

文章编号: 1672-3031(2017)05-0329-09

基于干旱事件过程的农业旱灾风险评估研究—以辽西北为例

屈艳萍^{1,2}, 吕娟^{1,2}, 苏志诚^{1,2}, 王亚许^{1,2}, 孙洪泉^{1,2}

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038)

摘要: 科学地评估旱灾风险是实施旱灾风险管理的核心内容和关键环节。本文从旱灾风险的定义和物理形成过程出发, 提出了基于干旱事件过程的旱灾风险评估原理、概念模型, 形成了一整套旱灾风险评估技术流程, 并以位于我国东北旱灾频发、重发中心的辽西北地区为例开展了应用研究。研究表明, 基于干旱事件过程的旱灾风险评估方法具有较强的物理意义, 可用于快速预估一定抗旱能力条件下干旱可能造成的损失, 可为抗旱指挥决策提供技术支撑, 具有进一步推广应用的價值。

关键词: 旱灾风险评估; 干旱事件过程; 干旱频率; 旱灾损失

中图分类号: S423

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2017.05.001

1 研究背景

干旱灾害是影响人类生活和社会经济发展的主要自然灾害之一。相比而言, 干旱灾害发生的频率比其他灾害要低, 但其波及范围较大、持续时间较长、影响人口较多。为了在全球范围内降低干旱灾害威胁, 越来越多的国家、地区和国际组织开始采取行动, 例如应联合国机构间减灾工作队的要求, 2003年国际减灾战略秘书处促成了干旱灾害特别讨论小组的成立, 以期一起探讨各种全球减轻干旱灾害风险的新模式和行动, 努力构建干旱灾害面前更有抵御能力的社会^[1]。而要减轻干旱灾害风险, 其核心内容和关键环节就是要科学地评估旱灾风险, 旱灾风险评估不仅是控制风险和减轻损失的必要途径, 也是制定防旱抗旱减灾规划、计划及对策的有效依据^[2]。

20世纪80年代以来, 国内外在开展自然灾害风险分析研究方面已经取得了一定成果^[3]。2000以后, 随着全球范围干旱问题的进一步凸显, 有关旱灾风险评估的研究也取得了一定的进展^[4]。目前, 已提出的农业旱灾风险评估方法主要有三大类^[5]: (1)基于概率统计理论的旱灾风险评估方法^[6-9]。(2)基于区域灾害系统理论的旱灾风险评估方法^[10-12]。(3)基于干旱事件过程的旱灾风险评估方法^[13-15]。前两种方法应用较多, 但都不是建立在旱灾风险形成的物理过程之上, 难以反映风险构成要素之间的内在联系和演化过程, 无法体现复杂旱灾风险系统的不确定性与动态性, 且难以定量评估。第三种方法具有较好的物理意义, 且评估总体框架已经初步建立^[13], 但对于其评估原理、数学模型等涉及尚少, 其评估方法技术流程尚未形成, 与广泛应用尚有一定距离。为此, 本文从旱灾风险的定义和物理形成过程出发, 提出了基于干旱事件过程的旱灾风险评估原理、概念模型, 形成了一整套旱灾风险评估技术流程, 并以位于我国东北旱灾频发、重发中心的辽西北地区为例开展了应用研究。

2 研究区域

辽西北地区位于辽宁省西北部, 主要包括朝阳、阜新、锦州、葫芦岛、铁岭五个地级市和沈阳的康平、法库县。依据其自然地理、行政区划、社会经济发展基础, 可分为辽西走廊沿海平原区、

收稿日期: 2017-03-02

基金项目: 中国水利水电科学研究院团队建设及人才培养类项目(JZ0145B752017, JZ0145B582017)

作者简介: 屈艳萍(1981-), 女, 湖南株洲人, 高级工程师, 主要从事干旱灾害及抗旱减灾的研究。E-mail: quyp@iwhr.com

通讯作者: 吕娟(1964-), 女, 吉林农安人, 教授级高级工程师, 主要从事抗旱减灾、水利史等研究。E-mail: lvjuan@iwhr.com



图1 研究区及国家基本气象站点分布

辽西低山丘陵区 and 辽北平原低山区等3个单元。辽西北土地面积6.8万 km²，占全省的47%，区域内农村居民301.4万户，农村人口1 011万，占全省农村人口的67%。辽西北地区处于亚干旱气候区，属典型的温带大陆性季风气候，主要气候特点是干旱多风，夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥，年平均气温7.2~8.3℃，≥10℃积温3 321~3 532℃，无霜期144~200 d，年日照时数2 823~2 944 h，年太阳辐射量5 719~6 050 MJ/m²，多年平均降水量450~700 mm左右，由于季风气候的影响，降水中的60%~65%集中在夏季。整个区域除了南部的葫芦岛和东部的铁岭较为湿润外，其他大部分地区都很干旱。

3 评估原理及方法

3.1 评估原理 根据灾害风险的概念剖析，灾害风险是不利事件的可能性与其产生不利影响的程度的综合度量^[16]，旱灾风险是指干旱事件发生的可能性及可能产生的不利影响的综合度量^[13]。从旱灾风险的定义和物理形成过程出发，旱灾风险可表达为：

$$R=f\left(P(w)\right), C(R E)$$
 (1)

式中：*R*为旱灾风险；*P*为干旱发生的可能性，表征的是致灾因子危险性的大小，可用干旱频率来表达；*w*为因干旱导致的水分亏缺量；*C*为某一抗旱能力条件下可能的不利影响，理论上包括直接损失、间接损失等可量化的不利影响，以及不可量化的不利影响包括社会结构体系、受灾人员心理等，在实际应用中，可用一定抗旱能力下可能引起的损失来反映；*RE*为抗旱能力，即人类主动减轻干旱事件影响的能力。

其中，因干旱导致的水分亏缺量*W*，主要取决于生态水文循环全过程中的水分亏缺状况，其影响因素包括水循环过程中各要素、以太阳辐射为主的能量传输、地表的地形、土壤和植被情况等。水分亏缺可以用以下公式来表示：

$$W=f\left\{P, R_s, S, R_g, R_n, LAI, \beta, \dots\right\}$$
 (2)

式中：*P*为降水量，*R_s*为地表水，*S*为土壤水，*R_g*为地下水，*R_n*为净辐射，*LAI*为植被指数，*β*为地形坡度。

根据上述对旱灾风险概念表达式的阐述，进一步提出基于干旱事件过程的旱灾风险评估原理，如图2所示。作者等曾提出干旱是“某地理范围内因降水在一定时期持续少于正常状态，导致河流、湖

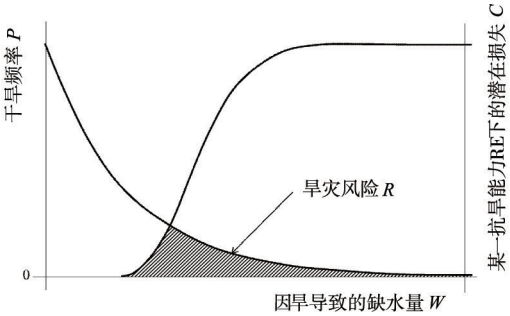


图2 基于干旱事件过程的旱灾风险评估原理

泊水量和土壤或者下水含水层中水分亏缺的自然现象”^[13]，即水循环中任一过程的水分亏缺都可能造成干旱，干旱的本质即因旱导致的水分亏缺。对于某一固定地理范围来说，干旱的严重程度及潜在影响，不仅跟因旱导致的水分亏缺强度有关，还与持续的时间长短有关，即与因旱导致的水分亏缺量直接相关。因此，对于某一次干旱事件来说，因旱导致的水分亏缺量是确定的，对应于某一干旱频率或重现期，可以建立“干旱频率~因旱导致的水分亏缺量”之间的定量关系；与此同时，在一定抗旱能力条件下，一定程度的因旱导致的水分亏缺量，对应于某一潜在损失，可以建立“因旱导致的水分亏缺量~某一抗旱能力条件下的潜在损失”之间的定量关系；进而，利用体现干旱本质特征的因旱水分亏缺，可以建立“干旱频率~某一抗旱能力条件下的潜在损失”之间的定量关系，即旱灾风险。

3.2 评估方法 将旱灾风险定义为干旱发生的可能性 P 及可能产生的不利影响 C 的综合度量，由此提出基于干旱事件过程的旱灾风险评估方法。该方法的基本思路是：通过水文气象要素，识别出所有的干旱事件，提取干旱特征变量，推求其对应的干旱频率或重现期；采用统计模型或机理模型，确定一定抗旱能力作用下所识别的每一个干旱事件可能造成的旱灾损失；基于所有干旱事件，建立干旱频率~潜在损失~抗旱能力之间的定量关系，以此描述旱灾风险。该方法是建立在“在一定抗旱能力条件下，一定规模的干旱会产生一定规模的旱灾损失”这一相对确定规律之上的，即在一定抗旱能力下，随着干旱频率的下降(或干旱重现期的上升)，相应的可能损失理论上应呈现上升的趋势。评估流程如图3所示，关键步骤如下：

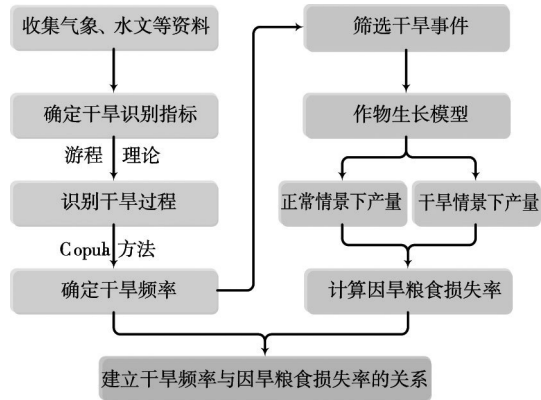


图3 基于干旱事件过程的旱灾风险评估流程

(1)干旱频率计算。通过选择合适的干旱指标进行干旱过程识别，提取干旱历时、强度和范围等干旱特征变量，并进行概率描述，揭示干旱事件的发生频次及其时空分布特征。目前，采用游程理论进行干旱事件识别，并采用Copula多维联合分布理论进行干旱频率分析的方法已经得到了广泛的应用和验证^[17-20]。本研究中，考虑到降水是影响辽西北地区农业干旱的主要因素，而考虑到数据的可获取性，选择降水距平百分率作为干旱事件识别的指标。辽西北地区或周边共有彰武、阜新、开原、清原、朝阳、叶柏寿、新民、黑山、章党、绥中、兴城、四平、宝国图等13个国家基本气象站点，逐日降水数据序列长度为1957—2015年，均来自中国气象局气象数据共享网。对于区域内没有国家基本气象站点的区县，包括凌源、建昌、康平、义县、凌海、北镇、喀左、法库、调兵山等，逐日气象数据序列由反距离插值(IDW)方法获得。

在采用游程理论进行干旱事件识别的过程中，首先需要确定干旱阈值水平，包括干旱发生阈值(R_1)、小干旱剔除阈值(R_2)和相邻干旱合并阈值(R_0)，且满足 $R_0 \leq R_1 \leq R_2$ 的关系(指数值越小越干旱的情况)。当指标值小于 R_1 时，则初步判断此单位时段为干旱，则图4中共有 a 、 b 、 c 、 d 、 e 共5个干旱过程。对于历时只有1个单位时段的干旱事

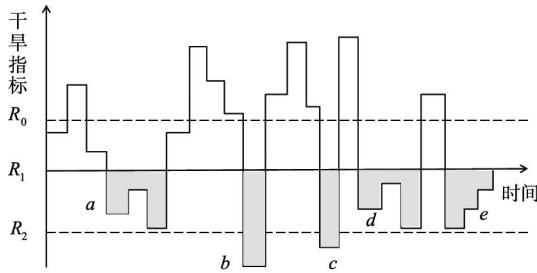


图4 干旱事件识别

件(如 b , c), 若其干旱指标值大于 R_2 (如 b), 则视其为小干旱事件, 在本研究中忽略不计。对于间隔为 1 个单位时段的两次相邻干旱过程(如 c 和 d , d 和 e), 若间隔期(如 f)的干旱指标值小于 R_0 , 则这两次干旱被视为从属干旱, 可合并成一次干旱过程, 如 b 、 c 可合并成 $b-f-c$; 若间隔期(如 g)的干旱指标值大于 R_0 , 则这两次干旱被视为独立干旱事件(如 d 、 e)。本研究中, 采用的干旱识别指标为降水距平百分率, 在水利部颁布的水利行业标准《旱情等级标准》中, 月尺度降水距平百分率偏少 40 % 即视为干旱, 结合辽西北历史干旱情况, 干旱指标阈值 R_0 、 R_1 和 R_2 分别取为 0、-0.35、-0.45。

(2) 农业因旱损失计算。本研究中, 将农业因旱损失定义为作物在正常气候条件下的产量与干旱情形下的产量之间的差值, 其计算公式为:

$$\Delta Y = Y_{\text{normal}} - Y_{\text{drought}} \quad (3)$$

式中: ΔY 为评估区域干旱造成的单位面积作物减产量, Y_{normal} 为评估区域正常气候条件下模拟的单位面积作物产量, Y_{drought} 为评估区域干旱情形下模拟的单位面积作物产量。

由于本研究中农业因旱损失对应于每一个干旱事件, 需要采用能够定量和动态地描述作物生长、发育和产量形成过程的作物生长模型, 模拟得到不同情景下的作物产量, 进而计算因旱损失。本研究选用澳大利亚的 APSIM 模型, 相关研究证明该模型在东北地区具有较好的适应性^[21]。该模型由气象参数、土壤参数、作物参数和管理参数等 4 类参数驱动, 对于正常气候条件下的作物产量, 采用多年平均气象数据驱动 APSIM 模型; 对于干旱情形下的作物产量, 保持土壤参数、作物参数和管理参数不变, 而对干旱历时内的气象数据采用实际气象数据, 非干旱历时采用多年平均气象数据, 以此构建出特定干旱事件条件下的气象参数输入, 如图 5 所示。需要说明的是, 作物生长模型中主要通过不同水平灌溉水量的设置来体现抗旱能力, 其他非工程抗旱能力尚无法考虑, 而研究区域辽西北地区为雨养农业区, 故不考虑灌溉等工程抗旱能力。

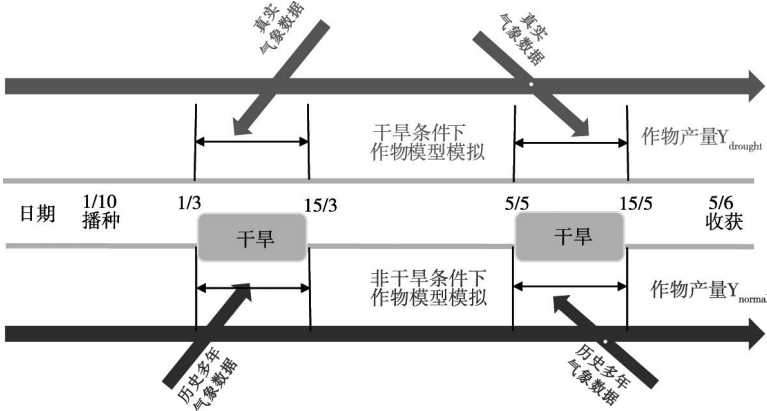


图 5 基于作物生长模型 APSIM 的农业因旱损失模型示意

(3) 建立干旱频率与一定抗旱能力下可能损失的定量关系。基于大量的统计规律, 假设干旱频率与旱灾损失率之间满足对数函数关系, 如下式:

$$C = -a \ln P + b \quad (4)$$

式中: P 为干旱频率, $0 \leq P \leq 1$; C 为对应旱灾损失率, $0 \leq C \leq 1$; a , b 为待定系数, $a > 0$, $b \geq 0$ 。

4 结果与分析

4.1 干旱频率~旱灾损失率关系 根据干旱频率计算方法, 识别出某一县市所有干旱事件, 将干旱事件划分为生长季内干旱事件(5—9月)和非生长季内干旱事件(10月—次年4月), 并计算得到其干旱频率。对于生长季干旱事件, 采用作物生长模型 APSIM 计算每一个干旱事件对应的农业因旱损失, 进而建立所有干旱事件干旱频率和因旱损失率间的定量关系曲线, 如图 6 所示。由于干旱频率~旱灾损失率关系曲线(R 图)拟合结果可以看出: 辽西北地区各县市生长季内的干旱频率与玉米因旱

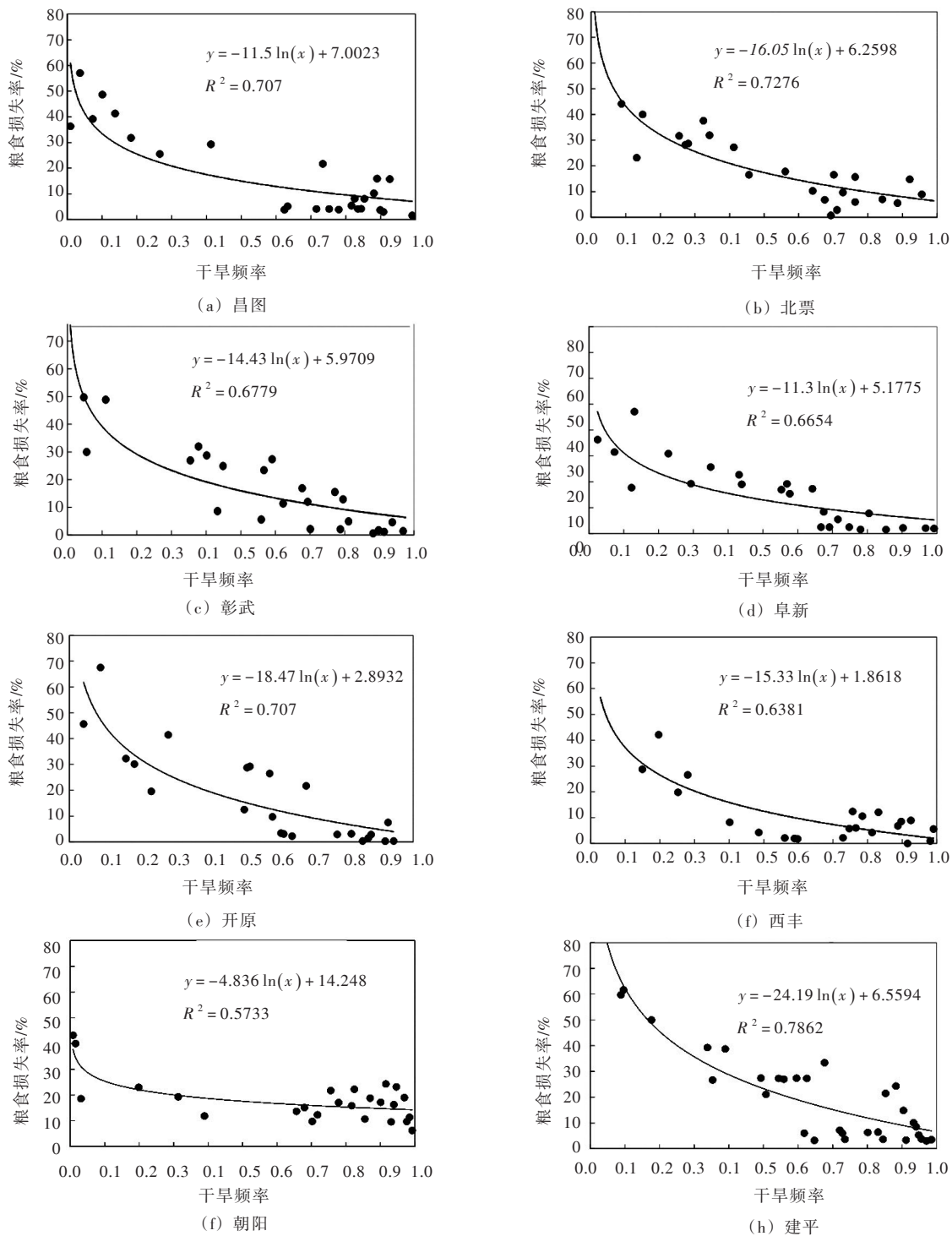


图6-1 辽西北地区各县市干旱频率~旱灾损失率关系曲线

损失率之间，基本呈对数函数的变化趋势，决定系数 R^2 基本在0.6~0.7，相关性较好。

4.2 干旱频率空间分布 根据建立的干旱频率~旱灾损失率关系拟合公式，推求不同旱灾损失率对应的干旱重现期，即得干旱频率(或重现期)空间分布图。干旱频率空间分布图的主要目的在于直观表现干旱程度在空间上的分布情况，便于区域间的宏观比较。可绘制各区域最大干旱重现期的空间分布图，以及一定抗旱能力水平下，不同地区给定损失(率)(如15%、30%等)对应的干旱严重程度(以重现期或频率表示)的空间分布图等。本研究中，在空间分布图中，将干旱重现期分为小于1年一遇、小于5年一遇、5~10年一遇、10~20年一遇、20~50年一遇、50~100年一遇、100~200年一

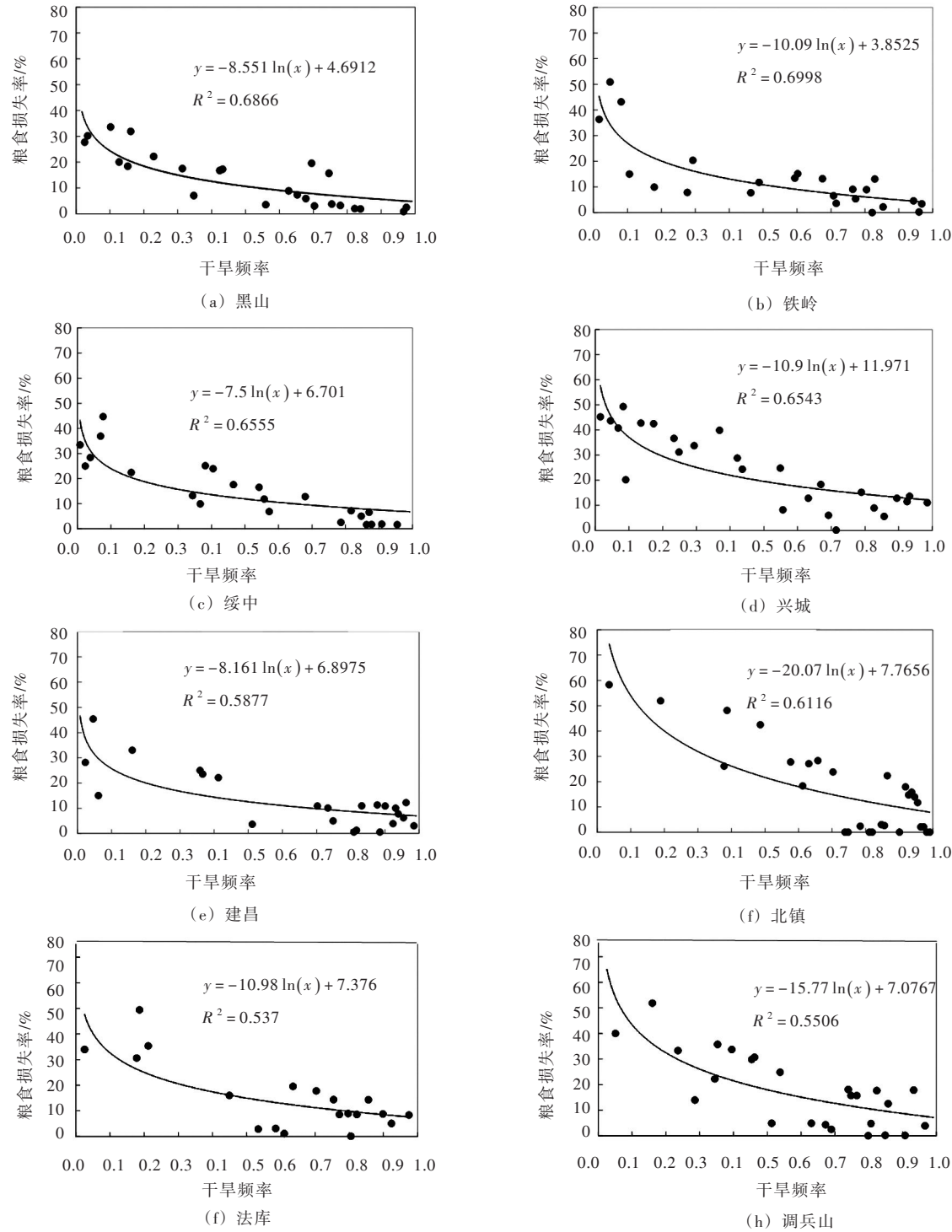


图6-2 辽西北地区各县市干旱频率~旱灾损失率关系曲线

遇和大于200年一遇共8个区间，如图7所示。

4.3 旱灾损失空间分布 根据建立的干旱频率~旱灾损失率关系拟合公式，推求不同干旱重现期对应的旱灾损失率，即得旱灾损失空间分布图。旱灾损失空间分布图，主要用于刻画不同条件下的旱灾损失分布情况，如一定抗旱能力水平下，不同地区发生某种程度干旱(如5年、10年、20年、50年、100年一遇等)时，对应的因旱损失空间分布图，以便于宏观比较区域间的易损情况，如确定区域内损失高风险区、中度风险区及低风险区等，如图8所示。利用旱灾损失空间分布图可快速评估某干旱事件导致的损失情况，为制定抗旱应急对策提供有益参考。

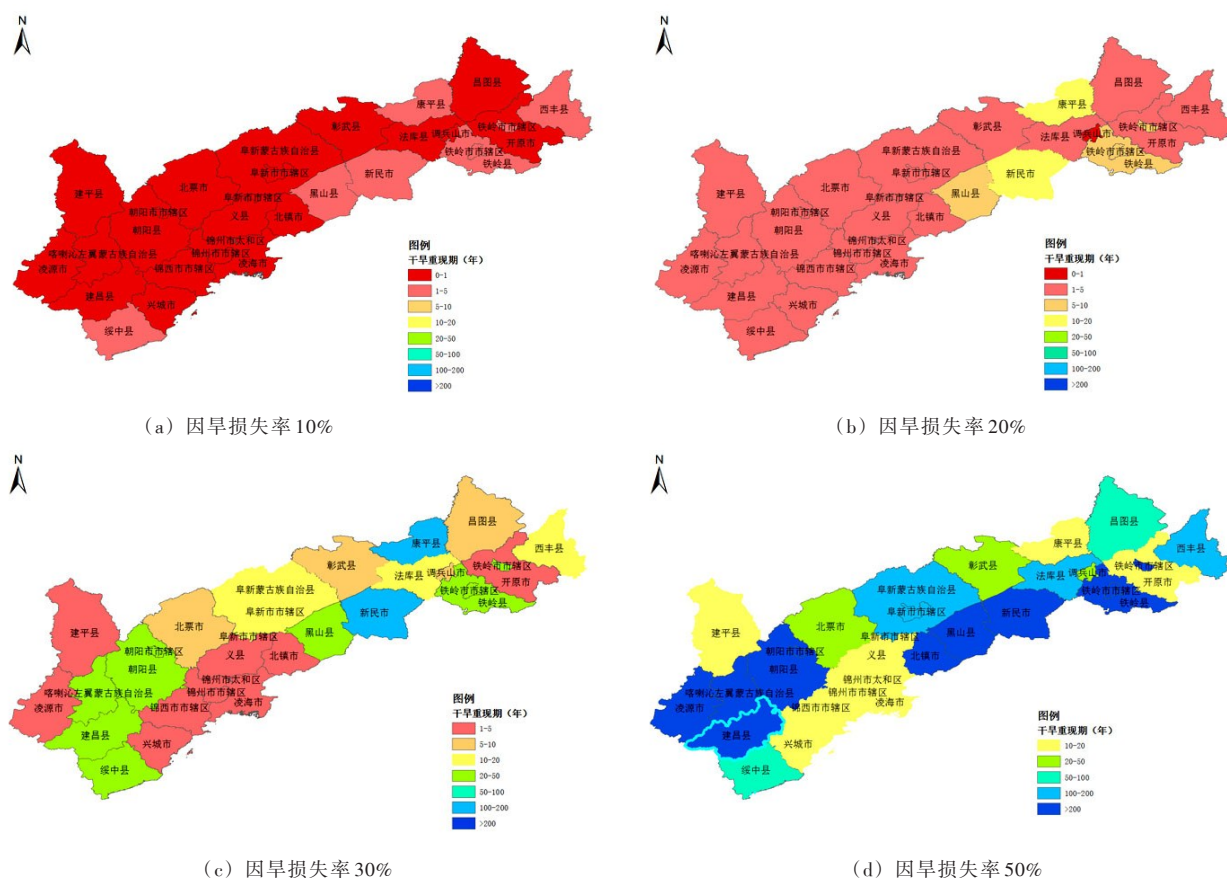


图7 辽西北地区不同粮食因旱损失率对应干旱重现期分布

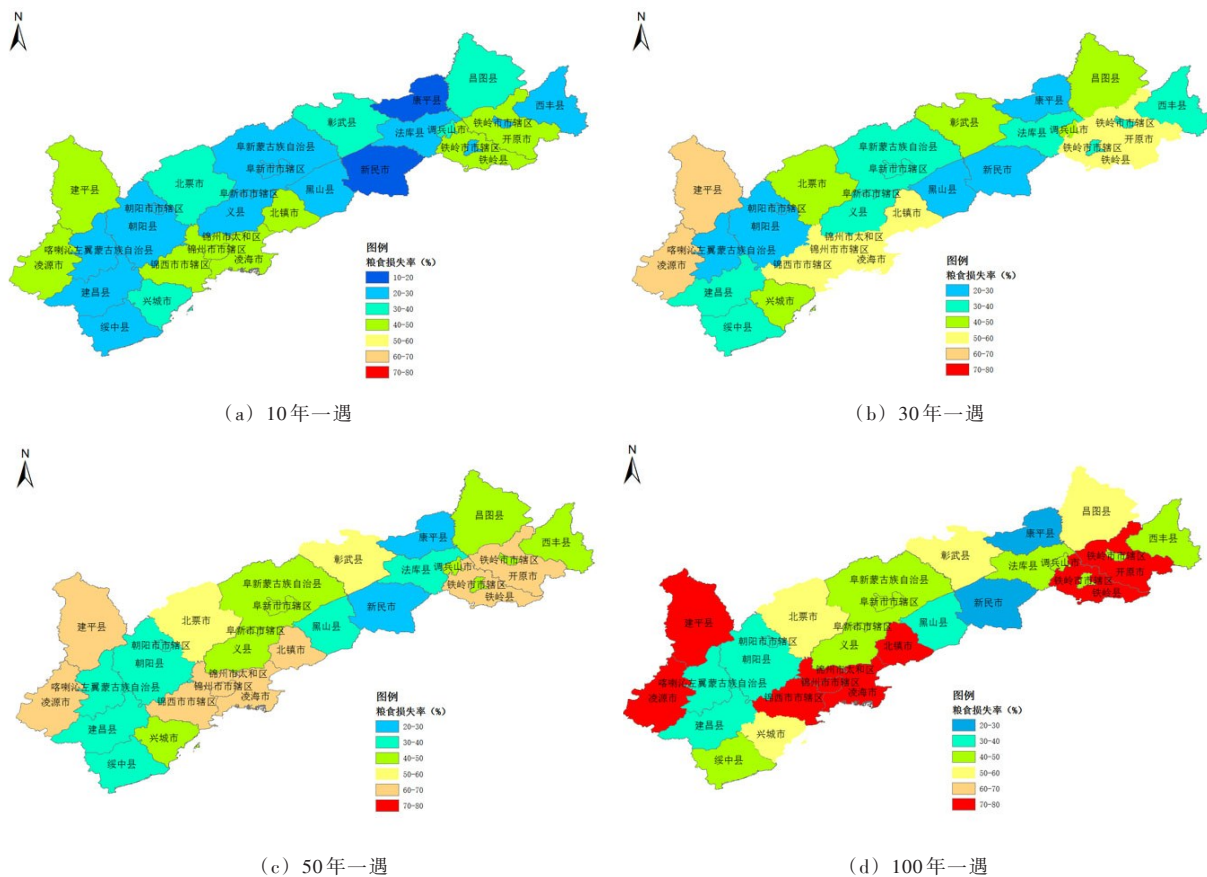


图8 辽西北地区不同干旱重现期对应粮食因旱损失率分布

5 结论

旱灾风险图是旱灾风险评估结果以图表形式的直观表示,反映旱灾的自然属性和社会属性,体现旱灾的风险特征,是防灾减灾的一项基础性工作,也是旱灾防灾减灾管理决策的重要依据,因此绘制旱灾风险图是防灾减灾管理的一项重要的非工程措施。干旱风险管理实践中,本研究中提出的基于干旱事件过程的农业旱灾风险评估研究主要有以下几个方面的应用:

(1)可用以预估某区域在某一抗旱能力条件(或某一灌溉条件)下,发生不同频率干旱可能造成的损失。当某区域发生严重干旱时,首先确定干旱事件发生频率,通过查旱灾风险机理关系图曲线图的方法,可迅速、及时地预估出可能产生的因旱损失,从而有助于抗旱主管部门做出科学决策、及时响应,并制定出适宜和有效的应对措施。

(2)可用于评估某区域在发生相同频率干旱,具备不同抗旱能力条件(或不同灌溉条件)可能造成的不同损失情况。有了旱灾风险机理关系曲线图,通过对比不同抗旱能力条件下的因旱损失,可以在很大程度上反映抗旱措施,特别是水利工程的抗旱效益,同时还可以为包括水源工程、灌溉工程、抗旱应急备用水源工程等抗旱水利工程建设必要性论证、工程规模确定等提供科学依据。

(3)利用这一类关系曲线图,可帮助研究区域确定合理的抗旱能力区间。自1949年以来,我国已初步建成以蓄、引、提、调为主的水利工程体系,同时开展了一系列非工程体系建设,抗旱能力大大提高,为保障我国的粮食安全、饮水安全做出了贡献。但是,这些抗旱措施产生了多大的效益却一直不清楚,一方面导致一些地区抗旱工作原动力不足,限制了抗旱能力的进一步提高,另一方面也可能导致一些地区抗旱标准过高,抗旱投入产出比严重失衡,甚至造成过度抗旱的问题。利用该机理关系图,可在抗旱不足和过度抗旱之间找到平衡,从而确定合理的抗旱能力区间。

(4)可为抗旱指挥系统的科学调度、抗旱管理决策的科学化和规范化提供技术服务。

参 考 文 献:

- [1] UNISDR . Drought risk reduction framework and practices: Contributing to the implementation of the Hyogo framework for action[R] . Geneva: UNISDR, 2009: 1-6 .
- [2] 金菊良, 酆建强, 周玉良, 等 . 旱灾风险评估的初步理论框架[J] . 灾害学, 2014, 29(3): 1-10 .
- [3] 单琨, 刘布春, 刘园, 等 . 基于自然灾害系统理论的辽宁省玉米干旱风险分析[J] . 农业工程学报, 28(8): 186-194 .
- [4] 金菊良, 宋占智, 崔毅, 等 . 旱灾风险评估与调控关键技术研究进展[J] . 水利学报, 2016, 47(3): 398-412 .
- [5] 屈艳萍, 高辉, 吕娟, 等 . 基于区域灾害系统论的中国农业旱灾风险评估[J] . 水利学报, 2015, 46(8): 908-917 .
- [6] 尹占娥, 许世远 . 城市自然灾害风险评估研究[M] . 北京: 科学出版社, 2012: 14-19 .
- [7] GANGULI P, REDDY M J . Risk assessment of droughts in Gujarat using bivariate copulas[J] . Water Resources Management, 2012, 26: 3301-3327 .
- [8] 许凯, 徐翔宇, 李爱花, 等 . 基于概率统计方法的承德市农业旱灾风险评估[J] . 农业工程学报, 2013, 29(14): 139-146 .
- [9] 杜云, 蒋尚明, 金菊良, 等 . 淮河流域农业旱灾风险评估研究[J] . 水电能源科学, 2013, 31(4): 1-4 .
- [10] LIU X, ZHANG J, MA D . Dynamic risk assessment of drought disaster for maize based on integrating multi-sources data in the region of the northwest of Liaoning Province, China[J] . Natural Hazards, 2013, 65: 1393-1409 .
- [11] 秦越, 徐翔宇, 许凯, 等 . 农业干旱灾害风险模糊评价体系及其应用[J] . 农业工程学报, 2013, 29(10): 83-91 .
- [12] ZHANG Qi, ZHANG Jiquan, WANG Chunyi, et al . Risk early warning of maize drought disaster in Northwestern

- Liaoning Province, China[J]. *Natural Hazards*, 2014, 72: 701–710.
- [13] 屈艳萍, 郦建强, 吕娟, 等. 旱灾风险定量评估总体框架及其关键技术[J]. *水科学进展*, 2014, 25(2): 297–304.
- [14] 孙可可, 陈进, 许继军, 等. 基于EPIC模型的云南元谋水稻春季旱灾风险评估方法[J]. *水利学报*, 2013, 44(11): 1326–1331.
- [15] 孙可可, 陈进, 金菊良, 等. 实际抗旱能力下的南方农业旱灾损失风险曲线计算方法[J]. *水利学报*, 2014, 45(7): 809–814.
- [16] DEYLE R E, FRENEH S P, OLSHANS R B. *Hazard Assessment: The Factual Basis for Planning and Mitigation* [M]. Washington D C: Joseph Henry Press, 1998.
- [17] SHIAU J T. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas[J]. *Water Resources Management*, 2006, 20(5): 795–815.
- [18] SHIAU J T, FENG S, NADARAJAH S. Assessment of hydrological droughts for the Yellow river, China, Using Copulas[J]. *Hydrological Processes*, 2007, 21(16): 2157–2163.
- [19] SHIAU J T, MODARRES R. Copula-based drought severity-duration-frequency analysis in Iran[J]. *Meteorological Applications*, 2009, 16(4): 481–489.
- [20] 程亮, 金菊良, 郦建强, 等. 干旱频率分析研究进展[J]. *水科学进展*, 2013, 24(3): 296–302.
- [21] 刘志娟, 杨晓光, 王静, 等. APSIM玉米模型在东北地区的适应性[J]. *作物学报*, 2012, 38(4): 740–746.

Research on agricultural drought disaster risk assessment based on the drought event process—A case study in Northwest of Liaoning Province

QU Yanping^{1, 2}, LÜ Juan^{1, 2}, SU Zhicheng^{1, 2}, WANG Yaxu^{1, 2}, SUN Hongquan^{1, 2}

(1. *China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;*

2. *Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction, Beijing 100038, China)*

Abstract: Scientific drought disaster risk assessment is considered to be the core content and key element in drought disaster risk management. Taking into consideration both the definition and physical mechanism of drought disaster risk, we have proposed the physical principle and conceptual model of drought disaster risk assessment based on the drought event process, and formulated a set of technical procedures correspondingly. To promote the practical application of this risk assessment method, we have carried out a case study in northwest of Liaoning Province, characterized by frequent and severe drought. The result indicates that drought disaster risk assessment based on drought event process has a strong physical meaning. This method shows a great value of future promotion, which can be employed to evaluate the potential drought loss quickly and then provide reference for drought decision making.

Keywords: drought disaster risk assessment; drought event process; drought frequency; drought disaster loss

(责任编辑: 祁伟)