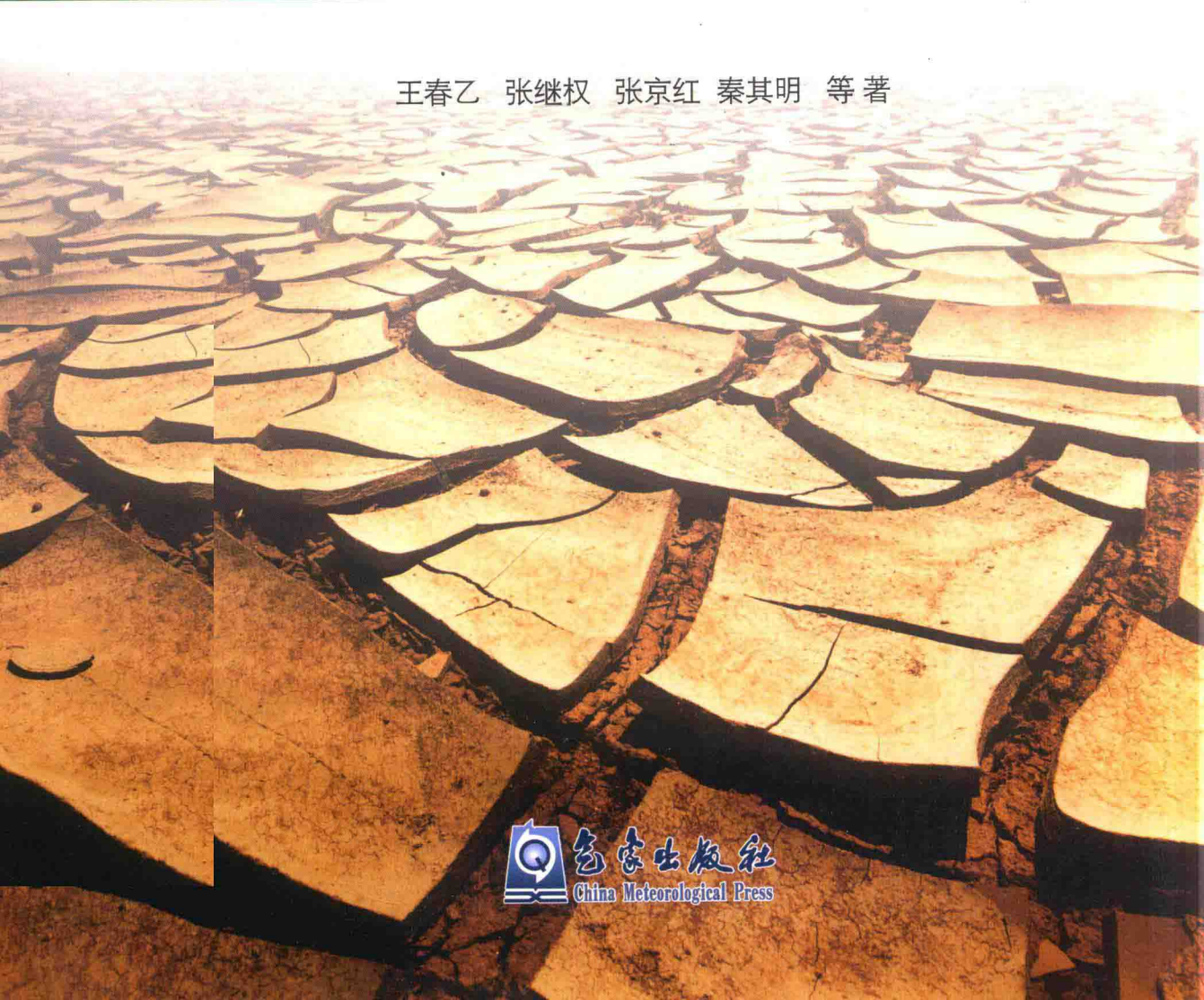


国家科技支撑计划和公益性行业（气象）科研专项共同资助

Study on Risk Evaluation and Regionalization of
Comprehensive Agricultural Meteorological Disasters

综合农业气象灾害 风险评估与区划研究

王春乙 张继权 张京红 秦其明 等著




气象出版社
China Meteorological Press

国家科技支撑计划和公益性行业(气象)科研专项共同资助

综合农业气象灾害风险 评估与区划研究

王春乙 张继权 张京红 秦其明 等 著

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书概述了农业气象灾害风险评估的研究进展、主要内容和方法及其未来发展趋势,系统地介绍了我国东北地区春玉米、华北地区冬小麦、长江中下游地区早稻和一季稻以及海南橡胶的农业气象灾害风险识别技术和时空分布特点,农业气象灾害风险评估指标体系和模型以及农业气象灾害风险区划技术方法。可为农业结构调整、防灾减灾提供理论依据,对于提高农业气象灾害风险管理水平、保障粮食安全具有十分重要的意义。

本书可供从事农业、气象、经济林等科研、业务和生产的工作人员阅读,也可以供相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

综合农业气象灾害风险评估与区划研究/王春乙等著. —北京:气象出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-5029-6214-2

I. ①综… II. ①王… III. ①农业气象灾害-风险评估-研究-中国②农业气象灾害-气候区划-研究-中国
IV. ①S42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 053592 号

Zonghe Nongye Qixiang Zaihai Fengxian Pinggu yu Quhua Yanjiu

综合农业气象灾害风险评估与区划研究

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.qxcbs.com>

责任编辑:陈红 马可

责任校对:王丽梅

封面设计:易普锐创意

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:339 千字

版 次:2016 年 3 月第 1 版

定 价:55.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

责任技编:赵相宁

印 张:12.75

彩 插:4

印 次:2016 年 3 月第 1 次印刷

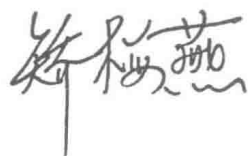
序

我国是一个农业大国,也是世界上受气象灾害影响严重的国家。农业受气候影响最为敏感,据统计,气象灾害造成的损失约占各种自然灾害损失的70%。近年来,在全球气候变暖背景下,干旱、洪涝、低温冷害等农业气象灾害呈多发重发趋势,农业生产“靠天吃饭”、农民群众“看天种地”的局面没有根本改变,防御和减轻农业气象灾害依然是当前农业现代化和保障粮食安全一项重要的基础性工作。

实施农业气象灾害风险评估是防御和减轻农业气象灾害影响的技术发展方向。将自然灾害风险评估理论和技术应用于农业领域,准确识别气象灾害对农业生产带来的风险,定量评估农业气象灾害造成的影响和损失,开展农业气象灾害综合风险管理,是提高农业防灾减灾综合能力的重要途径。本书依托国家“十二五”科技支撑计划项目,以近年来农业气象灾害风险评估和防御技术研究成果,着眼于多灾种农业气象灾害的致灾影响,分析评估多灾种农业气象灾害的综合风险和防御能力,展示了农业气象灾害风险评估研究的新进展和新成果。本书立足于我国农业主产区和特色农业区,分别针对东北地区玉米、华北地区冬小麦、长江中下游地区早稻、海南橡胶等进行综合农业气象灾害风险评估与区划,建立区域综合农业气象灾害风险评估模型,绘制综合农业气象灾害风险区划图,评估分析了区域农业的防灾抗灾能力,是一部比较系统的综合农业气象灾害风险研究专著。

希望本书的出版能够为农业和气象领域的科技工作者在开展农业气象灾害防御的技术和服务等工作时提供科学参考,促进农业气象灾害防御由传统的应急管理向风险管理转变。也希望本书能推动我国农业气象灾害风险评估与管理科学研究的深入发展。在此,我谨向参与本书编著的专家学者表示崇高的敬意和诚挚的谢意!

中国气象局党组成员、副局长



二〇一五年九月十日

前 言

天气气候条件是影响农业生产的重要因素,持续干旱、严重洪涝、高温、低温胁迫等气象灾害可导致大范围农作物严重减产。中国是自然灾害较为严重的国家之一,其中,气象灾害造成的损失占各种自然灾害损失的70%以上。由于我国农业生产基础设施薄弱,抗灾能力差,靠天吃饭的局面没有根本改变,致使我国每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积达5000万 hm^2 以上、影响人口达4亿人次、经济损失达2000多亿元,成为制约农业稳产增产的主要障碍。尤其是近年来,由于气候变化导致的极端天气气候事件的增加、生态环境的恶化和作物遗传多样性的不断下降等影响,致使我国农业气象灾害在突发性、不确定性以及灾害的持续性及强度等方面表现出更多的异常现象,气象灾害呈现出频率高、强度大、危害日益严重的态势,主要粮食作物产量损失增加,已对农业可持续发展和国家粮食安全构成严重威胁。

农业干旱是我国最主要的农业气象灾害,发生频率高、影响范围广、持续时间长、损失影响大,我国平均每年农业干旱受灾面积为2000万~3000万 hm^2 ,粮食损失高达250亿~300亿 kg 。据1972—2013年资料显示,我国平均每年平均洪涝受灾面积为1050万 hm^2 ,经济损失达200多亿元/年。农业低温冷害是导致农作物减产的重要因素之一,由于农业布局和种植结构的调整等因素影响,低温冷害的潜在影响有增加的趋势。受气候变暖的影响,部分地区盲目追求晚熟高产品种,以及种植边界的不断扩展,增加了低温冷害和霜冻灾害的潜在威胁。进入21世纪以来,虽然气候总体在变暖,但低温冷害发生的频率却比20世纪80—90年代有明显的增多趋势,我国东北农作物主产区近10年冷害发生频率几乎是20世纪的2倍。IPCC第五次评估报告(AR5)第二工作组(WGII)报告《气候变化2014:影响适应和脆弱性》认为,受全球气候变暖影响,未来全球极端气象灾害可能出现多发、频发、重发趋势,全球和我国农业生产都将出现大幅波动,粮食供给的不稳定性会增大,将会给全球和区域粮食安全带来极大风险。气象灾害风险的加剧,直接影响着农业生产,对农业的不利影响使其风险评价和预测研究越来越引起各国政策制定者和学者的关注。当前农业气象灾害风险研究既是灾害学和农业气象学领域中研究的热点,又是当前政府相关管理部门和农业生产部门亟须的应用性较强的课题。如何准确、定量地评估气象灾害对农业生产风险的影响,对国家目前农业结构调整,特别是农业可持续发展、农业防灾减灾对策和措施的制订意义重大。

灾害作为重要的可能损害之源,历来是各类风险管理研究的重要对象,引起了国内外防灾减灾领域的普遍关注。特别是20世纪90年代以来,灾害风险管理工作在防灾减灾中的作用和地位日益突现。1999年,国际减灾10年(IDNDR)科学与技术委员会在其“减灾年”活动的总结报告中,列举了21世纪国际减灾界面临的五个挑战性领域,其中三个领域与灾害风险问题密切相关。其一是综合风险管理与整体脆弱性降低;其二为资源与环境脆弱性;其三是发展中国家的防灾能力。2011年11月18日,政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布了《管理极端事件和灾害风险 推进气候变化适应》(Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, SREX)特别报告决策者摘要,并于2012年3月

发布了特别报告全文,该报告包含了当今学术界在管理极端气候事件和灾害风险方面的最新进展,体现了当今世界在管理极端事件和灾害风险、推进气候变化适应问题上的认知水平。这表明,灾害风险及其相关问题的研究,仍是当前国际减灾领域的重要研究前沿。

综合自然灾害风险评估是风险和灾害领域的研究热点和难点。21世纪以来,学术界的研究方向才逐渐从“自然灾害风险评估”向“多灾种综合风险评估”转变,即由“因素的综合”向“灾种的综合”转变。多灾种农业气象灾害综合风险评估是开展农业气象灾害综合风险管理的基础和综合防灾减灾的必要条件,也是当前国际社会高度关注的热点、难点问题之一。某一农业生产对象(农作物)在其生产全过程中,往往会有一种或多种农业气象灾害发生,目前针对单灾种的农业气象灾害风险评估研究较为常见且取得了不少成果,但针对多灾种的农业气象灾害综合风险评估研究成果甚少。本书是国家“十二五”科技支撑计划项目“农林气象灾害监测预警与防控关键技术研究”(项目编号:2011BAD32B00)课题四“重大农业气象灾害风险评价与管理关键技术研究”、“十一五”科技支撑计划项目“农业重大气象灾害监测预警与调控技术研究”(项目编号:2006BAD04B00)及公益性行业(气象)科研专项“基于多维光谱空间的田间干旱监测与旱灾防御”(项目编号:GYHY200806022)研究成果的总结,以我国东北、华北、长江中下游三大主要粮食产区干旱、洪涝、低温灾害以及海南橡胶风害和寒害等重大农业气象灾害为研究对象,基于农业气象风险形成机理,根据区域农业气象灾害发生时农业生产、社会经济和生态环境等方面的综合因素,依据系统工程、模糊数学、灰色系统、现代综合评价等复合下的数学分析方法,建立了区域综合农业气象灾害风险评估模型;根据区域综合农业气象灾害风险评估结果,利用非线性数学方法确定区域综合农业气象灾害风险区划的阈值,并结合农业气象灾害影响评估,绘制了综合农业气象灾害风险区划图。

全书由王春乙研究员负责总体设计和定稿。全书共分六章,其中第1章由王春乙、张继权、秦其明执笔;第2章由高晓容等执笔;第3章由张玉静等执笔;第4章由姚蓬娟等执笔;第5章由孟林等执笔;第6章由张京红等执笔。全书由白月明和刘玲负责统稿。

由于研究的阶段性和各课题进展的不平衡,对一些问题的认识尚有待于反复实践和不断深入,本书疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

王春乙
二〇一五年七月

目 录

序

前言

第 1 章 农业气象灾害风险评估研究进展	(1)
1.1 农业气象灾害风险评估研究发展概况	(1)
1.2 农业气象灾害风险评估的主要内容	(4)
1.3 农业气象灾害风险评估的主要方法	(8)
1.4 农业气象灾害风险评估存在的问题	(10)
1.5 农业气象灾害风险评估研究展望	(11)
参考文献	(13)
第 2 章 东北地区玉米综合农业气象灾害风险评估与区划	(20)
2.1 数据处理与研究方法	(20)
2.2 东北地区玉米综合农业气象灾害风险识别与分析	(23)
2.3 东北地区玉米综合农业气象灾害风险评估	(45)
2.4 东北地区玉米综合农业气象灾害风险区划	(61)
参考文献	(65)
第 3 章 华北地区冬小麦综合农业气象灾害风险评估与区划	(68)
3.1 数据处理与研究方法	(68)
3.2 华北地区冬小麦综合农业气象灾害风险识别与分析	(76)
3.3 华北地区冬小麦综合农业气象灾害风险评估	(89)
3.4 华北地区冬小麦主要气象灾害风险区划	(104)
参考文献	(108)
第 4 章 长江中下游地区早稻综合农业气象灾害风险评估与区划	(111)
4.1 数据处理与研究方法	(111)
4.2 长江中下游地区早稻综合农业气象灾害风险识别与分析	(113)
4.3 长江中下游地区早稻综合农业气象灾害风险评估	(122)
4.4 长江中下游地区早稻综合农业气象灾害风险区划	(134)
参考文献	(137)
第 5 章 长江中下游地区一季稻高温热害风险评估与区划	(139)
5.1 数据处理与研究方法	(139)
5.2 长江中下游地区一季稻高温热害风险识别与分析	(142)
5.3 长江中下游地区一季稻高温热害风险评估	(149)
5.4 长江中下游地区一季稻高温热害风险区划	(164)
参考文献	(166)

第 6 章 海南橡胶综合农业气象灾害风险评估与区划	(168)
6.1 数据处理与研究方法	(169)
6.2 海南橡胶农业气象灾害风险识别与分析	(171)
6.3 海南橡胶农业气象灾害风险评估	(184)
6.4 海南橡胶农业气象灾害风险区划	(192)
参考文献	(193)

Catalogue

Preliminary

Foreword

Chapter 1 Review of agricultural meteorological disaster risk evaluation	(1)
1.1 Development of agricultural meteorological disaster risk evaluation	(1)
1.2 Main content of agricultural meteorological disaster risk evaluation	(4)
1.3 Principal methods of agricultural meteorological disaster risk evaluation	(8)
1.4 Problems in the agricultural meteorological disaster risk evaluation	(10)
1.5 Outlook of agricultural meteorological disaster risk evaluation	(11)
References	(13)
Chapter 2 Risk evaluation and regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for maize in Northeast China	(20)
2.1 Data processing and research methods	(20)
2.2 Risk recognition and analysis of comprehensive agricultural meteorological disaster for maize in Northeast China	(23)
2.3 Risk evaluation of comprehensive agricultural meteorological disaster for maize in Northeast China	(45)
2.4 Risk regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for maize in Northeast China	(61)
References	(65)
Chapter 3 Risk evaluation and regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for winter wheat in North China	(68)
3.1 Data processing and research methods	(68)
3.2 Risk recognition and analysis of comprehensive agricultural meteorological disaster for winter wheat in North China	(76)
3.3 Risk evaluation of comprehensive agricultural meteorological disaster for winter wheat in North China	(89)
3.4 Risk regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for winter wheat in North China	(104)
References	(108)
Chapter 4 Risk evaluation and regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for early rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(111)
4.1 Data processing and research methods	(111)
4.2 Risk recognition and analysis of comprehensive agricultural meteorological	

disaster for early rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(113)
4.3 Risk evaluation of comprehensive agricultural meteorological disaster for early rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(122)
4.4 Risk regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for early rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(134)
References	(137)
Chapter 5 Risk evaluation and regionalization of heat injury for single-season rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(139)
5.1 Data processing and research methods	(139)
5.2 Risk recognition and analysis of heat injury for single-season rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(142)
5.3 Risk evaluation of heat injury for single-season rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(149)
5.4 Risk regionalization of heat injury for single-season rice in Middle and Lower Reaches of Yangtze River	(164)
References	(166)
Chapter 6 Risk evaluation and regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for rubber in Hainan Province	(168)
6.1 Data processing and research methods	(169)
6.2 Risk recognition and analysis of comprehensive agricultural meteorological disaster for rubber in Hainan Province	(171)
6.3 Risk evaluation of comprehensive agricultural meteorological disaster for rubber in Hainan Province	(184)
6.4 Risk regionalization of comprehensive agricultural meteorological disaster for rubber in Hainan Province	(192)
References	(193)

第1章 农业气象灾害风险评估研究进展

农业气象灾害是我国最主要的农业自然灾害,约占全部农业自然灾害的70%。农业气象灾害风险是潜在的灾害或者是未来灾害损失的可能性,灾害则是风险变成现实的结果。农业气象灾害系统由孕灾环境、承灾体、致灾因子、灾情四个子系统组成,其中灾情是孕灾环境、承灾体、致灾因子相互作用的最终结果(李世奎等,1999;霍治国等,2003)。农业气象灾害风险评估,是评估农业气象灾害事件发生的可能性及其导致农业产量损失、品质降低以及最终的经济损失的可能性大小的过程,是一种专业性的气象灾害风险评估(王春乙等,2010)。国外农业气象灾害的风险评估研究大概始于20世纪,主要集中在建立评估方法体系方面,研究对象多为果树等经济作物;我国的农业气象灾害风险研究,起步于20世纪90年代,大致可分为三个阶段:第一阶段,以农业气象灾害风险分析技术、方法的探索为主的研究起步阶段;第二阶段,以灾害影响评估的风险化、数量化的技术、方法为主的研究发展阶段;第三阶段,以认识农业气象灾害风险的形成机制、风险评价技术向综合化、量化、动态化和标准化方向发展为主的研究快速发展阶段。

农业气象灾害风险研究既是灾害学和农业气象学领域中研究的热点,又是当前政府相关管理部门和农业生产部门亟须的应用性较强的课题。农业气象灾害风险评估的理论和方法进展很快,但尚没有文献对相关研究做出较为系统的论述。为全面地了解农业气象灾害风险评估的研究现状,本书在综合分析近30年来国内外相关文献的基础上,对农业气象灾害风险评估方面所取得的研究成果进行了总结和评述,指出了当前研究的一些不足之处。首先对农业气象灾害风险评价研究的历史进行了回顾,重点阐述了农业气象灾害风险评估的主要内容,包括致灾因子的危险性评估,承灾体脆弱性或易损性评估,灾情期望损失评估和灾害风险综合评估;归纳出农业气象灾害风险评估研究中采用的3类主要方法——基于指标的综合评估方法、基于数据的概率评估方法以及基于情景模拟的评估方法;对农业气象灾害风险评估研究存在的问题进行了探讨。本研究可为我国进一步开展农业气象灾害风险评估研究提供借鉴和参考,推动我国农业气象灾害风险评估研究的进程。

1.1 农业气象灾害风险评估研究发展概况

20世纪80年代初,灾害学家开始关注灾害及其风险形成机制与评价理论,从系统论和风险管理的角度探讨了形成灾害与灾害风险的要素及其相互作用和数学表达式。目前国内外关于灾害形成机制的理论主要有“致灾因子论”“孕灾环境论”“承灾体论”及“区域灾害系统理论”(Burton et al,1993; Blaikie et al,1994)。在国际减灾十年(IDNDR)活动中,灾害风险管理学者就灾害风险的形成基本上达成共识。目前国内外关于灾害风险形成机制的理论主要有“二因子说”“三因子说”和“四因子说”(张继权等,2006,2007,2012a,2012b,2013)。

纵观国内外灾害风险研究可知:(1)灾害风险评估的研究,大多以针对单一灾种评估为主,

而对多灾种复合的灾害综合风险评估研究较少,在时效和精度上远远不能满足实际评估的需要;(2)国外学者过于侧重地质灾害、海洋灾害、城市灾害、地震灾害、水文气象灾害等灾害类型的风险评价,而在农业气象灾害风险方面研究成果并不多,而我国在农业气象灾害及其风险评价方面,尤其是最近十几年,在风险评价方法、技术等研究领域诸多研究成果陆续出现;(3)就单灾种的风险评价而言,评价指标、模型及方法上的研究成果颇多,但并未达成完全的共识;(4)当前,国内外对于自然灾害风险评估方法可归纳为3大类:风险概率的建模与评估法,利用数理统计方法,对以往的灾害数据进行分析提炼,找出灾害发展演化的规律,以达到预测评估未来灾害风险的目的;指标体系的风险建模与评估,以指标为核心的风险评估体系,在方法上侧重于灾害风险指标的选取优化以及权重的计算;情景模拟的动态风险建模与评估方法,通过与RS/GIS和数值模式等复杂系统仿真建模手段相结合,模拟人类活动干扰下未来可能发生的灾害过程,形成对灾害风险的可视化表达,实现灾害风险的动态评估。

农业气象灾害风险既具有自然属性,也具社会属性,无论气象因子异常或人类活动都可能导致气象灾害发生。因此,农业气象灾害风险是普遍存在的。同时气象灾害风险又具有不确定性,其不确定性一方面与气象因子自身变化的不确定性有关,同时也与认识与评估农业气象灾害的方法不精确、评价的结果不确切以及为减轻气象风险而采取的措施有关。农业气象灾害风险评估的理论基础是自然灾害风险分析与风险评估原理,与自然灾害风险评价相比,国内外农业气象灾害风险评估研究起步相对较晚。国外的研究约始于20世纪80年代后期,主要集中在建立评估方法体系方面,研究对象多为果树等经济作物。如Dennis等(1988)提出了一种应用于农业发展计划的季节性农业干旱风险分析方法;美国学者Richard等(2005)在《Frost protection: fundamentals, practice and economics》一书中对霜冻发生的可能性给出了计算方法,并进行了产量损失风险的定量计算;Eduardo等(2006)构建了一个定量评价樱桃霜冻风险的综合方法,主要用于估计霜冻防控系统在减灾方面的潜在影响;White等(2009)通过研究蓝桉树生理指标与气象干旱指数、土壤水分之间的关系,构建了评价蓝桉树气候生产力和干旱风险的定量方法;Zoe等(2004)提出了基于风速等主要气象观测数据的风险评价方法,用于定量评价气象因素对防灾设施的潜在影响。近年来,针对农作物的农业气象灾害风险评估研究成果不断出现,尤以农业干旱灾害风险评估居多。

如Wilhite(2000)最早在干旱研究当中引入了风险概念,提出了干旱风险管理的概念,用以表征干旱严重情况和潜在损失;Keating等(1998)和Agnew(2000)选取降水、蒸发等气候指标和作物模拟模型,进行了相应的干旱风险评估研究;Hong等(2004a,2004b)构建了针对玉米和大豆作物的旱灾风险评估模型,可实时评估干旱造成的作物产量的潜在损失情况;Richter等(2005)利用作物模拟模型提出了一种可用于评估与预测气候变化对冬小麦产量和干旱风险影响的数学方法;Uwe等(2007)提出了旱田农业干旱风险评估方法;Todisco等(2009)选取土壤缺水指数、作物减产率、脆弱性等指标构建了农业干旱经济风险评估(AD-ERA)模型,用于评估农业干旱脆弱性和风险程度。20世纪80年代以来,灾害形成中致灾因子与承灾体的脆弱性的相互作用受到人们关注,尤其是脆弱性研究逐步得到重视。脆弱性主要用来描述相关系统及其组成要素易于受到影响和破坏,并缺乏抗拒干扰、恢复的能力(Birkman,2007)。脆弱性衡量承灾体遭受损害的程度,是灾损估算和风险评价的重要环节。脆弱性分析被认为是把灾害与风险研究紧密联系起来的重要桥梁(UN/ISDR,2004)。因此,脆弱性分析与评价成为了目前灾害风险评估研究的热点。随着农业干旱风险研究的推进,脆弱性

研究逐渐增多,并从不同的角度和方法,建立了农业干旱脆弱性评价指标和模型,推动了农业干旱灾害风险评价进程。

我国的农业气象灾害风险研究,起步于20世纪90年代,以农业气象灾害风险分析技术、方法的探索研究为主。21世纪以来,随着我国农业防灾减灾的迫切需求,自然灾害风险分析理论和技术全面引入农业领域,农业气象灾害风险评估技术向定量化、动态化方向发展,认识农业气象灾害风险的形成机制,建立农业气象灾害风险评估体系框架,构建风险评估理论模型。国内的农业气象灾害风险评估研究大致可以2001年为界分为两个阶段:第一阶段,以灾害风险分析技术方法探索研究为主的起步阶段,主要成果包括:在农业生态地区法的基础上建立了华南果树生长风险分析模型(杜鹏等,1995,1997),这是中国较早将风险分析方法应用于农业气象灾害研究;李世奎等(1999)以风险分析技术为核心,探讨了农业气象灾害风险分析的理论、概念、方法和模型。第二阶段,以灾害影响评估的风险化、数量化技术方法为主的研究发展阶段,丰富和拓展了灾害风险的内涵,包括概念的提出、定义的论述、辨识机理的揭示、函数关系的构建;实现和量化了灾害风险的评估,包括评估体系框架的构建、估算技术方法的研制、理论模型的构建及其应用量化;构建了灾害风险分析、跟踪评估、灾后评估、应变对策的技术体系。特别是“十五”国家科技攻关计划项目所属课题“农业气象灾害影响评估技术研究”的开展,促进了我国农业气象灾害风险评估研究的快速发展。主要研究成果包括:基于地面、遥感两种信息源,建立了主要农业气象灾害风险评估技术体系,实现了区域灾害致灾强度、灾损、抗灾能力风险的量化评估与业务应用;其中在灾害致灾信息提取及其风险量化表征、风险估算、风险评估模型构建及其参数的区域化等方面取得了重要进展(霍治国等,2003;杜尧东等,2003;马树庆等,2003;王素艳等,2003,2005;薛昌颖等,2003a,2003b,2005;袭祝香等,2003;刘锦銮等,2003;植石群等,2003;李世奎等,2004;王春乙等,2005)。其后,自然灾害风险分析理论和技术全面引入农业领域,农业气象灾害风险评估技术向定量化、动态化方向发展,认识农业气象灾害风险的形成机制,建立农业气象灾害风险评估体系框架,构建风险评估理论模型;灾害风险研究关注的灾害和作物类型不断增多,而且已表现出从单灾种向多灾种综合研究发展的趋势,对多灾种农业气象灾害的风险进行综合评估。研究方法上,基于多源信息获取和融合技术,借助作物模拟模型,并且考虑作物生理因素,进行针对不同作物生长全过程的农业气象灾害动态风险评估研究开始出现。在“十一五”“十二五”国家科技支撑计划项目所属课题“重大农业气象灾害对农业的影响研究”“重大农业气象灾害风险评价与管理关键技术研究”等的支持下,基于作物模型的农业气象灾害动态风险评价(王春乙,2007;王春乙等,2010;Zhang J Q et al,2011;Liu et al,2013;Zhang Q et al,2013)、基于多灾种的农业气象灾害风险综合评价取得重要进展(蔡菁菁等,2013)。

IPCC第五次评估报告(AR5)第二工作组(WGII)报告《气候变化2014:影响适应和脆弱性》(IPCC,2014)认为,受全球气候变暖影响,未来全球极端气象灾害可能出现多发、频发、重发趋势,全球和我国农业生产都将出现大幅波动,粮食供给的不稳定性会增大,将会给全球和区域粮食安全带来极大风险。观测及模拟的影响表明,气候变化已经对全球许多区域主要作物包括小麦和玉米总产量产生不利影响,负面影响的结果比正面影响更为普遍;少量研究表明正面影响多见于高纬度地区。气候变化可能带来八大风险,其中与农业紧密相关的风险有四条:与增温、干旱、洪水、降水变率、极端事件等相关的食品安全和粮食系统崩溃的风险;由于饮水和灌溉用水不足以及农业生产力下降对农村生计和收入带来损失的风险;提供沿海生计

生态产品功能和服务损失的风险;陆地和内陆水生态系统、生物多样性,及其供给生计的生态系统产品、功能和服务的损失的风险。因此,应对气候变化背景下农业气象灾害风险的变化已成为灾害风险管理的新特征和新挑战,揭示气候变化背景下农业气象灾害风险的时空新变化及其规律性,开展灾害风险变化评估研究将成为未来的热点。

1.2 农业气象灾害风险评估的主要内容

1.2.1 致灾因子危险性评估

致灾因子危险性分析是农业气象灾害风险研究的一个方向,危险性是指致灾因子的自然变异程度,主要是由灾变活动规模(强度)和活动频次(概率)决定的。一般灾变强度越大,频次越高,灾害所造成的破坏损失就越严重,灾害的风险也越大。致灾因子危险性评估内容主要包括不同孕灾环境中的致灾因子引发的灾害种类,致灾因子时空分布、强度、频率、作用周期、持续时间,致灾因子等级及其出现概率等。致灾因子风险估算是致灾因子危险性分析的重要环节,风险估算模型以概率模型最为普遍,基于概率评估的危险性评价模型将农业气象灾害风险看成是一种随机过程,假设风险概率符合特定的随机概率分布,运用特定的风险概率函数来拟合风险,以灾害发生的频率、强度、变异系数等指标构建概率分布函数估算不同程度灾害发生的超越概率。Dennis等(1988)利用蒸发散指标,构建了季节性农业干旱风险概率评估模型。杜鹏等(1995,1997,1998)根据灾害风险概率分析原理,建立了一个三层逐级放大的农业气象灾害风险分析实用模型。霍治国等(2003)采用灾害致灾的气象指标序列与实际灾情序列的对应匹配技术,通过灾害的致灾因子、致灾等级、致灾指标、减产率实现综合分离,采用六种概率分布模型进行序列的风险概率估算及其优选,分别研发了北方地区冬小麦干旱、东北地区玉米和水稻冷害、江淮地区冬小麦和油菜涝渍、华南地区香蕉和荔枝寒害风险评估技术;Cheng等(2013)利用冷害的年均频率和强度,构建了湖南省双季稻冷害风险评价方法;Hao等(2012)利用多时间尺度SPI指数,把干旱频率、强度作为危险性指标分析其变化规律,利用信息扩散技术对中国583个农气站的干旱损失进行评估;Daneshvar等(2013)采用标准化降水指数对干旱小麦的影响进行了评价。这种从对作物影响较大的农业气象灾害风险要素和风险源出发,辨识致灾因子,通过一系列参数或方法描述致灾风险信息,从而建立风险评估模型,对灾害风险进行评估的方法,得到不少学者的青睐(马树庆等,2003;袭祝香等,2003;杜尧东等,2003,2008;王素艳等,2003;薛昌颖等,2003b;陈怀亮等,2006;钟秀丽等,2007;刘荣花等,2007;李娜等,2010;侯双双等,2010;高静等,2010;徐新创等,2011;朱红蕊等,2012;许凯等,2013)。

1.2.2 承灾体脆弱性评估

脆弱性是指给定危险地区的承灾体面对某一强度的致灾因子危险性可能遭受的伤害或损失程度。根据给定的致灾因子强度推算承灾体的伤害或损失程度称为承灾体脆弱性评估。承灾体脆弱性评估主要包括风险区确定,风险区特性评估,防灾减灾能力分析等。一般承灾体的脆弱性越大,抗灾能力越弱,灾害损失越大,灾害风险也越大,反之亦然。目前的研究主要集中在以下几个方面。

(1) 基于综合影响因素分析的评估指标构建。

一般根据区域自然、环境、经济社会特点选取评估指标,构建多目标评估指标体系,比较分析区域脆弱性的差异。商彦蕊(2000)认为农业旱灾脆弱性是指农业生产系统易于遭受干旱威胁并造成损失的性质,是干旱致灾成灾的前提,与农业生产系统结构和功能有密切关系。Wilhelmi等(2002)认为决定农业旱灾脆弱性的是气候、土壤、土地利用及灌溉条件等自然因素和社会因素,建立了农业旱灾脆弱性框架体系,对美国内布拉斯加州的农业干旱脆弱性进行了分析和评价。Shahid和Behrawan(2008)从社会经济和自然两个角度选取人口密度、农业人口比例、农作物产量等七个指标,对孟加拉西部干旱承灾体进行了脆弱性评价。Fontaine(2009)基于暴露度、敏感性与适应性构建了旱灾脆弱性评价模型。Antwi-Agyei等(2012)利用降水、产量和社会经济数据构建了面向于国家和区域的多尺度、多指标的作物干旱脆弱性评价与区划方法;Kiumars Zarafshani等(2012)采用问卷调查法,选择经济、社会文化、心理、技术、基础设施等因子构建了小麦干旱脆弱性评价方法。刘兰芳等(2002)从生态环境、社会经济的角度,选择了降水量、蒸发量、水利化程度等九个指标评估了湖南省农业干旱脆弱性。杨春燕等(2005)从灾害发生发展过程的易损性和适应性两方面选择指标,构建了农业旱灾脆弱性综合评估模型。倪深海等(2005)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、灌溉率等七个指标对中国农业干旱脆弱性进行评估。王静爱等(2005)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特点设置指标,从承灾体的易损性、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。盛绍学等(2010)从自然地理条件、农业生产水平、社会经济系统等方面分析了涝渍灾害脆弱性的成因,建立了脆弱性定量评估模型。Xu等(2012)研究了综合作物对干旱的敏感性、暴露性和适应能力,构建了作物干旱脆弱性定量评估模型,并对加拿大亚伯达南部作物干旱脆弱性时空变化进行了分析。阎莉等(2012)基于IPCC报告中对脆弱性的定义,从暴露程度、敏感性和适应性的角度,选取作物自身、自然气象因子、作物生理因子以及社会经济因子等方面的十七项指标,建立了辽西北玉米干旱脆弱性评估模型。

(2) 耦合防灾减灾能力等社会经济因素的评估指标、模型构建。

农业是一个系统产业,受多种因素的影响,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。Wilhite(2000)认为区域经济条件是农业旱灾脆弱性形成的关键因素。Wilhelmi等(2002)选取气候、土壤、土地利用和灌溉率四个因子,定量评估了美国内布拉斯加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。苏筠等(2005)选择旱地比重指数、耕地平坦指数、耕地生产力指数,构建了轻旱年型下的承灾体脆弱性评估指标。Elisabeth等(2009),Evan等(2008)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。陈香(2008)采用福建省水灾数据库和社会经济指标数据库资料,编制了福建省农业水灾脆弱性分布图。杜晓燕等(2010)根据影响旱灾脆弱性的自然、社会经济因素,选取八项指标,对天津地区旱灾脆弱性进行了综合评估和分区。Wu等(2011)选取作物季节水分短缺、土壤有效持水能力和灌溉能力三个指标,构建了农业干旱脆弱性评估模型。上述研究虽已考虑到一些社会、人文因子对农业气象灾害承灾体脆弱性的影响,但由于社会、经济、人文因子对农业承灾体的影响反馈过程极其复杂,过程很难量化刻画,同时这些因子的统计数据较难获得,且质量不高,因此,总体上精细化程度不足。

(3)不同灾害类型的作物脆弱性曲线构建。

通常可用致灾因子与承灾体自身性质之间的关系曲线或方程式表示,称为脆弱性曲线或灾损(率)曲线(函数)。它主要用来衡量不同灾种的致灾强度与其相应的损失(率)之间的关系,主要用曲线、表格或者曲面的形式来表现(史培军,2011)。White在1964年首次提出了脆弱性曲线方法应用于水灾脆弱性评估(Smith,1994)。近年来该方法逐渐被推广应用到农业气象灾害、水灾、旱灾、地震、台风、泥石流、滑坡、雪崩和海啸等灾害的研究中,并且得到了比较广泛的应用(周瑶等,2012)。农业气象灾害脆弱性曲线构建方法有:基于灾情数据的脆弱性曲线构建,研究者利用收集到的农业灾情数据中致灾与成灾一一对应的关系,采用曲线拟合神经网络等数学方法发掘其间的脆弱性规律(薛昌颖等,2003a);基于模型模拟的脆弱性曲线,在旱灾研究中,有学者利用作物生长模型模拟不同灾害致灾强度情景,并计算出相应的产量损失率,分别构建了小麦、玉米和水稻的旱灾脆弱性曲线(王志强等,2012;贾慧聪等,2011;Wang *et al.*, 2013);基于试验模拟的脆弱性曲线构建,在人为模拟的灾损环境下,研究致灾因子强度对作物的影响,然后用统计方法拟合实验数据得到作物脆弱性曲线(余学知等,2001)。

1.2.3 灾情期望损失评估

利用概率或超越概率方法分析灾情不同损失程度的概率风险或者利用灾害指标识别灾害事件在某一区域发生的概率及产生的后果,是农业气象灾害风险评估的主要内容。评估风险区内一定时段可能发生的一系列不同强度的农业气象灾害给承灾体造成的可能后果称为灾情期望损失评估。灾情损失评估指标可采用绝对、相对和综合指标表示。绝对指标包括成灾面积、绝收面积、产量损失数量、直接或间接经济损失等;相对指标包括成灾面积、绝收面积百分率、减产率等;综合指标包括灾损度或灾害等级等。一般可采用历史灾情反演的方法,分析灾害事件强度及其风险概率与灾情损失之间相互关系,建立灾损函数或曲线,预估未来可能的灾情损失(灾情期望损失)。

一般将作物产量进行去趋势化,分离出气象产量,以历(灾)年平均产量减产率、历(灾)年减产率的变异系数、基于正态拟合函数构建的减产率风险概率、产量灾损风险指数、抗灾指数等为指标进行产量灾损评估(李世奎等,1999;邓国等,2001;霍治国等,2003;张琪等,2010)。国内很多学者利用农业气象灾害历史灾情资料,借助解析概率密度曲线法、减产率变异系数及相关减产率统计指标对农业气象灾害损失进行风险估算。薛昌颖等(2003a)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估指标,估算了在干旱气候条件下河北及京津地区历年冬小麦产量灾害损失的风险水平。刘荣花等(2006)构建了华北平原冬小麦干旱产量灾损风险评估模型,并对华北平原冬小麦进行了实际灾损风险区划。吴利红等(2007,2012)利用台风、暴雨洪涝、干旱、秋季低温等造成的晚稻产量平均减产率、变异系数构建了农业气象灾害综合风险指数。马树庆等(2008)建立了由冷害气候风险指标和玉米产量、面积比例等农业生产结构因素构成的玉米低温冷害的气候—灾损综合风险评估模式。陈家金等(2009)用歉年平均减产率、歉年减产率变异系数、相对气象产量低于-5%的保证率三个风险指标表征粮食产量气象灾害风险程度。盛绍学等(2009)采用逐年的相对气象产量值,构建了基于减产率的冬小麦渍害风险评估方法。谢佰承等(2009)采用受灾率、成灾率、降水变率、脆弱度、灾害损失率等指标,评估了湖南省洪涝灾害农业风险度。Xu等(2010,2011)根据极值理论,利用农业气象灾害受灾率、成灾率和绝收率,构建了农业灾害风险评估概率模型。

张峭等(2011)根据农作物灾害风险的概率密度和累积分布函数,对全国及31个省份的农业自然灾害风险进行了评估。成林等(2012)采用拉格朗日插值法,通过期望产量提取了花期连阴雨灾损率序列,最终形成了花期连阴雨灾害风险区划指数,对河南省夏玉米花期连阴雨进行了风险区划。李丽纯等(2013)选取歉年平均减产率、歉年减产率变异系数和减产率发生概率作为风险评估指标,采用等权重加权法构建了综合风险指数,对福建省马铃薯气候减产的风险进行了评估和区划。

1.2.4 灾害风险综合评估

仅对致灾因子或承灾体的单一评估不能反映农业气象灾害风险产生机制。因此,从灾害风险系统角度出发,以能够定量表达灾害风险形成过程中各要素之间相互作用的动力学机制为目的的农业气象灾害风险评估十分必要。在我国,根据农业气象灾害风险形成机理,利用合成法对影响灾害风险的各因子进行组合,建立灾害风险指数,对农业气象灾害风险进行综合评估成为目前农业气象灾害风险评估的主要趋势和发展方向,并取得了系列成果。如多位学者(霍治国等,2003;马树庆等,2003;王素艳等,2003,2005;薛昌颖等,2003a,2003b,2005;袭祝香等,2003;刘锦銮等,2003;植石群等,2003;李世奎等,2004;王春乙等,2005;刘荣花等,2006)基于区域农业气象灾害的致灾强度、灾损、抗灾能力风险指数构建综合风险指数,进行区域主要农业气象灾害综合风险评估。张继权等(2004)用人类生存环境风险评估法,选取干旱灾害的时间、范围、强度频率,持续强度和受灾区区域经济发展水平等指标,构建了玉米旱灾风险综合评估模型,评估了中国松辽平原玉米的旱灾风险;张继权等(2006,2007,2012a,2013)在总结国内外相关研究成果的基础上,完善了灾害风险概念和形成机制,提出了基于形成机理的综合灾害风险形成理论,认为灾害风险是危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力四个因素相互综合作用的产物,并对农业干旱灾害风险进行了综合评估。陈红等(2010)、罗伯良等(2011)也采用同样的方法,分别开展了玉米和小麦旱灾风险评估研究。何斌等(2010)、龙鑫等(2012)、单琨等(2012)、朱红蕊等(2013)、周寅康等(2012)考虑致灾因子危险性和承灾体脆弱性,分别构建了农业旱灾、水稻初霜冻灾害风险,农业生产自然灾害风险综合评估模型。王远皓等(2008)基于风险分析的原理,选择热量指数变异系数、不同强度冷害年出现的概率、减产率风险指数和抗灾性能四个风险评估指标,构建了综合风险评估指数。梁书民(2011)对中国雨养农业区的旱灾发生程度和旱灾抗御潜力进行了综合评估。朱琳等(2002)从灾损率、易灾性、抗灾能力三方面构建了陕西省冬小麦干旱风险评价模型。吴东丽等(2011)综合考虑了影响灾害风险大小的自然属性和社会属性,选择冬小麦干旱指数的干旱频率、基于灾损的干旱频率、灾年减产率变异系数、区域农业经济发展水平、抗灾性能指数等六个风险评估指标,构建了华北地区冬小麦干旱风险综合评价模型。王明田等(2012)从干旱的孕灾、致灾、灾损角度出发,建立了玉米干旱的气候风险、致灾风险和灾损风险三个单项风险指数模型,并与社会抗灾能力相结合,建立了玉米干旱综合风险评估指数模型。陈家金等(2011,2012)考虑致灾因子危险性、承灾体脆弱性及抗灾减灾能力,分别构建了农业气象干旱灾害、极端气候条件下橄榄产量风险评估模型。顾万龙等(2012)综合考虑霜冻害日数和冬小麦实际种植面积比例因素,构建了冬小麦晚霜冻害风险评估指数。吴荣军等(2013)从致灾因子危险性、承灾体脆弱性及抗灾能力等方面构建了干旱灾害多指标综合风险评估模型。赵俊晔等(2013)构建了由致灾因子、孕灾环境因子和承灾体因子构成的作物自然灾害风险评估指标体系,计算了省级单元不同