

近 10 年来中国主要农业气象灾害 监测预警与评估技术研究进展^{*1}

王春乙 王石立 霍治国 郭建平 李祎君

(中国气象科学研究院,北京,100081)

摘 要

频繁发生的农业气象灾害制约着我国农业生产的快速、健康发展。农业气象灾害一直是广大气象科技工作者开展的主要研究课题之一。在国家科技攻关等计划的支持下,近 10 年来农业气象灾害研究取得了许多成果。完善农业气象灾害监测业务和预报服务,构建农业气象灾害风险评估、防御体系是农业气象灾害研究的重点。基于 3S 技术和地面监测相结合,构建了农业气象灾害动态监测系统,从宏观和微观角度来全面监测农业气象灾害的发生发展;建立和完善了卫星遥感监测系统,开展干旱、洪涝、冷害等灾害的动态监测,逐步建立集 3S 于一体的高空时空分辨率的灾害监测预警系统。农业气象灾害预警研究主要包括:数理统计预报方法进一步发展,农业气象模式与气候模式结合的初步尝试,GIS 和网络等高技术在农业气象灾害预警中的应用,省级农业气象灾害预测系统的研制。我国农业气象灾害风险(影响)评估的研究,大致可以 2001 年为界分为二个阶段。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,第二阶段,以灾害影响平度的风险化、数量化技术方法为主的研究发展阶段,构建灾害风险分析、跟踪评估、灾后评估、应变对策的技术体系;具体研究包括农业气象灾害风险分析、风险评估、风险区划和基于遥感监测信息的农业干旱评估。近年来我国农业气象灾害防御研究主要是将高效利用农业气候资源的主动防御技术和开发防灾制剂的被动防御技术相结合,在防御农业干旱和低温冷害方面取得了良好效果。

关键词: 农业气象灾害,监测,预警,评估,防御。

1 引 言

20 世纪 70 年代以来,全球气象灾害发生频繁,严重地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。中国地处东亚季风区,是世界上主要的“气候脆弱区”之一,也是农业气象灾害的多发区。据统计,中国每年因各种气象灾害造成的农田受灾面积达 $3.4 \times 10^7 \text{ hm}^2$,造成的经济损失约占国民生产总值(GDP)的 3%~6%。1995 年以来,在全球变暖的大背景下,中国每年因气象灾害造成的直接经济损失均超过 1000 亿元,1998 年更高达 3000 亿元。因此,开展农业气象灾害研究对确保粮食安全及农业生产的快速健康发展,促进农民增收致富,加快农村小康的建设步伐均有重要的现实意义。为推动农业气象灾害研究和防

灾减灾工作的深入开展,本文简要叙述了中国近 10 a 来干旱、冷害、涝渍、寒害和霜冻等主要农业气象灾害在监测、预警、影响评估和防御方面的研究进展。

2 农业气象灾害研究进展

完善农业气象灾害监测业务和预报服务,构建农业气象灾害风险评估、防御体系是农业气象灾害研究的重点。

2.1 农业气象灾害监测的研究进展

近年来,农业气象灾害监测研究的不断深入已初步形成了一个立体的监测系统,构成了地-空三维监测网。

2.1.1 农业气象灾害地面站网监测研究

地面站网监测是农业气象灾害监测的基础,是

* 初稿时间:2005 年 5 月 27 日;修改稿时间:2005 年 7 月 10 日。

作者简介:王春乙,男,1960 年生,研究员,主要从事温室气体浓度变化对农业生态的影响研究,农业气象灾害研究。

其他高新技术不断发展的保障。在地面站网监测干旱方面,根据土壤湿度观测资料建立了监测模型用于干旱监测,还有利用地面气象测站的实时地面要素资料,利用天气和气候模式建立了干旱的监测模型^[1,2]。例如利用郑州 1983~1990 年旬平均气温、旬降水量和土壤初始含水量等资料建立的农业干旱地面测站监测模型,检测准确率在 80% 以上,基本上满足了农业气象业务服务的要求^[3]。江苏省在水土保持方面使用 3S 技术与计算机技术实时监测灾害的发生发展,先后增建了 7 个地面监测点,获得大量的数据为形成灾害立体监测提供保障^[4]。

2.1.2 农业气象灾害高新技术监测研究

目前遥感灾害技术已经比较成熟地应用在干旱、洪涝、冻害、寒害等农业气象灾害的监测中^[5~7]。中国目前较为常用的遥感监测干旱的方法为热惯量法和作物缺水指数法^[8,9]。另有用雷达监测土壤水分,通过发射雷达波束,接受回波信号,然后根据所得到的向后散射系数与目标物的形态及物理特性的关系反演土壤水分,进行干旱监测^[10]。“八五”、“九五”期间,中国开始应用遥感和地理信息系统等高新技术对洪涝灾害进行监测研究,并采用资源卫星和气象卫星资料(LANDSAT 和 NOAA/AVHRR)建立了 7 大江河地区洪涝灾害易发区警戒水域遥感数据库。中国科学院与中国气象局(85-906 项目)初步建立了洪灾信息实时系统,中国水利科学院与中国科学院(96-02 项目)建立了水、旱灾害监测与评估业务运行系统;星载 SAR 数据和航空雷达遥感系统在长江流域 98 特大洪涝灾害监测中全面应用。此期间,中国利用 NOAA 卫星数据、遥感技术对洪水灾情进行宏观监测,利用 SAR 系统对灾情进行全天候实时监测;利用飞机低空飞行,使用多种光学、数字传感器获取灾情数据和图像,进行了多次灾害损失监测与灾害过程监测,准确计算了受灾面积及其灾害损失评估,完成对重大洪水灾害粗、中、细三级遥感监测^[11]。近年来,水利部门也开始利用遥感技术开展洪涝灾害的监测评估工作;应用遥感手段监测冻害,主要是利用卫星遥感的红外通道资料监测低温的发生、强度以及低温冷害的分布等,迅速估计灾害的发生与范围,能够较好地研究低温冷害发生发展的一般规律^[12];基于 GIS 技术和气候学模型,融合土地利用、海拔高度、坡度、坡向等地理信息,对平均气温、最低气温资料进行较高空间分辨率的地理订正,结合冬季经济林果的生长发育状况和

受害指标,实现对寒害发生发展及其强度、范围的实时动态监测^[13]。

2.1.3 农业气象灾害监测系统研究

基于 3S 高新技术,将计算机智能系统应用于农业气象灾害预防和减免,建立了农业气象灾害监测系统^[14,15]。其中干旱监测系统就是根据前期大气的降水量、气温、蒸发量、径流、土壤墒情等情况,结合地面干旱监测、卫星遥感综合监测和数值模式预报等手段,建立一种既能实时运用又适合中国不同区域的综合干旱气象灾害监测预警系统,能够在干旱发生过程中和成灾后,客观准确地将干旱发生、发展、持续、缓解、结束以及影响程度等决策服务信息及时传递给政府有关部门。中国国家气象中心已经建立起了干旱监测系统,可以进行全国各地逐日、逐月的干旱情况监测。它主要是利用卫星资料 and 全国土壤湿度分布数据及全国农业气象预报分布数据,生成全国卫星遥感干旱监测图像、区域卫星遥感干旱监测图像及卫星遥感干旱分析产品(包括农区和牧区的干旱程度)。干旱监测产品及时传送到气象部门和有关部门。这些信息资料与 internet 相链接,及时在网上发布,随时可以在网上进行查阅。

地理信息系统技术的发展为农业气象灾害时空分布的监测提供了先进的工具和方法。在计算机技术、GIS 技术支持下,上海将实时的地面气象观测资料,利用互联网动态监测农业气象灾害,综合反映灾害的时空分布,对生产者与决策者进行生产决策具有重要意义^[16]。如浙江省农业气象灾害监测系统主要是由实时数据网上传输、实时数据转译、旬数据查询、实时灾害检索、实时灾害查询、历史灾害查询、监测报告输出和报表打印等模块组成^[17]。上海采用 ActiveX 控件和浏览器/服务器技术,建立了基于 ActiveX 的地理信息系统平台,充分利用 GIS 系统功能,提供可视化检索查寻、比较、动态追踪等功能,同时可通过 Internet 网络提供多用户使用^[18]。

2.2 农业气象灾害预警研究进展

及时、准确的农业气象灾害预警预报有助于农业生产部门及时采取有效措施,减轻灾害损失,保证农业生产持续稳定发展。近年来在方法改进、新技术应用和系统建设等方面取得了长足的进步。

2.2.1 数理统计预报方法进一步发展

目前农业气象灾害预报中使用较多的方法是在灾害指标基础上,应用时间序列分析、多元回归分析、韵律、相似等数理统计方法,建立预报模型。

(1) 时间序列方法的改进与拓展

不少研究将农业气象灾害时间序列生成均生函数,按 EOF、REOF 展开等筛选主要均生函数后建立以周期为自变量的回归预测模型^[19~21]。有研究以历年农业气象灾害受灾面积数据为样本,建立 GM(1,1)模型群,求出响应函数预测未来灾变趋势^[22]。还有研究引进能够描述气象灾害的非线性和突变性的门限回归模型,并采用基于加速遗传算法的简便通用方案,使预测性能稳定,精度提高^[23]。

(2) 多元回归分析方法广泛应用

多元回归分析方法的应用非常普遍。预报因子大多为大气环流特征量、海温等宏观因子和地面气象要素,采用相关、聚类、判别等方法建立预测模型^[24,25]。总的来说,对多元回归分析方法的改进和发展尚不多见。

(3) 物候信号应用的尝试

根据前期物候现象预测未来的异常气候、农业气象灾害。如根据本溪非固定地段杏树等树木物候和固定地段玉米物候历史资料,预测当年春季平均气温和生长季 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温,根据玉米拔节期出现的早晚预测作物低温冷害^[26]。

(4) 灾害前兆信号的揭示与应用

除了经验统计预报模型外,还有研究采用物理统计方法,综合考虑大气环流背景、影响天气系统及演变转折的天气气候学特点,揭示灾害的前兆信号,建立预测模型。文献^[27]用 EOF, SVD 技术分析东北夏季低温冷害与海温异常的可能联系和影响机理,确定强信号。也有通过对气候成因、环流场特征分析与前期天气形势关系的分析建立农业干旱预测模型^[28]。另有研究用信噪比方法识别特别干旱年的 500 hPa 高度异常变化及黑潮、暖池、Nino4 区东部附近海温异常变化,得到华北农业干旱的前兆强信号^[29]。

(5) 预报对象有所拓展

除了粮食作物外,预报对象扩大到果树气象灾害预测。如香蕉、荔枝寒害^[30,13],苹果冻害^[30]。渭北苹果花期冻害预测研究中根据冬季负积温预报模式预测冬季冷暖趋势,用典型自回归模式预报苹果花期冻害主要危害时段旬平均气温,结合日最低气温预报和霜冻警报发布冻害临近预报^[31],形成了一整套长、中、短期预报方法。另有研究直接预报农业受灾面积。分别采用时间序列、回归分析、时延神经网络等方法建立中国农业受灾面积预测模型,进

行多种预测结果的集成。还根据受灾面积和成灾面积的关系,预测可能成灾面积。模型预测效果良好^[32]。

(6) 农业气象灾害预报指标的改进

确定生物学意义明确的农业气象灾害指标是进行农业气象灾害预报的基础和前提条件。东北低温冷害研究中提出由不同时段玉米生长发育所需下限、上限和适宜温度组成,反映温度对作物影响的玉米热量指数,具有较清晰的生物学意义。在此基础上建立的东北玉米热量指数预测模型取得较高准确率^[25]。有研究在分析东北水稻生殖生长关键期低温生理反应的基础上,引入时积温概念,建立了定量反映逐日损失程度(空壳率、减产率)的动态评估、预报模式,在成熟前 25 d 左右进行冷害评估和预测^[33]。近年的华南经济林果寒害预报研究中根据广东历年受灾情况和气候资料,提出不同于天气学寒潮标准,用过程极端最低气温、降温幅度和持续时间表示的寒害指标,与香蕉、荔枝生物学特性十分吻合。建立了广东省香蕉、荔枝寒害等级指标体系,历史概括率达 22/23^[30]。

2.2.2 农业气象模式与气候模式结合的初步尝试

(1) 气候模式—农业气象模式集成的土壤水分预报和灌溉预报

将区域气候模式与土壤水分模型相连接,根据气象要素的逐日预报值预测 1 m 深土层的土壤含水量,进而预报干旱出现日期和灌溉量。预报试验结果表明 10 d 内土壤水分模式预报平均相对误差为 8.6%^[34]。

(2) 基于冬小麦发育模式的干旱识别和预测模型

考虑作物生长和发育对水分的不同需求和敏感性,利用冬小麦发育模式,建立了冬小麦干旱识别和预测模型^[35]。将气候模式的逐旬气象要素预报结果输入土壤水分模式,模拟土壤水分和水分供需比的变化,以此为指标,按 4 个干旱等级进行干旱识别和预测。

(3) 基于作物生长模型及区域气候模式的农业气象灾害预警模型

面向生长过程的作物生长动力模拟模型在国外已经应用于农作物产量预报、气候风险评估、农业资源利用等方面^[36]。

近 3 年中国开展了将作物生长模型应用于农业气象灾害预报的尝试:

(1) 华北冬小麦干旱预报研究

根据田间试验,确定冬小麦光合作用速率对水分胁迫的响应曲线,建立包括光合、蒸腾、干旱胁迫等子模式的小麦生长模型。提出以相对蒸腾比的累积值表示的农业干旱胁迫指数及 1-相对蒸腾比的累积值表示的农业干旱预警指数的概念。验证结果表明,定性预警准确率 90.7%,定量准确率 87.5%左右。对历史干旱个例年份 70 个气象站的模拟结果进行空间插值,得到干旱胁迫指数的区域分布图^[37]。

(2) 东北玉米低温冷害预报研究

考虑到东北玉米冷害主要是由于生育期内热量不足,发育延迟,造成减产的原因,建立了以日最高气温、日最低气温为因子的修正热量单位发育模型,并对发育参数进行区域划分,确定了以抽雄期延迟天数为低温冷害发生及等级的指标,建立了东北区域玉米动力生长模式。模拟了典型冷害年 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 网格密度的玉米生长发育过程及低温冷害的空间分布。利用区域气候模式输出结果开展了冷害预报试验^[38]。

(3) 江淮冬小麦渍害预警研究

在冬小麦模拟优化决策系统基础上研制了考虑渍水及持续时间对冬小麦光合作用速率、干物质分配、叶片衰老等影响的冬小麦渍害模型。与区域气候模式嵌套,分别运行基于冬小麦渍害模型和未考虑渍害影响的模型,比较二者模拟产量,得到过量土壤水影响冬小麦产量的程度,做出渍害预警^[39]。

2.2.3 GIS 和网络等高新技术在农业气象灾害预警中的应用

广东香蕉、荔枝寒害的中短期预报研究应用了地理信息系统技术^[13]。首先根据 T213 数值预报产品制作广东 86 个地面站未来 1~3 d 的平均气温和极端最低气温预报。应用 GIS 技术对预报值进行经度、纬度、海拔高度以及坡度、坡向的多次地理订正,得到 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点上的温度预报值。根据香蕉、荔枝寒害指标,判断格点的可能寒害等级。最后根据实际种植分布图,绘制香蕉或荔枝寒害预报分布图。预测结果图直观、细致,有很强的指导意义。上海农业气象灾害监测预警系统以实时气象数据监测为基础,结合未来天气预报,根据农业气象灾害指标进行评判分析。通过 Web/GIS 平台展示农业气象灾害预测的分布,并借助 Internet 网络提供给多用户服务^[18]。

2.2.4 省级农业气象灾害预测系统的研制

一些省级气象部门建立了包括农业气象灾害预测、评估、决策在内的综合服务系统,使农业气象预测直接在服务中发挥作用。江西省建立了各种气象灾害的预测模型,并以农业气象灾害为判别因子,进行粮棉油产量年景预测及作物种植面积的合理配置。在此基础上建立农业气象灾害预测决策服务系统^[40]。陕西省棉花气象灾害预报系统根据给定的预报指标,自动推理,判断气象条件适宜与否,并给出栽培管理措施。产品通过现代通讯手段传送到省、地、县棉花生产管理部门^[41]。

2.3 农业气象灾害影响评估研究进展

农业气象灾害影响评估研究的理论基础是风险分析。风险分析在最近 20~30 a 得到迅速发展,并已广泛应用于生物、医学、技术应用、环境和工程^[42,43]等领域。几乎所有灾害的影响均包括自然和技术、社会因素、心理因素^[44]。自然灾害风险分析作为多学科交叉的边缘科学,它以灾害模型、抗灾性能模型、承灾体密度模型和灾害损失模型为基础,目前成熟的成果尚不多见。美国学者 William J. Petak 和 Arthur A. Atkisson 在《自然灾害风险评估与减灾对策》^[45]一书中对美国主要自然灾害的风险分析进行了详细的论述,但针对农业灾害的风险评估基本没有涉及。国外学者在风险分析研究方面多侧重于经济领域。近年来国内学者在风险分析研究方面也多侧重于经济领域,自然灾害风险分析研究起步较晚,早期的研究主要是针对工程项目,比较重视自然灾害事件发生可能性的研究。在自然灾害系统理论体系的建立^[46~48],损失的指标及定量计算^[49],自然灾害评估框架体系的建立^[50],自然灾害经济损失函数^[51],洪水灾害模型、洪泛区价值模型、洪泛区抗灾模型及损失计算方法^[52],区域水灾的风险评估^[53],台风灾害的风险评估^[54]等方面取得了一些进展。

中国有关农业气象灾害风险(影响)评估的研究,大致可以 2001 年为界分为二个阶段。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^[54],这是中国较早将风险分析方法应用于农业气象灾害研究;以风险分析技术为核心,探讨了农业自然灾害分析的理论、概念、方法和模型^[55]。但是,有关农业气象灾害风险评估理论的基础研究仍相当薄弱,针对某种农业

气象灾害的风险评估技术研究更是一个崭新的课题。相关研究^[56]大多以灾害的实际发生频率为基础,随着资料序列的延长,灾害的致灾强度及其出现频率将会随时间变化,无法真正反映灾害的真实风险状况。特别是针对多年生果树等的农业气象灾害风险评估的研究报道很少。另外农业气象灾害风险评估标准还缺乏统一认识和实践检验,实用性和可操作性强的风险评价模型甚少。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,构建灾害风险分析、跟踪评估、灾后评估、应变对策的技术体系。针对农业生产中大范围农业气象灾害影响的定量评估需求,将风险原理有效地引入农业气象灾害影响评估,基于地面、遥感 2 种信息源,建立了主要农业气象灾害影响评估的技术体系。相关研究成果^[57~69]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。

2.3.1 农业气象灾害风险分析

在现有农业生产实况下,针对主要农业气象灾害(北方地区冬小麦干旱、江淮地区冬小麦和油菜涝渍、东北地区玉米和水稻冷害、华南地区香蕉和荔枝寒害)与其他灾害、社会经济因素的影响分离、序列构建、风险估算,研制出相关灾害风险分析的技术方法,其中在灾害致灾信息的提取及其风险量化表征、估算方面取得重要进展^[57~69]。主要包括:相关灾害致灾信息的有效提取,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。在此基础上,构建针对相关灾害的一年生农作物、多年生果树致灾因子、灾损序列。对致灾因子、灾损序列采用指标、模式技术进行致灾的风险量化表征;采用 6 种概率分布模型进行序列的风险概率估算及其优选。建立了包括致灾因子、致灾等级、致灾损失的相关灾害风险量化指标。实现了相关灾害的风险估算从阶段实际发生频率到总体风险概率的提升。

2.3.2 农业气象灾害风险评估

建立了主要农业气象灾害风险评估的技术体系,包括致灾强度、灾损、抗灾能力风险评估模型,其中在风险评估模型的构建及其参数的区域化方面取得重要进展^[57~69]。主要包括:采用基于相关灾害致灾的气象因子和指标、承灾体的实际产量和减产率,

以致灾等级及其相应的风险概率为主线,分别构建相关灾害致灾强度、灾损、抗灾能力风险评估的表征模型、应用模型,进行参数的区域化。共建立应用模型 21 个,基本形成系列配套的风险评估模型体系。实现了相关灾害致灾强度、灾损、抗灾能力风险的定量估算;包括不同致灾强度、灾损等级出现的风险概率及其区域分布。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、编制了区域分布图。经与相关灾害灾情实况比较,较好地揭示了灾害风险的区域性和地带性规律。取得了主要农业气象灾害影响评估由定性描述向客观、定量表达的重要突破。开展了灌溉降低冬小麦干旱风险能力的定量评估^[70]及试验示范应用,推广面积 $0.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$,累计增加纯收入 262.9 万元;取得了显著的社会、经济效益。

2.3.3 农业气象灾害风险区划

综合考虑主要农业气象灾害的致灾强度、灾损、抗灾能力风险的组合匹配情况,构建灾害的综合风险指数模型;根据模型估算的结果及其区域分布,提出主要农业气象灾害风险区划的指标和方法;编制出北方地区冬小麦干旱、江淮地区冬小麦和油菜涝渍、东北地区玉米和水稻冷害、华南地区香蕉和荔枝寒害致灾的风险区划图^[57,63,65,68]。根据灾害风险的区域性和地带性规律,进行作物种植布局优化调整,可实现从源头上控制农业气象灾害的发生,防御或减轻灾害对农业生产的危害。为进行农业防灾减灾决策、开展农业灾害保险提供了定量的科学依据。

2.3.4 基于遥感监测信息的农业干旱评估

基于遥感监测信息的农业干旱评估^[8,71]:采用表征农业干旱等级的土壤相对湿度指标与距平植被指数、供水植被指数值的长年代相关及其区域化技术,筛选出基于不同植被指数值的农业干旱致灾等级评估指标,以评估指标为判据,进行农业干旱致灾等级划分。结合下垫面资料,对华北地区 2~5 月冬小麦干旱、农业干旱、安徽省秋旱发生的动态变化、空间分布、危害程度进行监测和评估。制作了典型年冬小麦干旱、农业干旱监测结果分布图,农业干旱致灾等级评估结果分布图。监测、评估结果与相关省农业部门、防汛抗旱指挥部提供的结果基本吻合,准确率在 91% 以上。

2.4 农业气象灾害防御研究进展

近年来,中国从高效利用农业气候资源的主动防御技术和开发防灾制剂的被动防御技术相结合对

农业干旱和低温冷害进行了行之有效的防御技术研究。

2.4.1 农业干旱防御技术

2.4.1.1 传统农业技术的防灾增产技术原理研究

(1) 冬小麦秸秆覆盖技术:观测了秸秆覆盖地表热力学性质和动力学性质的改变及其随时间的变化规律,发现覆盖减少棵间蒸发,增加土壤水的现象以冬小麦生长前期最为明显。研究了最佳覆盖时间和数量,指出华北地区开始覆盖的时间以越冬开始之前为好,覆盖量应为 4500~6000 kg/hm²,土壤水分占田间持水量的 55%~70%时覆盖效果最好^[72,73]。

(2) 有限供水提高底墒利用率技术:试验结果表明夏玉米全生育期内供水从 261.2 mm 下降到 105.8 mm 时,底墒利用率从 6.28% 提高到 37.29%,底墒利用土层由 115 cm 增加到 160 cm。夏玉米全生育期供水 151.3 mm,耗水 190.1 mm 时玉米的收获指数和水分利用效率最高^[74]。

(3) 麦田底墒利用技术:研究表明华北地区冬小麦田在播种之前灌溉补水应达到田间持水量的 75%以上,否则对冬小麦根冠的生长发育和产量将不会有太大的帮助。冬小麦子粒重与底墒的关系符合二次曲线关系,最佳底墒应为占田间持水量的 85%左右^[75,76]。

(4) 土壤深松保墒增产技术:研究了土壤深松对土层不同深度水分利用的影响及增产原理,指出土壤深松能明显提高 0~30 cm 土层的土壤湿度和含水量,有利于冬小麦的生长发育和生物量的累积。还指出土壤深松 45 cm 使冬小麦增产 7.0%,深松 30 cm 增产 7.7%^[77]。

2.4.1.2 防灾增产适用技术开发研究

(1) 多功能防旱剂:从兼顾抑制蒸发和促进生长的目标出发,同时又考虑作物营养平衡、生理生态特征、植物生长调节功能及物理化学作用机理等方面,研制了小麦防旱制剂,并进行了一系列生理生态观测。试验结果表明该制剂具有明显的抗旱节水功能,气孔阻力加大,蒸腾强度减少,叶片保水能力强,总体上提高水分利用率 2%~27%。同时,可提高光合强度,增加功能叶片数,延长灌浆期,提高灌浆速度;增加千粒重和产量^[78]。

(2) 抑制蒸腾剂:研制的新型抑制蒸腾剂“农气一号”具有代谢、成膜、多功能、高功效的特点。不仅观测了新制剂在减小气孔开张度和叶面成膜、抑制

叶面蒸腾和促进根系吸收能力以及提高水分利用效率、增产幅度等方面的效益,还分析了环境保护、投入产出比等问题^[79~81]。

(3) 节水抗旱种衣剂:针对防御干旱生产实践的需要,研制了包括防旱抗旱技术、植物生长调节技术、常量元素技术、微量元素技术和农药技术等复合技术在内的节水抗旱种衣剂。观测了提前出苗、提高出苗率、防治地下害虫效果、提高作物水分利用效率和产量及投入产出比等方面的表现^[79~81]。

2.4.1.3 冬小麦防御干旱综合应变技术集成研究

发挥气象部门优势,提出了冬小麦防御干旱综合应变集成技术,包括冬小麦干旱监测和预报技术、麦田秸秆覆盖技术、底墒科学利用技术、有限水分胁迫抗旱增产技术、多功能防旱剂、土壤深松技术等,可使冬小麦平均增产 24.6%,耗水量减少 8.3%,水分利用效率提高 32.3%,投入产出比 1:3.2,增加收入 845 元/hm²。该技术在华北地区推广应用,取得了显著的社会、经济效益^[73]。

2.4.2 低温灾害防御技术

利用农业气候资源和农业气象预报的冷害主动防御技术

(1) 作物品种合理配置技术:针对东北地区热量资源有限、冷害时有发生的情况,确定了不同熟型品种的收益状况和气候概率。通过概率决策选择能够充分利用地区热量资源,并能获得最大经济效益的品种作为当地的主栽品种,同时进行了品种搭配决策,以确保玉米生产的高产和稳产^[82]。

(2) 适宜播种期预测技术:适时播种是防御东北低温冷害的一种战略性防御措施,由于充分利用春季热量条件,促使作物在初霜来临前正常成熟,避免出现生育后期低温冷害。一般情况下,在水分条件不是主要的限制性因子时,适宜播种期主要取决于温度。研究了针对播种适宜温度的间接预报方法和适宜播期的直接预报方法,准确程度 80%左右^[83]。

2.4.2.1 东北低温冷害适用防御技术研究

(1) 地膜覆盖技术:开展了地膜覆盖栽培增温、保墒作用试验研究。提出利用地膜覆盖技术种植比当地主栽品种生育期长的偏晚熟玉米品种的适宜播种温度及日期^[84]。

(2) 育苗移栽技术:通过试验观测得到育苗棚育苗增加玉米生长期和期间积温,提高产量的定量数据^[85]。

(3) 玉米抗低温助长剂研制:研制出专门针对东北作物低温冷害的玉米抗低温助长剂。给出不同喷施日期和次数的增产效果及投入产出比情况^[86~90]。

(4) 水稻壮秧分蘖剂研制:研制了适合于东北地区水稻苗期使用的水稻壮秧分蘖剂。测定了使用制剂后水稻生物形状、抗逆性及产量的改善效果。并进行了大田推广。使用该制剂后小区水稻产量增产幅度为 5%~23%,大田生产性推广试验增产幅度达 8%~12%。投入产出比在 1:10 以上^[91,92]。

2.4.2.2 华北霜冻灾害适用防御技术研究

(1) 化学防霜制剂研制:应用不同类型化学制剂调节作物发育速度,促进作物早熟,植株矮化,达到躲避霜冻灾害的作用。其中壮早丰可使棉株株高降低 9.89%~22.58%,主茎节间和果枝节间缩短,棉花株型紧凑,内围铃增多,单株铃数和铃重增加,吐絮期提前 2~4 d,皮棉产量增加 5.4%~17.93%,且对棉花纤维品质无不良影响^[93~94]。

(2) 生防菌和药剂除冰核细菌技术研究:开展了利用生防菌和药剂除冰核细菌减轻或控制玉米霜冻危害的防御技术研究,研制了防霜剂、抗霜素和生防菌等多种产品。其中防霜剂的防霜效果最为显著,既能杀灭细菌,又无公害,具有良好的防霜应用前景^[95]。

(3) 棉花促早熟集成避霜技术研究:提出了以壮早丰系统化学调控、地膜覆盖和增加棉花种植密度为关键技术,配合适宜播种、选择早熟品种、水肥运筹、病虫害综合防治和乙烯利催熟等棉花系统促早熟集成避霜配套栽培技术措施,皮棉可增产 14.34%~24.58%^[96]。

3 问题与展望

(1) 基于 3S 技术和地面监测相结合,从宏观和微观角度来全面监测农业气象灾害的发生发展,构建农业气象灾害动态监测系统^[97]。建立和完善了卫星遥感监测系统,开展干旱、洪涝、冷害等灾害的动态监测,逐步建立集 3S 于一体的高时空分辨率的灾害监测预警系统。随着经济的发展,人口、资源、环境问题的日益严峻,单纯从气候、农学指标来监测了解农业气象灾害已不能满足要求,三维立体监测是农业气象灾害监测发展的必然趋势^[98,99]。

(2) 确定农业气象灾害指标要与作物生长过程、生理特征及受害影响相结合,考虑不同发育阶

段、不同地形气候条件下作物的响应。数理统计预报方法应力求在预报因子物理意义和预报模型改进两个方面有所突破。基于作物模型的预报方法研究是农业气象灾害预报的一个发展方向。应加强单点尺度作物模型应用于区域尺度时的环境变量时空变异问题^[36,100]及提高月季气候预测准确率的研究^[101,102]。多学科交叉、多种预报方法结合、长中短期预报相结合、动态预报和补充订正相结合、卫星遥感动态监测信息与预警模式相结合是开展农业气象灾害预报的有效途径。研制可供业务应用和操作方便的各种农业气象灾害预警系统,开展预警服务势在必行。

(3) 农业气象灾害影响评估的基础理论和应用方法研究需进一步加强,在灾情监测与识别、灾害风险分析、灾害风险评估和灾害风险评价与对策方面形成配套体系,基于 3S 技术的农业气象灾害影响动态评估技术体系将成为未来研究发展及其业务应用的重点,农业气象灾害影响的风险化、量化、动态化评估技术将向精细化方向发展。随着国家农业防灾减灾的迫切需求,风险分析的理论和技術将会全面引入农业领域,农业自然灾害影响的评估技术将向量化、动态化方向发展。实现农业自然灾害影响由定性描述向定量表达的重要突破。

(4) 农业气象灾害的形成机制仍不十分清楚,目前针对灾害的防御措施主要采用 2 种方法,一是采取躲避的方法,尽可能使易受灾发育阶段避开不利气象条件的出现时间。二是调节作物生理状况,主要是研制的各种生化制剂产品。今后应加强农业气象灾害的形成机制研究,通过控制灾害的发生或减轻灾害的损失来减轻农业气象灾害对农业生产的影响。并发型农业气象灾害的研究仍显不足,作物一生所处的环境条件复杂多变,更多的情况是会遇到多种农业气象灾害的威胁。如北方地区的小麦和东北地区的玉米等旱地作物,几乎每年都会遇到干旱的威胁,同时在许多年份还会遇到低温冷害或霜冻灾害的影响。如何采取有效措施,综合防御多种可能出现的灾害应是今后需要加强的课题。

参考文献

- [1] 高素华. 玉米延迟型低温冷害的动态监测. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 117~121
Gao Suhua. Dynamic monitoring of growth-delaying type cold damage for corn. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(2): 117-121

- [2] 郭建平. 华北农业干旱和东北作物冷害监测预报研究. 中国气象科学研究院年报, 2003; 35
Gou Jianping. Research on monitoring and prediction of droughts in North China and crop cold damages in Northeast China. CMAS (in Chinese), 2003; 35
- [3] 王建林, 王茂新. 农业干旱地面站网监测方法研究. 见: 王馥棠, 徐祥德, 王春乙等. 华北农业干旱研究进展. 北京: 气象出版社, 1997. 91~95
Wang Jianlin, Wang Maoxin. The study on the monitoring method of Agricultural Drought in ground station data. In: Wang Futang, Xu Xiangde, Wang Chunyi, eds. Research on Agricultural Drought in North China. Beijing: China Meteorological Press, 1997. 91-95
- [4] 钱惠康, 高之栋. 建立水土保持地面监测体系. 江苏水利, 2003, (3): 37~38
Qian Huikang, Gao Zhidong. Establish ground monitoring system for soil and water conservation. Jiangsu Water Resources (in Chinese), 2003, (3): 37-38
- [5] 李剑萍. 3S 技术在灾害监测预测中的应用及展望. 灾害学, 2004, 19(增刊): 83~87
Li Jianping. Application and prospect of 3S technology in disaster monitoring and prediction. J Disasters (in Chinese), 2004, 19(Suppl): 83-87
- [6] 邢素丽, 张广禄. 我国农业遥感的应用现状与展望. 农业工程学报, 2003, 19(6): 174~178
Xing Suli, Zhang Guanglu. Application status quo and prospect of agriculture remote sensing in China. Transaction of the CSAE (in Chinese), 2003, 19(6): 174-178
- [7] 郑立中, 承继成. 空间技术在资源、环境及重大自然灾害监测中的应用. 遥感信息, 1995, (4): 12~15
Zheng Lizhong, Cheng Jicheng. Based on spatial technology monitoring resource, environment and fatal natural disasters. Information of Remote Sensing (in Chinese), 1995, (4): 12-15
- [8] 张佳华, 侯英雨, 毛飞等. 基于遥感的华北地区作物干旱时空监测研究. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 255~259
Zhang Jiahua, Hou Yingyu, Mao Fei, et al. Study on spatio-temporal distributions of crop drought in North China based on remote sensing information. J Natural Disasters, 2003, 12(2): 255-259
- [9] 王鹏新, Wan Zhengming, 龚健雅等. 基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型. 地球科学进展, 2003, 18(4): 527~533
Wang Pengxin, Wan Zhengming, Gong Jianya, et al. Advances in drought monitoring by using remotely sensed normalized difference vegetation index and land surface temperature products. Adv Earth Sci (in Chinese), 2003, 18(4): 527-533
- [10] 赵艳霞, 张佳华, 王春乙. 遥感监测干旱的主要方法及最新研究进展. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 266~270
Zhao Yanxia, Zhang Jiahua, Wang Chunyi. Major methods and recent development of monitoring drought using remote sensing data. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(2): 266-270
- [11] 杨克俭, 李清泉, 方圣辉. 遥感制图技术在洪涝灾害监测、评估、治理中的应用. 地图, 1998(4): 22~23
Yang Kejian, Li Qingquan, Fang Shenghui. Based on remote sensing drawing monitoring, evaluate and father flood. Map (in Chinese), 1998(4): 22-23
- [12] 吉书琴, 张玉书, 关德新等. 辽宁地区作物低温冷害的遥感监测与气象预报. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(1): 16~20
Ji Shuqin, Zhang Yushu, Guan Dexin, et al. Remote sensing monitoring on crop chilling damage and meteorological prediction. J Shenyang Agricultural University (in Chinese), 1998, 29(1): 16-20
- [13] 王春林, 刘金鑫, 周国逸等. 基于 GIS 的广东荔枝寒害监测预警研究. 应用气象学报, 2003, 14(4): 487~495
Wang Chunlin, Liu Jinlun, Zhou Guoyi, et al. Research on real time cold disaster watching and prediction in Guangdong province based on GIS technology. J Appli Meteor Sci (in Chinese), 2003, 14(4): 487-495
- [14] 杨丰, 陈智. 墒情监测自动化系统设计. 水利水文自动化, 2003, (4): 27~30
Yang Feng, Chen Zhi. Automation system for soil moisture monitoring and measuring. Automation of Hydrology (in Chinese), 2003, (4): 27-30
- [15] 陈荣, 区建峰. 番禺区农业气象灾害监测业务系统的研制. 广东气象, 2003, (2): 40~42
Chen Rong, Ou Jianfeng. Research on agro-meteorology disaster monitoring system in Panyu. Guangdong Meteorology (in Chinese), 2003, (2): 40-42
- [16] 戎凯, 陆贤等. 基于 WEBGIS 的上海农业气象灾害的监测系统. 华东师范大学学报, 2001, (3): 45~49
Rong Kai, Lu Xian. The system supervising the agricultural disaster based on WEBGIS. J East China Normal Univ (Natural Sci) (in Chinese), 2001, (3): 45-49
- [17] 毛裕定, 杨金文, 刘志凤. 浙江省农业气象灾害监测系统. 浙江气象科技, 1999, 20(4): 15~23
Mao Yuding, Yang Jinwen, Liu Zhifeng. Monitoring system for agrometeorological disaster in Zhejiang province. Zhejiang Meteor Sci Tech (in Chinese), 1999, 20(4): 15-23
- [18] 贺芳芳, 陆贤等. 上海地区农业气象灾害监测警示系统的研究. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 108~112
He Fangfang, Lu Xian, et al. Study on agricultural meteorological disaster monitor warning system in Shanghai. J Natural Disasters (in Chinese), 2001, 10(3): 108-112
- [19] 那家凤. 基于均生函数水稻扬花低温冷害程度的 EOF 预测模型. 中国农业气象, 1998, 19(4): 50~52
Na Jiafeng. EOF analysis and forecast model based on periodic function of rice chilling damage weather. Chinese Agrometeorology (in Chinese), 1998, 19(4): 50-52
- [20] 许炳南, 张宇发, 罗纲等. 用带周期分量的多元回归模型预测

- 贵州气象灾害变化趋势. 贵州气象, 1999, 23(3): 29~33
 Xu Bingfang, et al. Prediction of meteorological disasters in Guizhou using multi-regression model with periodic components. Guizhou Meteorology(in Chinese), 1999, 23(3): 29-33
- [21] 郭江勇, 叶燕华. 甘肃东部春播期干旱指数变化特征及预测. 中国农业气象, 2004, 25(1): 35~37
 Guo Jiangyong, Ye Yanhua. The characteristics and prediction of spring drought index in the East Gansu Province. Chinese J Agrometeorology (in Chinese), 2004, 25(1): 35-37
- [22] 王玮明. 甘肃农业气象灾害拓扑预测模型. 甘肃农业大学学报, 1998, 33(3): 276~282
 Wang Weiming. The topological prediction model on agricultural meteorological calamity in Gansu Province. J Gansu Agricultural University (in Chinese), 1999, 33(3): 276-282
- [23] 杨晓华, 金菊良, 魏一鸣. 预测低温冷害的门限回归模型. 灾害学, 2002, 17(1): 10~14
 Yang Xiaohua, JinJuliang, Wei Yiming. Threshold regressive model for forecasting low temperature disaster. J Catastrophology (in Chinese), 2002, 17(1): 10-14
- [24] 周立宏, 刘新安, 周育慧. 东北地区低温冷害年的环流特征及预测. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(1): 22~25
 Zhou Lihong, Liu Xinan, Zhou Yuhui. Research of general circulation features and forecast of summer low temperature and cold damage in the Northeast of China. J Shenyang Agricultural University (in Chinese), 2001, 32(1): 22-25
- [25] 郭建平. 东北地区玉米热量指数的预测模型研究. 应用气象学报, 2003, 14(5): 626~633
 Guo Jianping, Tian Zhihui, Zhang Juanjuan. Forecasting models of heat index for corn in Northeast China. J Appl Meteor Sci(in Chinese), 2003, 14(5): 626-633
- [26] 毕伯钧. 利用植物物候资料诊断预测温度异常. 气象, 2000, 26(3): 56~57
 Bi Bojun. Diagnose and prediction of temperature abnormality using plants phenomena. Monthly Meteorology (in Chinese), 2000, 26(3): 56-57
- [27] 郑维忠, 倪允祺. 热带和中纬太平洋海温异常对东北夏季低温冷害影响的诊断分析研究. 见: 王春乙, 郭建平编. 农作物低温冷害防御技术研究. 北京: 气象出版社, 1999. 33~40
 Zheng Weizhong, Ni Yunqi. Diagnostic study for impact of sea surface temperature anomalies over tropical and mid-latitude Pacific on summer low temperature cold damage in Northeast China. In: Wang Chunyi, Guo Jianping, ed. Studies on Integrated Preventing Technology of Summer low Temperature Cold Damage. Beijing: China Meteorological Press, 1999. 33-40
- [28] 杨先荣, 何玉春, 孙玉莲. 临夏州农业干旱研究及其防御措施. 甘肃农业科技, 2001, (10): 27~28
 Yang Xianrong, He Yuchun, Sun Yulian. Study on agricultural drought and the preparedness in Linxia. Gansu Agri Sci Tech (in Chinese), 2001, (10): 27-28
- [29] 魏风英, 张京江. 华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号. 气象学报, 2003, 61(3): 354~363
 Wei Fengying, Zhang Jingjiang. Climatological background and previous stronger signal of anomaly drought over North China. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 61(3): 354-363
- [30] 林日暖, 崔巧娟, 朱正心. 广东经济林果寒害地面预警强信号和长期统计预报模式的研究. 应用气象学报, 2003, 14(4): 499~501
 Lin Rinuan, Cui Qiaojuan, Zhu Zhengxin. Study on strong signal of early warning and long term forecasting models for cool injury of banana and litchi trees in subtropical area in China. J Appl Meteor Sci (in Chinese), 2003, 14(4): 499-501
- [31] 陈建文, 刘耀武, 徐小红等. 陕北渭北冬季负积温变化特征及趋势预测. 中国农业气象, 2003, 24(2): 8~11
 Chen Jianwen, Liu Yaowu, Xu Xiaohong, et al. Variation and trend prediction of winter negative accumulated temperature in Shanbei and Weibei region. Chinese J Agrometeorology (in Chinese), 2003, 24(2): 8-11
- [32] 王守荣, 达庆利, 黄凤喜. 中国农业受灾与成灾面积预测研究. 气象学报, 2003, 61(1): 106~115
 Wang Shourong, Da Qingli, Huang Fengxi. Studies on predicting model system for simulating agricultural areas affected and injured by natural disasters. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2003, 61(3): 106-115
- [33] 马树庆, 王琪, 沈亨文等. 水稻障碍型冷害损失评估及预测动态模型研究. 气象学报, 2003, 61(4): 507~512
 Ma Shuqing, Wang Qi, Shen Hengwen, et al. Model study on the evaluation and forecast of loss for sterile-type cool injury in rice plants. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2003, 61(3): 507-512
- [34] 张光智, 徐祥德, 毛飞等. 气候模式-农业气象模式集成系统的小麦灌溉管理新途径. 应用气象学报, 2001, 12(3): 307~316
 Zhang Guangzhi, Xu Xiangde, Mao Fei, et al. A new approach of irrigation management for winter wheat by the climatic-agrometeorological model consensus system. Q J Appl Meteorol (in Chinese), 2001, 12(3): 307-316
- [35] 赵艳霞, 王馥棠, 裘国旺. 冬小麦干旱识别和预测模型研究. 应用气象学报, 2001, 12(2): 235~241
 Zhao Yanxia, Wang Futang, Qiu Guowang. A study of assessing and forecasting models of drought in agriculture. Quart J Appl Meteor (in Chinese), 2001, 12(2): 235-241
- [36] 刘布春, 王石立, 马玉平. 国外作物模型区域应用研究的进展. 气象科技, 30(4): 1~6
 Liu Buchun, Wang Shili, Ma Yuping. Review of progress in regional application of crop growth simulation models. Meteor Sci Techn (in Chinese), 30(4): 1-6
- [37] 刘建栋, 王馥棠, 于强等. 华北地区冬小麦干旱预测模型及其应用研究. 应用气象学报, 2003, 14(5): 593~604
 Liu Jiandong, Wang Futang, Yu Qiang, et al. A drought pre-

- diction model in North China plan and its application. *J Appli Meteoro Sci (in Chinese)*, 2003,14(4): 593-604
- [38] 刘布春,王石立,庄立伟等. 基于东北玉米区域动力模型的低温冷害预报应用研究. *应用气象学报*, 2003,14(5):616~625
Liu Buchun, Wang Shili, Zhuang Liwei, et al. Study of low temperature damage prediction applications in EN, China based on a scaling-up maize dynamic model. *J Appli Meteoro Sci (in Chinese)*, 2003,14(4): 616-625
- [39] 石春林,金之庆. 基于 WCSODS 的小麦渍害模型及其在长江中下游平原气象预警上的应用. *应用气象学报*, 2003,14(4): 462~468
Shi Chunlin, Jin Zhiqing. A WCSODS-based model for simulating wet damage for winter wheat in the middle and lower reaches of the Yangtze River. *J Appli Meteoro Sci (in Chinese)*, 2003, 14(4): 462-468
- [40] 魏丽,陆叔鸣. 农业气候年景预测和决策服务系统的研究. *应用气象学报*, 1997,8(2):224~229
Wei Li, Lu Shuming. A study of the prediction of agroclimatic harvest and decision service system. *Quart J Applied Meteoro (in Chinese)*, 1997,8(2):224-229
- [41] 葛徽衍,张永红. 棉花气象灾害预报系统, *中国棉花*, 2001,28(3):21~22
Ge Huiyan, Zhang Yonghong. The forecast system of cotton meteorological disasters. *China Cotton(in Chinese)*, 2001,28(3):21-22
- [42] Vincent T. Covelto and Kazuhiko Kawamura et al. Cooperation versus conforontation; A comparison of approaches to environmental risk management in Japan and the United States. *Risk Analysis*, 1988,8(2):247-260
- [43] Rycroft R W, Regens J L, Dietz T. Incorporating risk assessment and benefit-cost analysis in environmental management. *Risk Analysis*, 1988,8(3):415-420
- [44] White G F. Paths to Risk Analysis. *Risk Analysis*, 1988,8(2):171-175
- [45] Petak W J, Atkisson A A. *Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy Anticipating the Unexpected* Springer-Verlag. New York Inc, 1982
- [46] 史培军. 灾害研究的理论与实践. *南京大学学报(自然科学版)*, 自然灾害研究专辑, 1991:37~42
Shi Peijun. Theory on disaster science and disaster dynamics. *J Nanjing University(Natural science)*, Issue of Natural Disasters(in Chinese), 1991:37-42
- [47] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践. *自然灾害学报*, 1996,5(4):6~17
Shi Peijun. Theory on disaster science and disaster dynamics. *J Natural Disasters (in Chinese)*, 1996,5(4):6-17
- [48] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践. *自然灾害学报*, 2002,11(3):1~9
Shi Peijun. Theory on disaster science and disaster dynamics. *J Natural Disasters (in Chinese)*, 2002,11(3):1-9
- [49] 赵阿兴,马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系的研究. *自然灾害学报*, 1993,2(3):1~7
Zhao Axing, Ma Zongjin. Study on the system evaluating indices of losses caused by natural disasters. *J Natural Disasters (in Chinese)*, 1993,2(3):1-7
- [50] 高庆华. 关于建立自然灾害评估系统的总体构想. *灾害学*, 1991,6(3):14~18
Gao Qinghua. The general conception of establishing system of evaluating natural disasters. *J Catastrophology (in Chinese)*, 1991,6(3):14-18
- [51] 于庆东. 自然灾害经济损失函数与变化规律. *自然灾害学报*, 1993,2(4):3~9
Yu Qingdong. Functions and change regular of economic losses caused by natural disasters. *J Natural Disasters (in Chinese)*, 1993,2(4):3-9
- [52] 向立云. 洪水风险分析及近期防治策略. *灾害学*, 1992,7(3):79~83
Xiang Liyun. Flood risk analysis and recent mitigation strategy. *J Catastrophology (in Chinese)*, 1992,7(3):79-83
- [53] 刘新立,史培军. 区域水灾风险评估模型研究的理论与实践. *自然灾害学报*, 2001,10(2):66~72
Liu Xinli, Shi Peijun. The theory and application of model research of regional flood risk assessment. *J Natural Disasters (in Chinese)*, 2001,10(2):66-72
- [54] 丁燕,史培军. 台风灾害的模糊风险评估模型. *自然灾害学报*, 2002,11(1):34~43
Ding Yan, Shi Peijun. Fuzzy risk assessment model of typhoon hazard. *J Natural Disasters (in Chinese)*, 2002,11(1):34-43
- [55] 杜鹏,李世奎. 农业气象灾害风险评价模型及应用. *气象学报*, 1997,55(1):95~102
Du Peng, Li Shikui. Risk evaluation model and application of agrometeorological disasters. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 1997,55(1):95-102
- [56] 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. 1~221,271~275
Li Shikui, Huo Zhiguo, Wang Daolong, et al. Risk Assessment and Strategies of Agricultural Disasters in China. Beijing: China Meteorological Press, 1999. 1-221, 271-275
- [57] 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):692~703
Huo Zhiguo, Li Shikui, Wang Suyan, et al. Study on the risk evaluation technologies of main agrometeorological disasters and their application. *J Natural Resources (in Chinese)*, 2003,18(6):692-703
- [58] 王素艳,霍治国,李世奎等. 中国北方冬小麦的水分亏缺与气候生产潜力——近 40 年来的动态变化研究. *自然灾害学报*, 2003,12(1):121~130
Wang Suyan, Huo Zhiguo, Li Shikui, et al. Water deficiency and climatic productive potentialities of winter wheat in north China; study on its dynamic change in recent 40 years. *J Natural Disasters(in Chinese)*, 2003,12(1):121-130

- [59] 王素艳, 霍治国, 李世奎等. 干旱对北方冬小麦产量影响的风险评估. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 118~125
Wang Suyan, Huo Zhiguo, Li Shikui, et al. Risk assessment of drought effect on yield of winter wheat in northern China. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(3): 118~125
- [60] 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): 131~139
Xue Changying, Huo Zhiguo, Li Shikui, et al. Risk assessment of drought and yield losses of winter wheat in the northern part of North China. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(1): 131~139
- [61] 盛绍学, 马晓群, 陈晓艺. 江淮地区冬小麦、油菜渍涝灾害识别及其指标. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 175~181
Sheng Shaoxue, Ma Xiaoqun, Chen Xiaoyi. Identification and indices of waterlogging for winter wheat and cole in areas of Yangtse River and Huaihe River. J Natural Disasters(in Chinese), 2003, 12(2): 175~181
- [62] 盛绍学, 柳军. 江淮地区冬小麦渍涝对籽粒灌浆的影响及致灾指标的研究. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 230~237
Sheng Shaoxue, Liu Jun. Influence of Waterlogging on forming milk of winter wheat in Jiang-Huai Region and research on disaster-inducing indices. J Ntural Disasters (in Chinese), 2003, 12(2): 230~237
- [63] 马晓群, 陈晓艺, 盛绍学. 安徽省冬小麦渍涝灾害损失评估模型研究. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 158~162
Ma Xiaoqun, Chen Xiaoyi, Sheng Shaoxue. Models of evaluating waterlogging loss of winter wheat in Anhui Province. J Natural Disasters(in Chinese), 2003, 12(1): 158~162
- [64] 马树庆, 裘祝香, 王琪. 中国东北地区玉米低温冷害风险评估研究. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 137~141
Ma Shuqing, XI Zhuxiang, Wang Qi. Risk evaluation of cold damage to corn in Northeast China. J Natural Disasters(in Chinese), 2003, 12(3): 137~141
- [65] 裘祝香, 马树庆, 王琪. 东北区低温冷害风险评估及区划. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 98~102
Xi Zhuxiang, Ma Shuqing, Wang Qi. Risk evaluation and zonation of the low temperature and cold damage in Northeast China. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(2): 98~102
- [66] 杜尧东, 毛慧勤, 刘锦奎. 华南地区寒害概率分布模型研究. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 103~107
Du Yaodong, Mao Huiqin, Liu Jinluan. Study on probability distribution models of cold damage in South China. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(2): 103~107
- [67] 植石群, 刘锦奎, 杜尧东等. 广东省香蕉寒害风险分析. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 113~116
Zhi Shiqun, Liu Jinluan, Du Yaodong, et al. Risk analysis of cold damage to banana in Guangdong Province. J Natural Disasters(in Chinese), 2003, 12(2): 113~116
- [68] 刘锦奎, 杜尧东, 毛慧勤. 华南地区荔枝寒害风险分析与区划. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 126~130
Liu Jinluan, Du Yaodong, Mao Huiqin. Risk analysis and zonation of cold damage to Litchi in South China. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(3): 126~130
- [69] 刘锦奎, 杜尧东. 荔枝寒害影响因素及其经济损失评估模型. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 188~191
Liu Jinluan, Du Yaodong. Cold-damage influencing factors on litchi and their economy-loss evaluation model. J Natural Disasters(in Chinese), 2003, 12(2): 188~191
- [70] 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
Xue Changying, Huo Zhiguo, Li Shikui, et al. Action of irrigation on decreasing yield reduction due to drought: a risk assessment of winter wheat in North China Plain. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(3): 131~136
- [71] 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
Sheng Shaoxue, Ma Xiaoqun, Xun Shangpei, et al. Remote sensing monitoring and evaluation of drought in Anhui Province based on GIS. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(1): 151~157
- [72] 朱自玺, 赵国强, 邓天宏等. 覆盖麦田的小气候特征. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 112~118
Zhu Zixi, Zhao Guoqiang, Deng Tianhong, et al. Characteristics of microclimate in mulched wheat field. Quart J Appli Meteor (in Chinese), 2000, 11(Suppl.): 112~118
- [73] 安顺清, 刘庚山, 郭安红等. 华北地区冬小麦干旱综合应变防御技术集成体系及其应用. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 237~245
An Shunqing, Liu Gengshan, Guo Anhong, et al. The integrated drought defending technique system for winter wheat in North China and its application. J Natural Disasters (in Chinese), 2001, 10(4): 237~245
- [74] 任三学, 赵花荣, 霍治国等. 有限供水对夏玉米根系生长及底墒利用影响的研究. 水土保持学报, 2004, 18(2): 161~165
Ran Sanxue, Zhao Huarong, Huo Zhiguo, et al. Study on effect limited water supply on growth of roots and soil moisture use of summer corn. J Soil Water Conesevation (in Chinese), 2004, 18(2): 161~165
- [75] 刘庚山, 郭安红, 安顺清等. 底墒对小麦根冠生长及土壤水分利用的影响. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 149~154
Liu Gengshan, Guo Anhong, An Shunqing, et al. Effect of available soil water at planting on growth of root, canopy and soil water use of winter wheat in field. J Natural Disasters (in Chinese), 2003, 12(3): 149~154
- [76] 刘庚山, 安顺清, 吕厚荃等. 华北地区不同底墒对冬小麦生长发育及产量影响的研究. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 164~169
Liu Gengshan, An Shunqing, Lu Houquan, et al. Research on the effect of soil moisture before sowing on the growth and yield of winter wheat in North China. Quar J Appli Meteor (in Chinese), 2000, 11(Suppl): 164~169

- [77] 霍治国,白月明,李光华等. 冬小麦土壤深松保墒增产效应试验研究. 应用气象学报,2000,11(增刊):145~154
Huo Zhiguo, Bai Yueming, Li Guanghua, et al. Effect of deep tillage on water conservation and yield increase of winter wheat. *Quart J Appli Meteor* (in Chinese), 2000,11(Suppl):145-154
- [78] 赵国强,朱自玺,方文松等. 多功能防旱剂的应用研究. 应用气象学报,2000,11(增刊):186~191
Zhao Guoqiang, Zhu Zixi, Fang Wensong, et al. Application study of multi-functional drought-resistant reagents. *Quart J Appli Meteor* (in Chinese), 2000,11(Suppl):186-191
- [79] 李玉中,程延年. 抑蒸集水抗旱技术. 北京:气象出版社,1999
Li Yuzhong, Cheng Yannian. *Drought-resistant Techniques of Evaporation-inhibiting and Rain Water Harvesting*. Beijing:China Meteorological Press, 1999
- [80] 王一鸣. 农业化学抗旱减灾技术的研究与应用. 中国农业气象,1996,(5):43~47
Wang Yiming. Study on the drought-resisting and disaster-mitigating of agricultural chemicals and its application. *Chinese Agricultural Meteor* (in Chinese), 1996,(5):43-47
- [81] 李玉中等. 北方地区干旱规律及抗旱综合技术. 北京:中国农业科学技术出版社,2003
Li Yuzhong, Cheng Yannian, An Shunqing, et al. *Drought Pattern and Drought-resistant Comprehensive Techniques*. Beijing:China Agricultural Sci Tech Press, 2003
- [82] 刘新安,孙玉亭. 东北地区玉米品种合理搭配技术研究. 气象学报,2000,58(增刊):899~908
Liu Xinan, Sun Yuting. Study on reasonable arrangement techniques of corn variety in Northeast China. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 2000, 58(Suppl): 899-908
- [83] 马树庆,王琪,郑庆林等. 东北地区玉米适宜播种期预报和判别技术研究. 气象学报,2000,58(增刊):881~888
Ma Shuqing, Wang Qi, Zheng Qinglin, et al. The study on differentiate methods of corn seeding date in Northeast China. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 2000, 58(Suppl): 881-888
- [84] 马树庆,王琪,王春乙等. 地膜覆盖栽培防御东北玉米冷害和霜冻试验. 自然灾害学报,2004,13(3):133~137
Ma Shuqing, Wang Qi, Wang Chunyi, et al. Test on cooling and frost damage prevention of corn using plastic mulching in Northeast China. *J Natural Disasters*(in Chinese), 2004, 13(3):133-137
- [85] 郭建平,王春乙,马树庆等. 玉米育苗移栽防御低温冷害和春旱试验研究. 自然灾害学报,2003,12(1):116~120
Guo Jianping, Wang Chunyi, Ma Shuqing, et al. Experimental study on defending corn from cold injury and spring drought by growing and transplanting seedlings. *J Natural Disasters*(in Chinese), 2003, 12(1):116-120
- [86] 郭春明,马树庆,张铁林等. 玉米抗低温促早熟药剂及使用技术试验研究初报. 吉林气象,1998,(1):20~22
Guo Chunming, Ma Shuqing, Zhang Tielin, et al. Primary experimental study on corn low temperature resistant and early maturity promotion and its using techniques. *Jilin Meteor* (in Chinese), 1998,(1):20-22
- [87] 马树庆,王琪,郭春明等. 玉米抗低温助长剂施用方案及其效果试验研究. 吉林气象,2001,(1):4~7
Ma Shuqing, Wang Qi, Guo Chunming, et al. Experimental study on corn low temperature resistant using scheme and its effects. *Jilin Meteorology*(in Chinese), 2001,(1):4-7
- [88] 王琪,马树庆,郭春明等. 作物抗低温助长剂田间应用示范试验. 吉林气象,2001,(1):31~42
Wang Qi, Ma Shuqing, Guo Chunming, et al. Application and example experiment of crop low temperature resistant and growth promotion agent in field. *Jilin Meteorology*(in Chinese), 1998,(1): 31-42
- [89] 马树庆,王琪,王春乙等. 玉米抗低温助长剂的试验效果与应用前景. 中国农业科学,2002,35(5):580~584
Ma Shuqing, Wang Qi, Wang Chunyi, et al. Study on the experimental effect prospect of low-temperature resistant agent for defending corn from chilling injury. *Scientia Agricultura Sinica*(in Chinese), 2002,35(5): 580-584
- [90] 王春乙,郭建平,马树庆等. 作物抗低温助长剂在冷害防御中的示范试验研究. 气象学报,2000,58(增刊):961~968
Wang Chunyi, Guo Jianping, Ma Shuqing, et al. The experiment and example study on a low-temperature resistance medicine for defending crop cooling injury. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 2000, 58(Suppl): 961-968
- [91] 王春艳,王立志,李忠杰等. 水稻壮秧分蘖剂苗期抗冷效果初探. 自然灾害学报,2003,12(2):108~112
Wang Chunyan, Wang Lizhi, Li Zhongjie, et al. Primary studys on effect of rice seedlings and tillering-promoting agent on cold-resistant ability. *J Natural Disasters* (in Chinese), 2003,12(2):108-112
- [92] 王春艳. 水稻耐寒壮苗伴侣的研制与应用. 黑龙江农业科学,2002,(2):23~24
Wang Chunyan. Development and application of rice cold-resistant and seedling-robust mates. *Heilongjiang Agricultural Sci* (in Chinese), 2002,(2):23-24
- [93] 孙忠富,董哲生,张建诚等. 化学调控技术的防霜应用研究. 中国生态农业学报,2003,11(4):4~6
Sun Zhongfu, Dong Zhesheng, Zhang Jiancheng, et al. Application of chemical methods on frost disaster prevention. *Chinese J Eco-Agriculture* (in Chinese), 2003,11(4):4-6
- [94] 李永山,董哲生,张建诚等. 山西省棉区棉花促早熟集成避霜技术研究. 中国生态农业学报,2005,13(1):85~87
Li Yongshan, Dong Zhesheng, Zhang Jiancheng, et al. Study on the integrated early mature and frost-avoiding cultivation techniques of cotton in Shanxi Province. *Chinese J Eco-Agriculture*(in Chinese), 2005,13(1):85-87
- [95] 孙福在,赵廷昌,牟丰盛等. 生防菌和药剂除冰核细菌防御玉米霜冻研究. 自然灾害学报,2003,12(4):115~119
Sun Fuzai, Zhao Tingchang, Mu Fengsheng, et al. Alleviation of frost damage to corn by controlling INA bacteria with competitive bacteria and chemicals. *J Natural Disasters* (in Chinese), 2003,12(4):115-119
- [96] 李永山,董哲生,张建诚等. 使用壮早丰避霜剂对棉花生长发育的影响. 棉花学报,2000,12(6):316~320
Li Yongshan, Dong Zhesheng, Zhang Jiancheng, et al. Stud-

- ies on the effects of anti-frost agent zhuangzaofeng on cotton development. *Acta Gossypii Sinica* (in Chinese), 2000, 12 (6):316—320
- [97] 徐京. 我国环境与灾害监测预报小卫星系统概况. *中国航天*, 2002, (7):10~15
Xu Jing. Monitoring environment and natural disasters based on satellites in China. *Aerospace China*, 2002, (7):10—15
- [98] 郭陆军. 全球灾害监测的新军——CHARTER 系统. *国际太空*, 2002, 11:6
Guo Lujun. Global disaster monitoring of new weapon—CHARTER sytem. *International Space*, 2002, 11:6
- [99] 夏德深, 李华. 国外灾害遥感应用研究现状. *国土资源遥感*, 1996, (29):1~8
Xia Deshen, Li Hua. The status quo of remote sensing application for natural disaster in some countries. *Remote Sensing for Land and Resources*. 1996, 29: 1—8
- [100] 庄立伟, 王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法研究. *应用气象学报*, 2003, 14(5):605~615
Zhang Liwei, Wang Shili. Spatial interpolation methods of daily weather data in northeast China. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2003, 14(5):605—615
- [101] 王绍武, 朱锦江. 短期气候预测的评估问题. *应用气象学报*, 2000, 11(增刊):1~10
Wang Shaowu, Zhu Jinjiang. Evluation of short-term climate prediction. *Quarterly Journal of Applied Meteorological Science*. 2000, 11(Suppl):1—10
- [102] 赵彦, 郭裕福, 袁重光等. 短期气候数值预测可预报性问题. *应用气象学报*, 2000, 11(增刊):64~71
Zhao Yan, Guo Yufu, Yuan Chongguang, et al. Study on the predictability of numerical short-term Climate prediction. *Quarterly Journal of Applied Meteorological Science*. 2000, 11(Suppl): 64—71

PROGRESS IN RESEARCH OF AGRO-METEOROLOGICAL DISASTERS IN CHINA IN RECENT DECADE

Wang Chunyi Wang Shili Huo Zhiguo Guo Jianping Li Yijun

(*Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 10081*)

Abstract

Agro-meteorological disasters restrict the fast and healthy development of agricultural production due to their high frequency and severe intensity. Agro-meteorologists in China attached great importance to the research on agro-meteorological disasters. A lot of progress in research on agro-meteorological disasters has been made in past decade supported by national key projects and other program. The emphasis of research on agro-meteorological disasters in China are improving monitoring system and forecast services and building the system of risk assessment and prevention system in recent decade. Based on 3s technology and surface observation, the dynamic monitoring system of agro-meteorological disasters was built to monitor the emergence and development of agro-meteorological disasters the year round. Satellite remote sensing monitoring system was built and improved. The dynamic monitoring of Agro-meteorological disasters, such as drought, flood and cold damage has been carried out. The high altitude temporal and spatial difference prediction system of disaster monitoring was developed step by step, in which RS, GIS and GPS were integrated. The study on agro-meteorological disasters prediction included the further development of mathematic statistical forecast method, the primary study on combining agro-meteorological models with climate models, the application of advanced technology, such as GIS and internet as well as the development of provincial agro-meteorological disasters prediction system. The risk assessment of agro-meteorological disasters has experienced two stages. The first was studying the technical method of disasters risk analysis before 2001 and the second was researching the quantitative technical method of risk assessment to build technical system of risk analysis, followed assessment, assessment after disasters and strategies. The main achievement included the study on risk analysis, risk assessment, risk regionalization of assessment agro-meteorological disasters and agricultural drought assessment based on remote sense monitoring information. In recent years, the prevention technique agro-meteorological disasters was studied by combining active prevention techniques of using agro-climate resource effectively and passive techniques of developing prevention medicines in China. The distinct achievement in study on agricultural drought and cold damage prevention techniques was build.

Key words: Agro-meteorological disasters, Monitoring, Prediction, Assessment, Defenses.