损失的水平直接与社会脆弱性相关,且在更大程度上由承灾体脆弱性决定^[31]。“At Risk”^[31]一书提出了灾害形成的压力与释放模型(灾害=致灾因子+脆弱性),认为致灾因子是灾害形成的必要条件,而脆弱性是灾害形成的根源,在同一致灾强度下,灾情随脆弱性的增强而加重。因此,为减缓灾害风险损失,必须开展承灾体脆弱性研究并探寻降低脆弱性的措施。农业旱灾脆弱性是指农业生产敏感于和易于遭受干旱威胁而造成损失的性质和状态^[32]。诊断农业旱灾系统脆弱性,主要是对农业系统易于遭受干旱影响,导致作物减产、农民收入减少、食物短缺和再生产能力下降的性质做出判断和评价。目前,农业干旱风险的脆弱性评估主要集中于区域农业脆弱性评估和农户脆弱性评估两个方面。

2.1 以区域农业为对象的脆弱性评估

区域农业脆弱性评估是以区域农业综合体为评价对象的一种宏观的评价过程。根据评价过程中侧重点不同,目前的研究突出表现在:一是侧重于区域农业脆弱性形成的内在机制研究。这类评估根据区域自然、环境、经济社会特点选取评估指标,以一定的逻辑关系构建多目标评估指标体系,通过评估结果比较分析区域脆弱性的差异,从而形成对区域农业脆弱性的总体认识。如刘兰芳等^[33]从生态环境、社会经济的角度,依照“压迫—响应”的思路,选择了降水量、蒸发量、水利化程度等9个指标评估了湖南省农业干旱脆弱性;倪深海等^[34]从水资源承载能

力、抗旱能力、农业旱灾系统三个方面选择人均水资源量、灌溉率等 7 个指标评价了中国农业干旱脆弱性,并进行了脆弱性区划;王静爱等^[35]从旱灾形成的系统性和过程性两个角度出发,考虑承灾体灾前、灾中和灾后的影响和不同反映,并针对“雨养农业、灌溉农业、水田农业”的不同特点设置指标,在承灾体的易损性、适应性、生产压力、生活压力等四个方面构建了农业旱灾承灾体脆弱性评估体系。二是侧重于辩识影响区域农业脆弱性的主要因子。农业是一个系统产业,受多种因素的影响,并且随着区域农业产业化进程的不断推进,影响农业的因子将会越来越广泛,尤其是一些社会人文因子在农业脆弱性影响中往往起到关键作用。如 Jinno 等^[36]从农业遭受干旱影响过程中灌溉条件的好坏,分析农业旱灾灾情形成中,脆弱性条件的作用机制,认为灌溉对缓解旱情的作用是决定性的;Olga 等^[37]选取了气候、土壤、土地利用和灌溉率四个因子定量评价了那布拉斯州不同区域的农业脆弱性空间分布状况,指出土壤持水能力和灌溉保证程度是影响该区域脆弱性的最重要因素;美国国家旱灾防御中心主任 Wilhite^[38]认为,区域经济条件是农业旱灾脆弱性形成的关键因素,Fraser 等^[39,40]认为技术、资金等社会经济因素是中国东部主要粮食作物(小麦、玉米、水稻)干旱脆弱性影响的主要因子。

由以上研究不难看出,随着社会经济对农业生产影响的不断深入,一些社会、经济、技术等方面的因素越来越成为决定区域农业脆弱性高低的重要因子。有些研究虽已注意到一些社会、人文因子对农业干旱脆弱性的影响,但由于社会、经济、人文因子对农业承灾体的影响涉及到复杂的社会调控反馈系统,其中的过程很难量化刻画,如保险、区域贸易、信贷等宏观因子对农业脆弱性影响在现实中很难量化分析,其实也反映了对于干旱与农业承灾体之间关系缺乏足够的认识。为此,区域农业干旱脆弱性研究还需进一步拓宽视野,从多学科、多层次、更为广泛的社会系统去考察,才能把握其干旱脆弱性特性。

2.2 以农户为对象的脆弱性评估

农户是农业风险的最终承担者,农户主体的脆弱性直接影响农户的干旱风险。与物化的承险体所不同,农户具有主观能动性,这种能动作用会促使其积极或消极地去应对干旱的影响,当然,农户行为在一定程度上要受各种因素的制约。因此,农户能动性—农户行为—制约因素三者相互作用形成了农户脆弱性分析的主要关系过程。基于这种过程的存在,多数研究将农户干旱脆弱性影响因子看作是内

在和外在因素共同影响的结果。

从内在因素来看,农户经济水平、受教育程度、农业资源结构形式等因素影响农户的干旱脆弱性。如贫富差距、文化程度高低反映了农户在财富和认知方面的差别,表现在干旱灾害过程中显示的则是备灾能力的高低^[41]。一般而言,贫穷农户比富裕农户脆弱性高,对于干旱识别较晚或完全没有识别的农户也比较早识别干旱的农户脆弱性高。另外,农户的资源结构在一定程度上展现的是农业资源在干旱中的暴露形式,也会影响农户的干旱脆弱性程度。研究表明^[42,43],田块大小的多样化,禽畜养殖的多样化以及多样化的作物种植类型等农户农业资源多样化结构,能有效分散干旱灾害损失风险,形成资源内在的干旱缓解的能力,因此,农业资源多样化的农户显然要比农业资源结构单一的农户干旱脆弱性低。同时,一些研究^[44,45]还认为,家庭劳动力结构、家庭收入结构等家庭经济结构的差异,也会形成农户干旱应对能力的差异,从而形成不同的农户干旱脆弱性水平。

从外在因素来看,一些研究^[46-49]指出,土地政策、税收、农业补贴、信贷、保险以及区域经济的自由贸易程度等外部经济因子在很大程度上决定着农户的干旱脆弱性。有别于传统农业,随着农业现代化的不断推进,农业与其它行业之间的依存度越来越大,同样的干旱程度,不同的政策、信贷或税收等因素会导致不同的影响结果。而面对宏观的行业或市场行为,农户的个人作用已微乎其微,并且随着当前经济区域化、全球化程度的日益加深,宏观人文因子对于干旱脆弱性的影响愈加深刻^[50,51]。

因此,农户脆弱性是内外因素共同作用的结果,其中,改变农户内在因素在一定程度上能降低农业干旱的脆弱性,但这种改变对分散风险的作用是有限的,只有将外部的社会系统因素调动起来才能有效地增强农户抵御风险的能力,只有努力提高农业的社会保障水平才是降低农户干旱脆弱性的关键。

2.3 农业干旱脆弱性评估方法与模型

目前,农业干旱脆弱性评估主要集于一些脆弱性指标的认识和研究,而农业脆弱性评估方法和模型研究相对滞后。图 2 是当前农业干旱脆弱性评价的一般流程,在确定农业干旱承险体脆弱性评估的基本内容及具体指标后,为将不同部门、不同类别的统计资料整合起来,一般会运用层次分析法、主成分分析法、灰色聚类分析、模糊综合评判法等方法加以耦合,然后通过综合权重指数模型进行运算^[41-43],获得脆弱度评估值。综合权重指数模型一般计算公

式为:

$$V_i = \sum_{j=1}^m X_{ij} W_{ij}$$

式中, V_i —旱灾脆弱度; n —指标体系有 n 层, m —指标因子个数, i —指标体系第 i 层, j —第 j 个指标因子; X_{ij} —第 i 层第 j 个指标的处理值; W_{ij} —第 i 层第 j 个指标的权重。

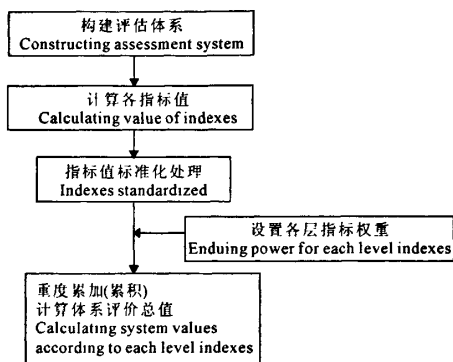


图2 承灾体脆弱性评估流程

Fig.2 Assessment process of hazard-bearing bodies vulnerability

在具体评估模型研究中,最有代表性的是王静爱等^[35]根据我国农业干旱脆弱性形成过程的区域差异,将我国农业干旱脆弱性模型分成雨养农业的易损—适应模型(RA)、灌溉农业的生产—生活压力模型(IA)和水田农业的需水—灌水模型(PA)。其中,RA模型以农业为重心,将区域影响农业干旱脆弱性的所有因素分成正、负两部分,分别代表区域环境和农业生产基础条件对农业干旱脆弱性的影响;IA模型则以农业活动为核心,将农业活动分成农业生产和农民生活两个过程,以农业活动所受到的影响(压力)来反映农业干旱的脆弱性;PA模型主要是从水分平衡的角度,以区域水资源保证和供给能力为线索,从耕地需水、灌溉和农业投入三个方面入手评估区域农业的干旱脆弱性,这些模型在我国区域农业脆弱性评估应用中已取得很好的效果^[52,53]。但是,人类社会因素对农业系统的影响是一个高度复杂的非线性问题,而这些模型仅以线性方式来描述复杂的非线性过程影响,因此,揭示变量(影响指标)脆弱性的影响结果与实际情况会存在一定的差距,这也是目前承灾体脆弱性评估中的亟待解决的问题。

3 农业干旱灾害风险损失模型研究

干旱灾害风险损失是在一定强度的干旱灾害作用下,人类社会、环境、经济遭受损害或损失大小的

可能性,是承灾体危险性与脆弱性综合作用的结果,通常用风险度或风险损失等级来度量干旱的风险损失程度^[54~56]。当前干旱风险损失评估模型主要有以下几种类型:

基于干旱对农业产量影响的水分—产量损失模型。该模型从微观的角度出发,以干旱对农作物不同生长阶段产量影响为评估目的,通过试验观察、监测等方式获得相关参数,构建水分—产量模型,计算干旱引起的作物风险损失程度^[57,58]。这类模型,通常需要土壤、气温、水分蒸发等实验数据,因此只适用于较小区域评估。

基于经济学原理的投入—产出关联模型。从区域宏观经济角度,将社会系统作为评估对象,运用经济学理论与方法,评估干旱对区域经济系统的可能影响,如 Habibollah Salami^[59]的线性规划模型、投入—产出模型^[60]以及其它一些经济关联增长模拟方法^[61]。这些模型虽然考虑了经济系统中经济因子的相互影响关系,试图更好地估算干旱风险损失的影响范围和程度,但由于经济系统复杂而庞大,计算过程相当繁琐,特别是需要大量基础数据支撑,因此,如何获取较好的经济部门数据成为关键。

基于风险评估原理的风险损失度模型。干旱灾害风险是干旱危险性与承灾体脆弱性共同作用结果,通过两者之间不同的运算(如矩阵等级法、求和或求积法)来获取最终的风险损失结果。这种评估方法从灾害风险的基本概念出发,构建相关模型,是目前较为流行的评估方式。但该方法主观性较强,评估结果人为影响较大。

基于风险不确定性的模糊数学模型。一些研究者考虑到干旱风险损失的不确定性和模糊性特征,因此,运用模糊数学的基本原理,进行模糊评判分析^[62,63]。该方法从干旱风险损失结果出发,避开了干旱损失形成的复杂过程,计算简单,但主观性强,个人的判断往往影响评价结果。

4 问题与展望

农业干旱形成的机理与过程模拟不够。多数研究集中于降水多少的研究,而对于农业干旱产生过程中土壤、作物的影响重视不足,因而,各类干旱评估指标在表达干旱发展的机理和过程时存在着明显的缺陷,评估结果与现实之间存在较大差距。

农业干旱脆弱性评估缺乏有效的方法。多数研究仅用简单的线性关系来表达农业脆弱性因素之间的复杂关系,并不能真正揭示其本质特征,另外,评价者少有考虑干旱灾害风险的分散机制研究,因此,

一些社会人文因素在脆弱性考核中通常被忽略。

农业干旱灾害风险评估应以未来的全球变化作为研究背景。全球变化已成为不争的事实,干旱风险评估应以未来区域的全球变化响应作为其评估的起点,特别是关注全球变化下的区域降水、气温的变化,只有在此基础上,评估结果才有现实意义。

农业干旱承灾体脆弱性研究仍是未来研究的重点。由于农业干旱承灾体的承险过程和机理研究尚不成熟,承灾体脆弱性研究内容并不完善,一些经济、社会、人文因素对农业干旱脆弱性研究仍处于起步阶段,如何在相关学科的推动下,定量化表达这些因子的影响是未来研究的热点。

农业干旱灾害风险与信息技术结合是未来研究的必要手段。信息论、控制论、系统论、模糊数学论、分形分维等理论将会进一步推动灾害学的发展,也会使干旱灾害风险研究的理论体系更加完善。另外,遥感技术、地理信息系统技术以及一些预测技术的发展将会大大提高干旱风险研究的精度。

跨区域合作研究逐步加强。干旱灾害影响范围广,因此一些大区域或全球性干旱风险的研究需要各国或各地区之间的相互合作支持。

参考文献:

- [1] 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[J].自然灾害学报,2004,13(1):77—86.
- [2] Wilhite D A, Wilhite D A. Drought: A Global Assessment[M]. London, UK: Routledge Publishers, 2000:3—18.
- [3] IPCC. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability of Climate Change, working group II report[M]. London: Cambridge University Press, 2001.
- [4] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability [R]. Contribution Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [5] 黄崇福.自然灾害风险评价[M].北京:科学出版社,2005.
- [6] 国家科委,国家计委,国家经贸委自然灾害综合研究组.中国自然灾害区划研究进展[M].北京:海洋出版社,1998.
- [7] UNDRO. Mitigating Natural Disasters, Phenomena, Effects and Options. A Manual for Policy Makers and Planners[M]. New York: UNDRO, 1991.
- [8] Alexander D. Confronting Catastrophe: New Perspectives Natural Disasters[M]. Oxford UK: Oxford University Press, 2000.
- [9] Mechler R. Natural Disaster Risk Management and Financing Disaster Losses in Developing Countries [M]. Karlsruhe: Verlag Versicherungswirtschaft GmbH, 2004:41—50.
- [10] Wiliam J, Petak, Arthur A A. Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy Anticipating the Unexpected[M]. Springer ~ Verlag New York Inc, 1982.
- [11] 葛全胜,邹名,郑景云,等.中国自然灾害风险综合评估初步研究[M].北京:科学出版社,2008:156—156.
- [12] 苏筠,周洪建,崔欣婷.湖南鼎城农业旱灾脆弱性的变化及原因分析[J].长江流域资源与环境,2005,14(4):523—526.
- [13] Therntwaite C W, John R Mather. The role of evapotranspiration in climate[J]. Theoretical and Applied Climatology, 1951,3(1):16—39.
- [14] Bergman K H, Sabol P, Miskus D. Experimental indices for monitoring global drought conditions[C]//Proc, 13th Annual Climate Diagnostics Workshop, Springfield, VA: National Technical Information Service, U S, Dept Commerce, 1988:190—197.
- [15] Palmer W C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the Crop Moisture Index[J]. Weatherwise, 1968,21:156—161.
- [16] Palmer W C. Meteorological Drought, Research Paper No. 45[R]. Washington DC: US Weather Bureau, 1965.
- [17] Guttman N B. Accepting the Standardized Precipitation Index: A calculation algorithm[J]. J Amer Water Resour Assoc, 1999,35:311—322.
- [18] 卫捷,马柱国. Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较[J].地理学报(增刊),2003,58:117—124.
- [19] 安顺清,邢久星.帕尔默干旱模式的修正[J].气象科学研究院刊,1986,1(1):75—82.
- [20] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. Drought monitoring with multiple timescales. Preprints[C]//Eighth conf. On Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc, 1993:179—184.
- [21] Narasimhan B, Srinivasan R. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2005,133:69—88.
- [22] 王玲玲,康玲玲,王云璋.气象、水文干旱指数计算方法研究概述[J].水资源与水工程学报,2004,15(3):15—18.
- [23] Shi Pei-jun, DU Juan, Ji Meng-xi, et al. Urban risk assessment research of major natural disasters in China[J]. Advances in Earth Science, 2006,21(2):170—177.
- [24] 罗培.基于 GIS 的重庆市干旱灾害风险评估与区划[J].中国农业气象,2007,28(1):100—104.
- [25] 龚宇,花家嘉,陈昱,等.唐山地区种植业干旱灾害特征及模糊风险评估[J].中国农学通报,2008,24(8):435—438.
- [26] 韩宇平,阮本清,周杰.马尔柯夫链模型在区域干旱风险研究中的应用[J].内蒙古师范大学学报,2003,32(1):65—70.
- [27] 王积全,李维德.基于信息扩散理论的干旱区农业旱灾风险分析[J].中国沙漠,2007,27(5):826—830.
- [28] 孙才志,张翔.基于信息扩散技术的辽宁省农业旱灾风险评估[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(4):507—510.
- [29] 于沪宁,李伟光.农业气候资源分析利用[M].北京:气象出版社,1985:199—204.
- [30] Wang S W, Ye J L, Qian W H. Predictability of drought in China [C]//Wilhite D A. Drought: A Global Assessment, Natural Hazards and Disasters Series. London and New York: Routledge, 2000:100—112.
- [31] Blaikie P, Cannon T, Davis I, et al. At Risk: Natural Hazards, People Vulnerability, and Disasters [M]. London and New York: Routledge Publishers, 1994.
- [32] John K, John A D. 干旱的定量化:干旱指数的评价[J].干旱气

- 象, 2005, 23(2): 85—94.
- [33] 刘兰芳, 刘盛和, 刘沛林, 等. 湖南省农业旱灾脆弱性综合分析与定量评价[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(4): 78—83.
- [34] 倪深海, 顾颖, 王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 705—709.
- [35] 王静爱, 商彦蕊, 苏筠, 等. 中国农业旱灾承灾体脆弱性诊断与区域可持续发展[J]. 北京师范大学学报, 2005, (3): 130—137.
- [36] Kenji Jinno. Risk Assessment of a water supply system during drought[J]. Water Resources Development, 1995, 11(2): 185—204.
- [37] Olga V W. Assessing vulnerability to agricultural drought: A nebraska case study[J]. Natural Hazards, 2002, 25: 37—58.
- [38] Wilhite D A, Hayes M J, Knutson C, et al. Planning for drought: moving from crisis to risk management[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36: 697—710.
- [39] Elisabeth Simelton, Evan D G Fraser, Mette Termansen. Typologies of crop-drought vulnerability: an empirical analysis of the socio-economic factors that influence the sensitivity and resilience to drought of three major food crops in China (1961 ~ 2001) [J]. Environmental Science & Policy, 2009, 12: 438—452.
- [40] Evan D G, Fraser, Mette T, et al. Quantifying socioeconomic characteristics of drought-sensitive regions: Evidence from Chinese provincial agricultural data[J]. C R Geoscience, 2008, 340: 679—688.
- [41] Patt A, Gwata C. Effects of seasonal climate forecasts and participatory workshops among subsistence farmers in Zimbabwe[J]. Proceeding of the National Academy of Science, 2004, 102(35): 12623—12628.
- [42] Fabiano T, Evandro H J. The effects of land tenure on vulnerability to droughts in Northeastern Brazil[J]. Global Environmental Change, 2008, 18: 575—582.
- [43] Siri E, Julie A S. The vulnerability context of a savanna area in Mozambique: household drought coping strategies and responses to economic change[J]. Environmental Science & Policy, 2009, 12: 33—52.
- [44] Wobst P. The impact of domestic and global trade liberalization on five Southern African countries[J]. Journal of Development Studies, 2003, 40(2): 70—92.
- [45] 王志强, 杨春燕, 王静爱, 等. 基于农户尺度的农业旱灾成灾风险评价与可持续发展[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 94—99.
- [46] Thomas D S G, Twyman C, Osbahr H, et al. Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa[J]. Climatic Change, 2007, 83(3): 301—322.
- [47] Thebaud B, Batterbury S. Sahel pastoralists: opportunism, struggle, conflict and negotiation. A case study from eastern Niger[J]. Global Environmental Change, 2001, 11(1): 69—78.
- [48] Eakin H. Weathering Risk in Rural Mexico. Climatic, Institutional, and Economic Change[M]. Tucson: The University of Press, 2006.
- [49] Dicken P. Global Shift: Mapping the Changing Contours of the World Economy, 5th ed [M]. New York/London: The Guilford Press, 2007.
- [50] Silva J A. A multi-level analysis of agricultural trade and socioeconomic inequality in Rural Mozambique[J]. The Professional Geographer, 2008, 60(2): 174—189.
- [51] FEMA. Using HAZUS-MH for risk assessment [EB/OL]. <http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/dl-fema433.shtm>, 2004.
- [52] 苏筠, 吕红峰, 黄术根. 农业旱灾承灾体脆弱性评价[J]. 灾害学, 2005, 20(4): 1—7.
- [53] 杨春燕, 王静爱, 苏筠, 等. 农业旱灾脆弱性评价[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 88—93.
- [54] 马宗晋, 李国峰. 自然灾害评估、灾度和对策[C]//全国减轻自然灾害研究讨论会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
- [55] 任鲁川. 灾害损失定量评估的模糊综合评判方法[J]. 灾害学, 1996, 11(4): 5—10.
- [56] 刘燕华, 李矩章, 赵跃龙. 中国近期自然灾害程度的区域特征[J]. 地理研究, 1995, 14(3): 14—25.
- [57] 朱景武, 张生武. 旱作物旱灾估测方法初探[J]. 农田水利与小水电, 1995, (9): 9—12.
- [58] Richter G M, Semenov M A. Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks[J]. Agricultural Systems, 2005, 84: 77—97.
- [59] Salami H, Shahnooshi N, Thomson K J. The economic impacts of drought on the economy of Iran: An integration of linear programming and macro econometric modeling approaches[J]. Ecological Economics, 2009, 68: 1032—1039.
- [60] 徐嵩龄. 灾害经济损失概念及产业关联型间接经济损失计量[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4): 7—15.
- [61] Mansouri B. Impact of drought on main macroeconomic variables: an empirical examination of the Moroccan Case [C]//5th International Conference on the Economics and Finance of the Middle East and North Africa, 29—30 May, Lebanese American University, Beirut/Byblos, Lebanon, 2003.
- [62] 徐祝, 姚普林, 蔡普林, 等. 应用灰色系统理论“GM(1.1)”模型预测朝阳旱灾发生年[J]. 干旱地区农业研究, 1996, 14(4): 90—93.
- [63] 刘薇, 曹乐升, 任立良. 模糊综合模型在干旱等级评价中的作用[J]. 水电能源科学, 2008, 26(2): 100—103.

Reviews of agricultural drought risk assessment

XU Xin-chuang^{1,2}, GE Quan-sheng¹, ZHENG Jing-yun¹, LIU Cheng-wu²

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. School of Resources and Environment Science, Xianning College, Xianning, Hubei 437100, China)

Abstract: Review and discussion were made on the progress of agricultural drought risk assessment on three aspects: drought severity, drought vulnerability and models of risks assessment, with a focus on revealing the front issues

and development trends of agro-drought risk assessment. It is concluded that to construct suitable indexes was the key in the assessment of drought severity. The recent indexes of agro-drought may be classified into three types: the indexes of moisture variation degree, the indexes of drought developing process, and the indexes of drought spatial difference. But most of these indexes could not fully reveal the developing process of drought disasters or deeply explore the mechanism of drought, which became bottlenecks in the assessment of drought severity. Agro-drought vulnerability dominated the degree of agro-drought risks. Factors of irrigation, technology, capital, etc, played important roles in affecting agro-drought vulnerability. Yet, it was a weak link in recent researches to quantify the response of agro-drought vulnerability to human factor such as policy, technology, insurance, etc. There were many assessment models on agricultural drought risks, but most of them couldn't be generally applied because of certain limitative factors, such as regional or human factors. Therefore, agricultural drought risk assessment in the future should be focused on the mechanism and process of agro-drought, emphasizing the responses of agro-drought vulnerability to the change of human factors, and improving models of agro-drought risk assessment through regional cooperation.

Keywords: agro-drought risk; drought severity; hazard-bearing bodies' vulnerability

(上接第 262 页)

Climate influence and dynamic changes of light energy utilization of winter wheat in Tianshui

HU Li-ping^{1,2}, ZHANG Hua-lan², QIAO Yan-jun³, AN Jing¹, LI Jian-guo⁴, TAO Qian²

(1. Tianshui Meteorological Bureau, Tianshui, Gansu 741018, China;

2. Agrometeorological Experiment Station of Tianshui, Tianshui, Gansu 741020, China;

3. Lanzhou Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China;

4. Meteorological Bureau of Qin'an, Qin'an, Gansu 741600, China)

Abstract: Based on experimental data of winter wheat of Tianshui Agrometeorological Experiment Station in 1995 ~ 2009 and the comprehensive zoning data of total radiation of solar energy resources in northwest China, light energy utilization of whole plant and different organs of winter wheat is calculated in the whole growth period and different growth stages of winter wheat and the impact of climatic factors on them is analyzed. The results show that the light energy utilization of total dry matter including leaf, sheath, stem, ear and grain is 1.30% ~ 2.18%, and the greater the light energy utilization is, the greater its contribution to the output is; The amount of light energy utilization of various organs is ear > stem > leaf > sheath. The light energy utilization of the whole plant before reviving is comparatively low, under 0.5%, but it increases rapidly after reviving, reaching a peak in the milky stage, around 4%; The light energy utilization of leaf and sheath at various growth stages is low, less than 0.5%; While the light energy utilization of stem and ear is higher, and that of the stem reaches the maximum of 1.5% at earing time while that of the ear reaches the maximum of 2.3% at milky stage, which indicates that stem and ear make greater contribution in the light energy utilization of the whole plant of winter wheat. The impact of climate change is very obvious in the light energy utilization of winter wheat, especially precipitation has outstanding effects, showing that the deficiency of precipitation is the main restricting factor to the light energy utilization of winter wheat. So some effective ways and countermeasures are proposed to improve light energy utilization of winter wheat.

Keywords: winter wheat; light energy utilization; climate influence; Tianshui