



主要农业气象灾害 发生规律及预警和 评估机制研究

**Study on occurrence regularity and
early warning and evaluation
mechanism of main agricultural
meteorological disasters**

张玉书 主编

张外借



辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

辽宁省优秀自然科学著作

主要农业气象灾害发生规律 及预警和评估机制研究

张玉书 主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

© 2017 张玉书

图书在版编目(CIP)数据

主要农业气象灾害发生规律及预警和评估机制研究 / 张玉书主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2017.7
(辽宁省优秀自然科学著作)
ISBN 978-7-5381-9985-7

I. ①主… II. ①张… III. ①农业气象灾害—监测—研究 ②农业气象灾害—评估—研究 IV. ①S42

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第256375号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路25号 邮编: 110003)

印刷者: 辽宁星海彩色印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm

印 张: 11.5

插 页: 4

字 数: 252千字

印 数: 1~1 000

出版时间: 2017年7月第1版

印刷时间: 2017年7月第1次印刷

责任编辑: 郑 红

策划编辑: 陈广鹏

封面设计: 嵘 嵘

版式设计: 于 浪

责任校对: 李淑敏

书 号: ISBN 978-7-5381-9985-7

定 价: 120.00元

联系电话: 024-23280036

邮购电话: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

编委会

主 编 张玉书

副主编 纪瑞鹏 米 娜 蒋大凯 蔡 福 张淑杰
于文颖 冯 锐 史奎桥 张富荣

编著者 (按姓名首字笔画为序)

于文颖	于增华	于慧波	才奎志	门素春
王昌华	王春远	冯 锐	史奎桥	田 莉
关德新	刘景利	孙晓巍	米 娜	纪瑞鹏
张玉书	张淑杰	张富荣	李 刚	李俊和
杨 扬	谷惠刚	陈妮娜	陈洪伟	武晋雯
赵先丽	陶 林	崔胜权	蒋大凯	蒋 超
蔡 福				

作者简介



张玉书，1963年生，正研级高级工程师。沈阳农业大学硕士生导师，辽宁省遥感应用协会理事会副理事长，中国遥感应用协会理事会理事，中国农学会农业气象分会理事会理事，辽宁省省情研究会研究员，《气象与环境学报》副主编，《干旱气象》编委。主要

从事农业与气象关系的监测、预测、评估，卫星遥感应用，气候变化对农业影响等领域的科研及业务工作。2003年以来，主持国家级、省部级项目共14项，其中获辽宁省政府科技进步一等奖1项、二等奖4项、三等奖7项。发表论文80余篇，其中SCI收录2篇，EI收录1篇；出版专著4部。主持及参与编制国家标准3项，主持行业标准1项、地方标准8项。3个业务系统取得软件著作权。2012年被辽宁省人民政府评为全省粮食生产先进工作者，2012年被辽宁省委、省政府评为辽宁省第六批省级优秀专家，2014年入选辽宁省“农业气象灾害”科技创新团队首席专家、中国气象局气象为农服务指导专家组成员。

前言

改革开放以来,辽宁农业进入全面高速发展的新时期,农业生产力发展水平在全国居领先地位。2015年,全省粮食作物播种面积 3297.4 km^2 ,比上年增加 62.3 km^2 。其中,水稻播种面积 544.9 km^2 ,玉米播种面积 $2\,416.8\text{ km}^2$ 。粮食总产量 $2\,002.5\text{ 万 t}$,位居全国第13位,比上年增产 248.6 万 t ,增长 14.2% ,增幅位居全国第1位,其中,水稻产量 467.7 万 t ,玉米产量 $1\,403.5\text{ 万 t}$ 。辽宁省玉米、水稻播种面积分别占全省粮食作物播种面积的 73% 和 17% ,玉米、水稻产量分别占全省粮食作物总产的 70% 和 23% 。在2009年《全国新增1000亿斤粮食生产能力规划(2009—2020年)》中已经明确了东北三省作为全国13个粮食生产核心区的地位,辽宁省为13个粮食生产核心区之一。现阶段,全省9成以上的主要粮食作物生产是暴露在自然气象环境中,粮食生产过程依然高度依赖于天气气候条件,光、温、水等气象要素不仅是粮食生产过程中的物质资源和能量来源,同时也构成了其生存环境。然而,气候变暖导致某些极端天气气候事件变得频率更高,强度更大,范围更广,灾情更重,农业气象灾害发生的轻重,在很大程度上决定了粮食收成、农产品品质优劣和农业生产成本高低,农业气象灾害频发是造成粮食减产的决定性因素。可见,气象条件直接影响作物从种到收的生长全过程,气象要素的变化或促进或阻碍农作物的正常生产,甚至形成农业气象灾害而导致最终产量减产损失。

此前,辽宁省乃至全国范围内农业气象灾害监测评估多以研究为主,在应用与社会服务中多依赖定性手段分析,定量化、精细化评估预警方法少之又少。另外,由于气候变暖,品种改变,以前的农业气象灾害指标已不能完全适用。在这样的背景下,通过对主要农业气象灾害及预警和评估机制的研究,促进农业气象灾害预警和评估技术向定量化、精细化方向发展,对于增强粮食生产能力潜力巨大。加强农业气象灾害发生规律及监测、预警和评估研究,对提高农业气象灾害监测预警和防灾减灾能力,减轻农业气象灾害影响损失,维护粮食安全,增强可持续发展具有重要的现实意义。

本书共分8章,分别介绍了大范围田间分期播种试验和低温、干旱环境控制试验的方案设计和实施步骤,如何充分利用气象历史资料和田间试验资料,分析近50年来辽宁省农业干旱、低温冷害、霜冻灾害的年际、年代际发生发展规律,揭示重大农业气象灾害形成原因和致灾机理过程,建立主要农作物不同发育期农业气象灾害的监测、评估及预警指标体系。研制了农业气象灾害风险分析技术,结合不同地区的抗灾能力,进行农业气象灾

害风险分析及定量评估,确定出辽宁省主要农业气象灾害高风险区。此外,还对重大农业气象灾害典型的天气系统概念模型进行归纳和总结,研究灾害预报预警技术,实现了精细到乡镇的主要农业气象灾害实时预报预警,预警准确率提高了5%以上。基于GIS平台研发了集数据采集、风险分析、影响评估、预报预警、气象服务于一体的农业气象灾害监测预警服务系统,可以快速地开展农业气象灾害监测预警数据分析和产品制作。达到了依靠气象科技手段实现玉米和水稻两大作物减灾增收增效的主要目标。全书内容丰富,指标、方法、技术针对性强,不但可以作为气象部门开展为农服务工作的重要参考,相关技术、方法、成果也可在农业、农村、农民等领域、群体中推广应用。

本书由“十二五”辽宁省科学技术厅农业攻关计划项目“主要农业气象灾害发生规律及预警和评估机制研究”(编号2011210002)资助出版。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2016年11月

目 录

1	农业气象灾害研究理论	001
1.1	技术原理	001
1.2	技术方案	001
1.2.1	灾害监测方法和指标	001
1.2.2	灾害风险评估和区划	001
1.2.3	灾害影响定量评估	002
1.2.4	灾害天气预报预警	002
1.2.5	灾害监测预警服务系统	002
1.3	技术方法特征	002
1.4	技术性能要求	002
2	试验方案设计与结果分析	003
2.1	试验方案	003
2.1.1	玉米分期播种试验	003
2.1.2	玉米干旱胁迫试验	004
2.1.3	玉米低温冷害胁迫试验	006
2.1.4	玉米出苗及苗期水分控制盆栽试验	007
2.1.5	水稻分期播种试验	008
2.1.6	水稻低温冷害胁迫试验	009
2.2	试验结果分析	010
2.2.1	玉米分期播种试验结果	010
2.2.2	玉米干旱胁迫试验结果	020
2.2.3	玉米低温胁迫试验结果	030
2.2.4	水稻分期播种试验结果	040
3	主要农业气象灾害监测指标	051
3.1	玉米干旱监测指标	051
3.1.1	土壤相对湿度干旱指标	051
3.1.2	水分亏缺指数干旱指标	053
3.1.3	水分适宜度干旱指标	054

3.2	低温冷害监测指标	061
3.2.1	水稻延迟型冷害监测指标	061
3.2.2	水稻障碍型冷害监测指标	062
3.2.3	玉米延迟型冷害监测指标	062
3.3	霜冻灾害监测指标	063
4	主要农业气象灾害发生规律	064
4.1	干旱灾害发生规律	064
4.1.1	不同发育期干旱频率空间分布特征	064
4.1.2	不同等级干旱频率空间分布特征	065
4.1.3	干旱频率的年代际变化特征	067
4.1.4	不同等级干旱频率年代际变化特征	068
4.2	低温冷害发生规律	070
4.2.1	水稻低温冷害发生规律	070
4.2.2	玉米低温冷害发生规律	078
4.3	霜冻灾害发生规律	082
4.3.1	初霜冻分析指标	082
4.3.2	初霜冻发生年代际变化规律	082
4.3.3	初霜冻发生空间分布特征	082
5	主要农业气象灾害风险评估与区划	084
5.1	干旱灾害风险评估与区划	084
5.1.1	风险评估指标与方法	084
5.1.2	风险区划	085
5.2	低温冷害风险评估与区划	087
5.2.1	玉米低温冷害风险评估与区划	087
5.2.2	水稻低温冷害风险评估与区划	092
5.3	初霜冻灾害风险评估与区划	099
5.3.1	风险评估指标的选取	099
5.3.2	霜冻灾害风险评估体系的建立	099

5.3.3 霜冻灾害风险评估过程	100
6 主要农业气象灾害影响评估	105
6.1 干旱灾害影响评估方法	105
6.1.1 玉米气象指数 (CMI) 评估方法	105
6.1.2 水分适宜度干旱评估方法	108
6.1.3 玉米干旱胁迫指标评估方法	108
6.2 低温冷害影响评估方法	110
6.2.1 水稻低温冷害评估方法	110
6.2.2 玉米低温冷害评估方法	112
7 主要农业气象灾害天气预报预警	115
7.1 水稻低温冷害预报预警天气分型	115
7.1.1 水稻播种期低温预报预警天气型	115
7.1.2 水稻秧苗期低温预报预警天气型	115
7.1.3 水稻分蘖期低温预报预警天气型	116
7.1.4 水稻夏季低温预报预警天气型	117
7.2 玉米低温冷害预报预警天气分型	120
7.2.1 玉米播种期低温预报预警天气型	120
7.2.2 玉米苗期低温预报预警天气型	121
7.2.3 玉米夏季低温预报预警天气型	123
7.2.4 玉米低温冷害天气型影响分析	124
7.3 霜冻预报预警天气分型	124
7.4 结合数值预报的气温客观预报方法	125
7.4.1 数值预报来源	125
7.4.2 预报流程	125
7.4.3 气温客观预报方法确定与 Kalman filter 原理	126
7.4.4 递推滤波系统的参数计算	127

8 主要农业气象灾害监测预警服务系统.....130

8.1 系统总体结构130

8.2 系统运行环境130

8.3 系统流程131

8.4 系统主要功能131

8.4.1 数据采集分析133

8.4.2 灾害风险评估133

8.4.3 灾害监测评估134

8.4.4 灾害预报预警134

8.4.5 灾害模型设置136

附录 辽宁省农业气象灾害预警平台站点信息表.....137

参考文献173

1

农业气象灾害研究理论

1.1 技术原理

农作物生长在自然环境中，受阳光、雨露、风云、温度的影响，在适宜的气象条件下，自然会取得好的粮食产量和收成。如果某个或某几个气象要素出现了异常，导致作物生长环境的不适宜，则会发生农业气象灾害，造成作物减产。所以，农业气象灾害规律分析、预警评估的基本技术原理就是针对土壤—植物—大气连续体（SPAC）中的土壤水分、植物发育、气象要素等因子之间的相互作用和影响过程中存在的异常问题，利用农学、农业气象学、天气学、作物学、数理统计学、遥感、地理信息等技术和方法，通过田间分期播种试验，低温、干旱胁迫试验、作物模型模拟、基础生理生态观测、气象观测等综合手段，对主要农业气象灾害进行监测、风险评估、预报预警和服务等研究。

1.2 技术方案

针对东北地区农业干旱、低温冷害、霜冻等主要农业气象灾害，从对玉米、水稻两大作物影响的机制和指标入手，分析主要农业气象灾害发生规律，开展主要农业气象灾害风险分析、评估及预警方法研究，建立辽宁省主要农业气象灾害监测预警服务系统。

1.2.1 灾害监测方法和指标

综合地面、卫星遥感、天气、田间试验观测及灾情调查等多种信息，通过比对、验证、完善和建立农业干旱、低温冷害、霜冻监测指标和技术方法，实现农业干旱、低温冷害、霜冻的实时监测。

1.2.2 灾害风险评估和区划

针对主要农业气象灾害各自的特点，统计分析各灾害的历史发生规律和空间变化布局，研制包括灾害危险性、作物暴露性和作物脆弱性在内的相关灾害风险分析的量化指标，构建灾害的综合风险指数模型，基于GIS技术开展主要农业气象灾害风险区划并

制图。

1.2.3 灾害影响定量评估

基于田间试验，利用数理统计方法和作物生长模拟技术，结合现代农业气象指标、灾害影响程度和损失等因素，研究建立农业干旱、低温冷害、霜冻定量评价模型，实现农业气象灾害的定量化评估。

1.2.4 灾害天气预报预警

将数值预报产品、天气预报、延伸期预报和气候预测与作物发育期、农事、农时紧密结合，基于灾害监测指标体系，遴选导致农业气象灾害发生的天气学模型，开展农业气象灾害精细化中、短期预报及预警方法研究。

1.2.5 灾害监测预警服务系统

利用 VC，VC.net 等计算机语言，基于指标、模型等研究成果，在现有部分系统的基础上，完善基于 GIS 的主要农业气象灾害监测、预警和评估服务平台。

1.3 技术方法特征

本书所有技术以原创为主，引进、吸收技术相结合，利用地一空监测手段，通过试验模拟进行验证，针对主要农业气象灾害，设计从指标建立、灾害监测评估、预报预警及服务一条龙的研究思路，突出技术方法的实用性、可用性和适用性。

1.4 技术性能要求

田间科学试验和实施方案合理可行，技术方法保持先进成熟，灾害指标适用性强，可以实现灾害监测预警，研究成果具有较大的推广应用前景，可促进农业气象科研和业务服务发展。

2

试验方案设计与结果分析

2.1 试验方案

根据研究内容，针对玉米、水稻分别设计了田间分期播种及胁迫控制试验方案。

2.1.1 玉米分期播种试验

根据气候区的代表性，在朝阳、锦州、黑山、抚顺、庄河5地开展玉米分期播种试验。试验品种为丹玉39、丹玉99、良玉88、农华101，各站点分期播种日期如下。

- 黑山：4月10日、15日、20日、25日、30日，5月10日、20日、30日。
 - 抚顺：4月15日、20日、25日、30日，5月10日、20日、30日。
 - 庄河：4月10日、20日、30日，5月15日、30日。
 - 朝阳：4月15日、20日、25日、30日，5月10日、20日、30日。
 - 锦州：4月10日、15日、20日、25日、30日，5月10日、20日、30日。
- 具体试验观测方案见表2-1。

表2-1 玉米分期播种试验观测方案		
观测时间	观测项目及要求	数据格式
播种当日	播种密度，每个播种期都观测	单位：株/m ² （株/亩）
每一发育期普遍期当日	播种、出苗、三叶、七叶、拔节、抽雄、开花、吐丝、乳熟、成熟（每个播期，4个品种分别记录）	记录日期（ 月 日 ）
每一发育期普遍期，包括三叶、七叶、拔节、抽雄、乳熟、成熟	干鲜重：叶片（活体、死体）、茎（活体）、果实（活体）的干鲜重。每个播期每个品种各取3株 烘干处理：按农业气象观测规范（上卷）30页规定，称干重，记录 叶面积：测量干鲜重同时测量叶面积（长×宽×0.7），记录	干鲜重单位：g 叶面积单位：cm ²

续表

观测时间	观测项目及要求	数据格式
4月30日播种期，第一片叶开始到不新生长叶片结束	记录叶片数、对应日期≥10℃活动积温，当出现1片新叶并完全展开时，记录叶片数、对应日期、播种到记录日期≥10℃活动积温，观测方法：每个品种定3株观测	单位：片（叶片数） 日期、℃
所有播种期，作物成熟后	产量结构分析，每个播种期都观测	产量单位：(kg/hm ²)
逢3日、8日	农田土壤水分观测	相对湿度（10，20，30，40，50 cm）

2.1.2 玉米干旱胁迫试验

利用锦州大型农田土壤水分控制试验场，通过开展春玉米关键发育期干旱胁迫—复水试验，分析春玉米在三叶普遍期—拔节普遍期、拔节普遍期—吐丝普遍期、吐丝普遍期—乳熟普遍期内遭受干旱过程中玉米植株形态、生理、产量的变化规律及受到的影响。

2.1.2.1 干旱胁迫试验场布局

干旱胁迫试验场布局见图2-1。



图2-1 玉米干旱胁迫试验区示意图

2.1.2.2 干旱胁迫控水方案

(1) 播种—三叶普遍期, 正常供水。

目的: 保证所有试验区玉米正常播种和出苗。

第1~5试验区(图2-1)0~40 cm土壤水分相对湿度控制在65%~70%。每3 d观测1次土壤湿度后, 根据实际情况进行补水。

(2) 三叶普遍期—拔节普遍期, 控水—复水。

目的: 通过对玉米三叶普遍期—拔节普遍期控水, 形成干旱环境, 研究干旱对此发育期玉米植株形态、生理、产量的影响。复水后的补偿效应。

第5试验区的51, 52, 53小区, 从玉米三叶普遍期开始阻隔自然降水和人为补水, 该试验区3个试验小区0~60 cm农田土壤相对湿度下降至 $45\% \pm 5\%$ 时, 复水至适宜土壤湿度(参照第1试验区)。

(3) 拔节普遍期—吐丝普遍期, 控水—复水。

目的: 通过对拔节普遍期—吐丝普遍期控水, 形成干旱环境, 研究干旱对此发育期玉米植株形态、生理、产量的影响。复水后的补偿效应。

第4试验区的41, 42, 43小区, 从拔节普遍期开始阻隔自然降水和人为补水, 该试验区3个试验小区0~60 cm农田土壤相对湿度下降至 $45\% \pm 5\%$ 时, 复水至适宜土壤湿度(参照第1试验区)。

(4) 拔节普遍期—吐丝普遍期, 控水—复水。

目的: 通过对拔节普遍期—吐丝普遍期控水, 形成干旱环境, 研究干旱对此发育期玉米植株形态、生理、产量的影响。受到干旱胁迫影响后不可恢复正常生长的土壤含水量临界指标。

第3试验区的31, 32, 33小区, 从拔节普遍期开始阻隔自然降水和人为补水, 该试验区3个试验小区0~60 cm农田土壤相对湿度下降至植株凋萎时, 复水至适宜土壤湿度(参照第1试验区)。

(5) 吐丝普遍期—乳熟普遍期, 控水—复水。

目的: 通过对吐丝普遍期—乳熟普遍期控水, 形成干旱环境, 研究干旱对此发育期玉米植株形态、生理、产量的影响。复水后的补偿效应。

第2试验区的21, 22, 23小区, 从拔节普遍期开始阻隔自然降水和人为补水, 该试验区3个试验小区0~60 cm农田土壤相对湿度下降至 $45\% \pm 5\%$ 时, 复水至适宜土壤湿度(参照第1试验区)。

(6) 全生育期正常供水。

目的: 作为其他控水试验区的对照。

第1试验区的11, 12, 13小区, 作为春玉米全生育期对照(控水原则: 各生育期内玉米生长的土壤水分维持适宜水平)。0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm, 80~100 cm土壤水分相对湿度控制在 $75\% \pm 5\%$, 每3 d观测1次土壤湿度后, 根据实际情况进行补水。

2.1.2.3 田间观测方案

(1) 土壤湿度观测。春玉米全生育期(播种—成熟)内每3 d(隔2 d)测定1次土壤湿度。该测定主要用于补水量计算,提供试验过程中的土壤湿度数据,玉米各生育期内的蒸发蒸腾量计算等。

(2) 发育期观测。试验1~5区玉米发育期记录。注意试验1,2,3,4,5区分别记录。发育期观测按《农业气象观测规范》进行。

(3) 补水量记录。准确记录各试验小区生育期内的补水量。用于玉米各生育期内的蒸发蒸腾量计算等。

(4) 生长状况观测。从七叶普遍期开始,在15个试验小区内,每个小区选3株进行定株观测(作标记),每3 d观测1次株高、叶片数、茎粗(拔节后)。用于分析干旱胁迫后植株形态受到的影响等。

(5) 生长量观测。2,3,4,5区复水前和玉米成熟后,连同1区分别观测1次叶面积、生物量(茎、叶、果实),每个小区内选3株。此外,用冠层分析仪每10 d测1次1~5试验区的叶面积指数。用于分析干旱胁迫后植株生长量受到的影响等,其中玉米成熟后的籽粒干物重和地上干物重的比值可以分析干旱胁迫对收获指数的影响。

(6) 产量结构分析。全生育期结束,各小区分别做产量结构分析,按《农业气象观测规范》进行。用于分析干旱胁迫后植株产量结构受到的影响等(空秆率、株果穗数、穗位高度、果穗秃尖率、果穗重、实收平均亩产(斤)这6项补充)。

(7) 干旱胁迫—复水生理状况观测。

①三叶普遍期—拔节普遍期。第5试验区的51,52,53小区复水前后,连同试验1区(11,12,13小区)采用LI-6400测定叶片光合性能(光响应曲线和光合作用日变化)。

②拔节普遍期—吐丝普遍期。第4试验区的41,42,43小区;第3试验区的31,32,33小区,复水前后,连同试验1区(11,12,13小区)采用LI-6400测定叶片光合性能(光响应曲线和日变化光合曲线)。

③吐丝普遍期—乳熟普遍期。第2试验区的21,22,23小区复水前后,连同试验1区(11,12,13小区)采用LI-6400测定叶片光合性能(光响应曲线和光合作用日变化)。

观测要求:每个小区内选3株玉米,共9株,对全展叶(抽雄前)或穗位叶(抽雄后)进行光响应曲线测定,测定时间:上午8—12时。光合作用日变化从6—18时,每隔2 h观测1次。

2.1.3 玉米低温冷害胁迫试验

2.1.3.1 玉米苗期低温胁迫试验

试验选择当地两个主栽品种(丹玉39和丹玉42),4月28日播种。低温胁迫试验主要在三叶期和七叶期进行,每个发育期2个低温胁迫处理,三叶期低温控制的日平均温度为6.1℃,控温期为3 d和5 d;七叶期低温控制的日平均温度为11.5℃,控温期为3 d和5 d。控温前后均进行控温处理玉米和对照玉米的干物重和叶面积测量。低温控制结束后,将所