

“十二五” 国家科技支撑计划课题

“重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究(2011BAD32B01)” 资助

重大农业气象灾害 立体监测与动态评估 技术研究

赵艳霞 郭建平 等 著

 气象出版社
China Meteorological Press

非
外
借

“十二五”国家科技支撑计划课题“重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究
(2011BAD32B01)”资助

重大农业气象灾害立体监测与 动态评估技术研究

赵艳霞 郭建平 等 著

内 容 简 介

本书是“十二五”国家科技支撑计划重点项目“农林气象灾害监测预警与防控关键技术研究”01 课题“重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究”(编号: 2011BAD32B01)5 年多研究的初步成果,内容主要是以南方双季稻低温灾害、西南农业干旱、黄淮海小麦干热风为对象,基于地面观测、卫星遥感和作物模型等方法,开展不同灾害的立体监测和动态评估技术研究,并研发了省、区级灾害监测与评估业务平台。本书可供气象、农业等领域的科研、业务人员以及灾害防御、规划等相关部门参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究/赵艳霞等著. —北京:气象出版社, 2015. 10
ISBN 978-7-5029-6271-5

I. ①重… II. ①赵… 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(2015)第 239836 号

重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究

Zhongda Nongye Qixiang Zaihai Liti Jiance Yu Dongtai Pinggu Jishu Yanjiu

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: www.qxcbs.com

责任编辑: 李太宇

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: 420 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

定 价: 70.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审: 徐雨晴

责任技编: 赵相宁

彩色插页: 4

印 张: 16

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社发行部联系调换

撰写专家组

主 编 赵艳霞 郭建平

副主编 何永坤 方文松 杨沈斌

成 员 (以姓氏拼音为序)

陈 德	陈 斐	成 林	程勇翔	范 莉
郭瑞芳	何延波	黄敬峰	黄 维	李祎君
李 颖	刘宗元	吕厚荃	唐余学	王萌萌
吴门新	张建平	张 祎	张志红	赵俊芳

前 言

我国是世界上受气象灾害影响最严重的国家之一，农业气象灾害种类多、强度大、频率高、持续时间长、影响范围广、造成的损失重，严重影响农业生产。尤其是近年来，随着我国农业的快速发展和全球气候变暖，各种气象灾害发生频率和危害程度均呈上升趋势，已对农业可持续发展和粮食安全构成严重威胁。为了最大限度地减轻气象灾害造成的损失，促进我国经济发展和社会进步，急需开展农业气象灾害监测与评估技术研究，提升我国农业生产防灾减灾及气象保障能力。

农业干旱、低温和干热风等灾害的立体监测和动态评估，是防灾减灾工作迫切需要解决的重大科学和关键技术问题。在国家“九五”、“十五”和“十一五”规划期间成果的基础上，针对以往涉及但未深入研究或尚未研究的内容，“十二五”规划期间国家科技支撑计划重点项目“农林气象灾害监测预警与防控关键技术研究”01课题“重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究”以南方双季稻低温、西南农业干旱、黄淮海小麦干热风为研究对象，研发我国重大农业气象灾害的致灾气象指标和灾害等级指标体系，揭示不同灾害发生发展的时空变化规律，建立基于地面观测和卫星遥感相结合的危害立体、实时监测技术，研制基于地面观测、卫星遥感和作物模式的灾害损失动态评估技术，研发省区级灾害监测与评估业务平台。这些研究成果使得灾害监测的时效性和准确率得到进一步提高，灾害影响动态评估水平得到明显提升，对进一步拓宽气象部门的业务服务领域，提升气象为农服务水平也都具有显著的推动作用。

通过研究开发，利用地面观测、遥感、自动化监测以及GIS等新技术，发展和改进了灾害的监测和评估技术，建立了更为先进的我国主要农业气象灾害的立体监测及动态评估方法。在信息耦合上，向集成地面气象、农业气象、田间小气候观测以及农情、灾情和地理信息系统等多元信息方向发展，在技术研发上向模型化、动态化和精细化方向发展。

课题承担单位是中国气象科学研究院，参加单位包括浙江大学、南京信息

工程大学、国家气象中心、河南省气象科学研究所和重庆市气象科学研究所。经过科研业务人员五年多的努力，圆满完成了课题既定的目标。其中，有关南方双季稻低温的研究任务由南京信息工程大学和浙江大学完成，黄淮海冬小麦干热风的研究任务由河南省气象科学研究所和中国气象科学研究院完成，西南农业干旱的研究任务由重庆市气象科学研究所和国家气象中心完成。作为课题成果的一部分，我们对课题组成员的研究成果进行了汇集和整理，出版此书。本书可供气象、农业等领域的科研、业务人员以及灾害防御、规划等相关部门参考和使用。

本书为课题的研究成果，虽然在灾害的监测和评估方面取得了一些进展，但限于学科的发展水平和问题本身的复杂性以及有限的研究时间，所得结果必然存在一定的不确定性。另外，本书撰写和编辑时间较紧，书中难免有不足和疏漏之处，欢迎读者批评指正。

著者

2015 年 10 月

目 录

前 言	
第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究目标	(1)
1.2 需求分析	(1)
1.3 主要研究内容和技术路线	(3)
第 2 章 南方双季稻低温灾害的时空变化规律	(5)
2.1 研究区概况	(5)
2.2 研究数据和方法	(7)
2.3 双季早稻低温冷害时空分布特征	(9)
2.4 双季晚稻低温冷害时空分布特征	(15)
2.5 小结	(22)
参考文献	(22)
第 3 章 西南农业干旱的时空变化规律	(23)
3.1 研究区概况	(23)
3.2 研究数据和方法	(23)
3.3 玉米干旱时空分布特征	(28)
3.4 水稻干旱时空分布特征	(34)
3.5 小结	(41)
参考文献	(42)
第 4 章 黄淮海冬小麦干热风的时空变化规律	(43)
4.1 研究区概况	(43)
4.2 研究数据和方法	(43)
4.3 干热风指标	(44)
4.4 时空分布特征	(44)
4.4.1 出现日数	(44)
4.5 小结	(48)
参考文献	(48)
第 5 章 南方双季稻低温灾害的立体监测技术	(49)
5.1 立体监测指标体系	(49)
5.2 立体监测技术	(78)

5.3 小结	(98)
参考文献	(99)
第6章 西南农业干旱的立体监测技术	(101)
6.1 立体监测指标	(101)
6.2 立体监测技术	(108)
6.3 小结	(129)
参考文献	(130)
第7章 黄淮海冬小麦干热风的立体监测技术	(131)
7.1 研究数据	(131)
7.2 地面高光谱监测	(132)
7.3 卫星遥感监测	(135)
7.4 立体监测方案	(155)
7.5 监测结果与验证	(156)
7.6 小结	(158)
参考文献	(159)
第8章 南方双季稻低温冷害的动态评估技术	(160)
8.1 动态评估方法	(160)
8.2 评估结果与验证	(167)
8.3 小结	(194)
参考文献	(195)
第9章 西南农业干旱的动态评估技术	(197)
9.1 动态评估方法	(197)
9.2 评估结果与验证	(203)
9.3 小结	(207)
参考文献	(207)
第10章 黄淮海冬小麦干热风的动态评估技术	(209)
10.1 动态评估方法	(209)
10.2 干热风对冬小麦的影响	(217)
10.3 评估结果与验证	(225)
10.4 小结	(227)
参考文献	(229)
第11章 业务平台建设及应用情况	(231)
11.1 河南冬小麦干热风监测评估系统	(231)
11.2 重庆农业干旱立体监测系统	(238)

第1章 绪论

农业气象灾害是一种自然灾害,一般是指农业生产过程中所发生的导致农业显著减产的不利天气或气候条件的总称,包括水灾、旱灾、干热风、低温冷害、高温热害、冰雹及连阴雨等,严重影响农作物产量和质量。我国地处季风气候区,冬夏季风每年的进退时间、强度和影响范围不同,造成各地气温、降水等气象环境条件的年际变化很大,气象灾害更是频繁发生。随着气候变化的日趋明显,农业气象灾害的频率增加、强度增强、危害加重,对国家粮食安全和农业可持续发展构成严重威胁。因此,在农业气象灾害发生后能迅速、准确地对受灾区内的农业气象灾害进行监测及评估,对防灾减灾具有十分重要的意义。本书是“十二五”国家科技支撑计划重点项目“农林气象灾害监测预警与防控关键技术研究”01课题“重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究”(编号:2011BAD32B01)5年多研究的初步成果。

1.1 研究目标

重大农业气象灾害的立体监测和动态评估,是防灾减灾工作迫切需要解决的重大科学和关键技术问题。“重大农业气象灾害立体监测与动态评估技术研究”课题是在科技部“九五”、“十五”和“十一五”的科技攻关项目成果的基础上,针对以往涉及但未深入研究或尚未研究的内容,研发西南农业干旱、南方双季稻低温、黄淮海小麦干热风等灾害的致灾气象指标和灾害等级指标体系,研发基于多源信息的灾害立体、动态评估的方法,解决相关的技术难题,并建立省区级灾害监测与评估业务平台,提供有效的服务。

通过研究开发,利用地面观测、遥感、自动化监测以及GIS等新技术,发展和改进灾害的监测和评估技术,建立更为先进的我国灾害立体监测及动态评估系统。在信息耦合上,将向集成地面气象、农业气象、田间小气候观测以及农情、灾情和地理信息系统等多元信息方向发展,在技术研发上将向模型化、动态化和精细化方向发展。

1.2 需求分析

我国是干旱灾害频发的国家。近年来,我国的干旱区域不断增大,有从干旱区向湿润区发展的趋势。我国西南地区本来是一个雨水充沛、气候湿润的地区,但近些年,该地区屡屡发生严重的干旱灾害,如2005年春季云南异常干旱,2006年夏季川渝地区特大干旱,以及2009年秋至2010年春以云南、贵州为中心的5个省份的旱灾,特别是2009—2012年的干旱事件具有持续时间长、影响范围广、灾害程度重的特点,是西南地区有气象记录以来最严重的气象干旱事件,给西南地区的农业带来严重不利的影响。

水稻原产于亚洲热带地区,在中国已有数千年的种植历史。水稻生长对热量要求较高,在中国主要分布在秦岭淮河一线以南的大部分低海拔地区,其中以长江流域和珠江流

域的稻米生产最为集中,从一季稻到三季稻都有种植。水稻低温灾害是南方水稻生产区的主要农业气象灾害之一,与东北水稻低温灾害特征不同,南方较少出现持续较长时间的低温过程,且低温灾害程度相对较轻。在早稻生长季,主要有“倒春寒”、“五月寒”和低温连阴雨,在晚稻生长季,主要是抽穗开花期的“寒露风”。水稻低温灾害动态监测与评估技术是气候变暖背景下我国南方水稻低温冷害防灾减灾迫切急需的关键技术。由于农业布局和种植结构的调整等因素影响,低温灾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危害的潜在威胁。特别是进入 21 世纪以来,虽然气候总体在变暖,但低温冷害的频率却比上世纪 80—90 年代有明显的增多趋势。我国南方水稻产区的春季低温出现增加趋势,严重威胁我国的粮食安全。可见,在气候变化影响下,低温灾害出现了新的特点,作物育种和布局规划中急需相关的研究成果支撑。

黄淮海地区是中国重要的商品粮生产基地,以冬小麦—夏玉米二熟制为主,在国家粮食安全保障战略中居重要地位。由于气候变暖,特别是 80 年代中期以后,黄淮海地区年平均气温发生了改变,这必将对干热风的发生频率、危害程度等产生一系列影响,因此在气候变暖背景下,监测和评估近年来黄淮海地区冬小麦干热风灾害及其造成的损失,对趋利避害和防灾减灾非常重要。干热风灾害是小麦生育后期出现的一种高温、低湿并伴有一定风力的农业气象灾害。它是一种复合型灾害,包括高温、低湿和大风三个因子。主要分为两种类型:一是高温低湿型,这是小麦种植区干热风发生的主要类型,二是雨后青枯型。干热风在我国危害面积较大,发生频率也较高,导致减产显著,轻者减产 5%~10%,重者减产 10%~20%,甚至可达 30%以上。黄淮海流域和新疆一带约有 2/3 小麦种植区可受到干热风的危害。因此,北方小麦产区的各级部门对避免或减轻干热风危害的工作历来十分重视。

农业气象灾害的监测与评估研究是《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》的要求。在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》“农业”重点领域的“农林生态安全与现代林业”优先主题中明确提出要重点研究开发“森林与草原火灾、农林病虫害特别是外来生物入侵等生态灾害及气象灾害的监测与防治技术”。《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020 年)》中明确提出,要“健全农业气象灾害监测预警服务体系,提高农业气象灾害预测和监测水平”,“增加农业气象灾害监测预警设施的投入”。2009 年 4 月 9 日国家出台了《全国新增 1000 亿斤粮食生产能力规划(2009—2020 年)》,明确提出我国农业靠天吃饭的总体局面仍然没有改变,农业干旱、洪涝、低温等气象灾害频发给农业生产造成的损失较为明显。科技部等九部委共同制定并组织实施的《农业及粮食科技发展规划(2009—2020 年)》中明确指出,要开展区域旱涝灾害防控技术集成示范,以及加强区域旱、涝、低温、冷害等灾害监测、预测预警和防控技术研究。

农业生产的系统开放性、生产过程的不可逆性、生产环境的不可控性,决定了农业生产对天气气候条件的高度依赖性。因此,开展农业气象灾害研究是一项长期而艰巨的工作,是我国农业高产稳产和粮食安全的基本保证。持续开展农业气象灾害的监测预警和防控技术研究,意义重大,十分紧迫。

1.3 主要研究内容和技术路线

本项目以南方双季稻低温、西南农业干旱、黄淮海小麦干热风等重大农业气象灾害为研究对象,开展以下研究:

(1)完善和研制上述重大农业气象灾害的致灾气象指标和灾害等级指标体系

通过盆栽、池栽、人工气候箱和大田等控制试验,研究灾害对作物生理特性和产量结构影响的内在机理,同时分析历史灾情等资料并考虑气候变化和品种更新等对灾害指标的影响,完善已有的灾害指标,并研制新建一系列业务服务所需的重大农业气象灾害的致灾气象指标和灾害等级指标,形成完备的灾害指标体系。

(2)揭示不同灾害发生发展的时空变化规律

利用长时间序列气象和灾情资料、发育期和产量资料以及土壤湿度等资料,根据建立的指标体系,分析灾害的发生规律和演变趋势。

(3)研制基于地面观测、卫星遥感和作物模式相结合的灾害立体监测技术

基于地面气象、农业气象、田间小气候观测和地理信息,以及区域自动气象站加密观测资料,以灾害发生的主要时期为重点,动态分析灾害发生与前期、当日气象条件,以及与地理、地形条件等的相关关系,研究不同天气、地理、地形条件下灾害发生的可能性与分布模型,结合实时田间气象条件分析,研制基于地面气象观测、农业气象观测、遥感信息和作物生长阶段相结合的灾害立体监测技术方法,在灾害指标和 GIS 技术支持下,建立灾害发生范围、强度的动态监测模型。

(4)研制基于地面观测、卫星遥感和作物模式相结合的灾害损失动态评估技术

在灾害指标体系的基础上,根据地面、农业气象和遥感观测资料以及作物长势状况,研究灾害损失的动态评估技术。主要是通过改进农作物机理模式,结合区域农作物品种特性和土壤特点,将作物模式参数区域化,并结合作物灾害指标体系和 GIS 技术,建立灾害动态评估模型,研制农作物机理模式用于灾害评估的技术方法。

(5)通过技术集成,研发省区级灾害监测与评估业务平台

基于实时气象业务平台,通过技术集成,研发灾害立体监测与动态评估业务服务系统,包括数据管理、监测与评估、产品制作和发布等子系统以及系统集成,开发灾害监测与评估的信息采集、加工处理、诊断分析、模型构建、产品制作、产品发布等功能;建立灾害监测与评估省级气象业务服务平台,并开展业务示范应用。

技术路线见图 1.1。

本书主要就南方双季稻低温灾害、西南农业干旱、黄淮海小麦干热风的时空分布规律、立体监测方法和动态评估方法进行介绍,最后简要介绍业务平台的情况。

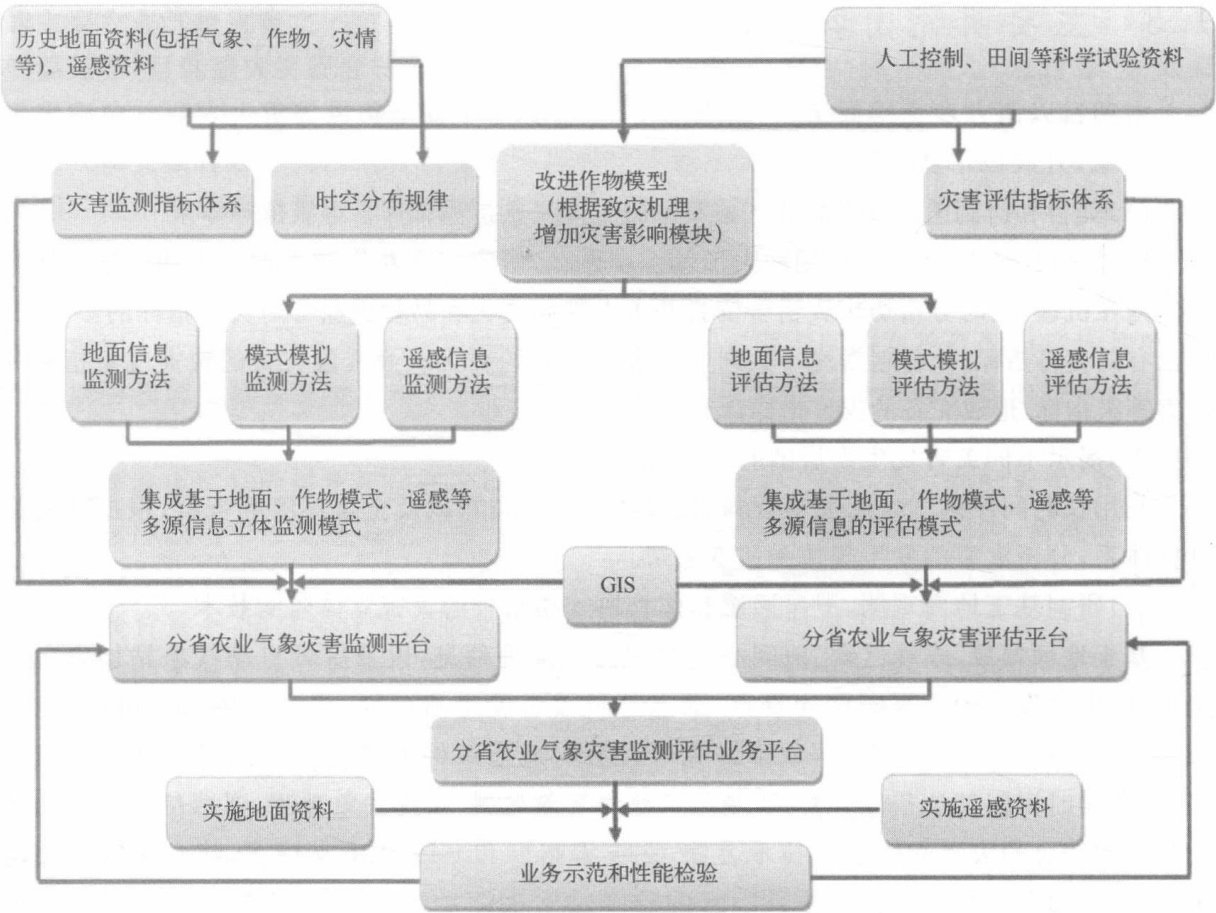


图 1.1 技术路线图

第2章 南方双季稻低温灾害的时空变化规律

水稻原产于亚洲热带地区,在中国已有数千年的种植历史。水稻生长对热量要求较高,在中国主要分布在秦岭淮河一线以南的大部分低海拔地区,其中以长江流域和珠江流域的稻米生产最为集中,从一季稻到三季稻都有种植。然而,随着水稻品种的不断发展和气候变暖,东北地区也已成为中国的水稻主产区之一,其单产水平已接近南方稻区。水稻生产过程中受到多种农业气象灾害的威胁,例如幼穗分化期的低温冷害或高温热害、抽穗开花期的低温寡照和寒露风等。这些农业气象灾害容易导致大面积水稻减产甚至颗粒无收,已成为水稻农业气象监测和农业防灾减灾工作的重要内容。为此,本章首先分析了整个南方双季稻区水稻低温冷害的时空分布特征,然后选择以长江中下游稻区双季稻为例,重点探讨该稻区双季稻生长季低温灾害的时空分布规律,为建立适用于该稻区的水稻低温灾害监测方法和灾害影响评估技术,为保障南方水稻生产,为新气候变化形势下水稻的保产增产提供技术依据和参考。

2.1 研究区概况

南方稻区地处中国东南部,总面积 $125 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占中国总面积的 13%(图 2.1)。人口为 4.8 亿人,占中国总人口的 35%《中国统计年鉴 2012》。该区域是我国主要的热带、亚热带季风气候区。夏季受来自太平洋、印度洋气流的影响,冬季受来自西伯利亚的冬季风的影响。由于该地区距离冬季风源地较远,再加上东西向山脉秦岭等的阻挡,冬季风对该地区的影响较弱,但有的季节冬季风势力强大,也会给该地区带来一些寒潮天气(张家诚和林之光, 1985)。同时该地受台风影响频繁,特别是福建、广东、广西和海南,从降水量看这几个省(区)也比研究区其他几个省份的要多。

中国南方稻区是世界最大的水稻生产区之一,包括华中、华南和西南高原三个区域。然而,南方稻区水稻种植主要分布在长江流域和珠江流域,为水稻生产提供了充足的水源。南方稻区海拔高度差异较大,从接近海平面的沿海地区到海拔超过 3000 m 的西部内陆,地形同时决定了水稻种植分布。目前,南方双季稻生产主要集中在湖北、安徽、浙江、湖南、江西、福建、广东、广西和海南等九省(区)(<http://www.zzys.moa.gov.cn/>),这九个省(区)双季稻播种面积和产量之和占全国双季稻总播种面积和产量的百分比均达到了 99% 以上。原有少量双季稻种植的四川、重庆、云南、贵州、江苏、上海现在已基本不再种植。因此,图 2.1 显示了种植水稻的九个省(区)的海拔高度及用于本文分析的气象站分布。

根据年鉴资料统计,江西省双季稻种植面积最大,全省双季稻面积为 $2.92 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全国双季稻面积 24.4%;其次为湖南省,全省双季稻面积为 $2.85 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全国双季稻面积 23.8%;广东省排在第三位,全省双季稻面积为 $1.94 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全国双季稻面积 16.2%。图 2.2 和图 2.3 则分别显示了研究区水稻种植省(区)早晚稻种植面积及产量情况。

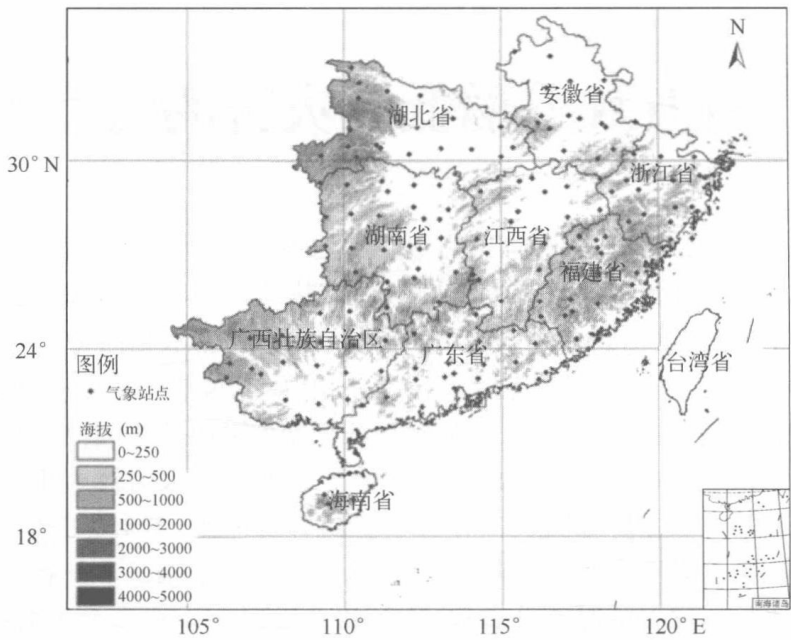


图 2.1 研究区选择及气象站点分布图

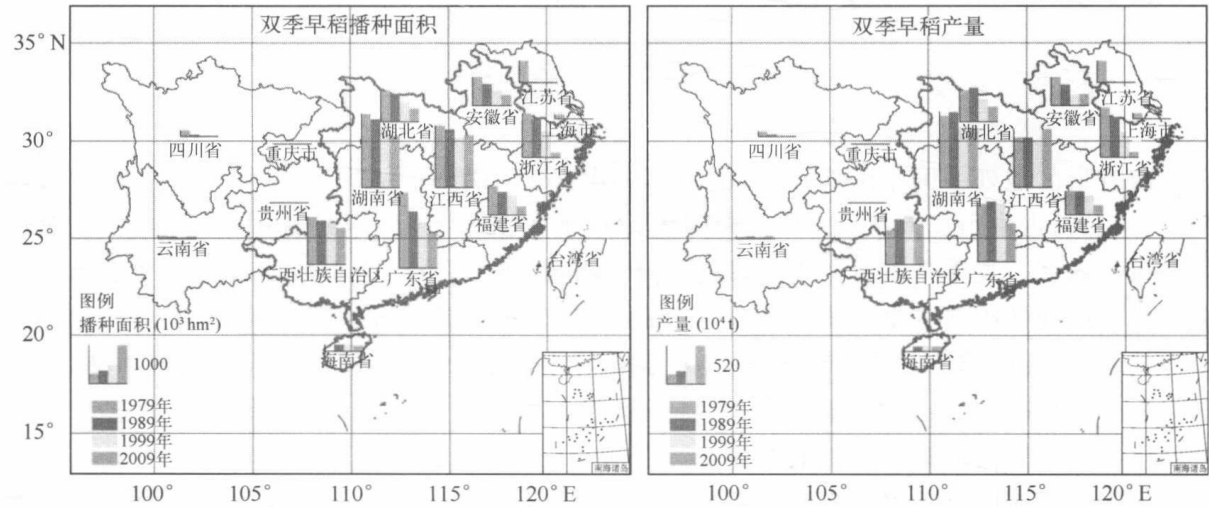


图 2.2 南方各省(区)双季早稻播种面积和产量的变化图

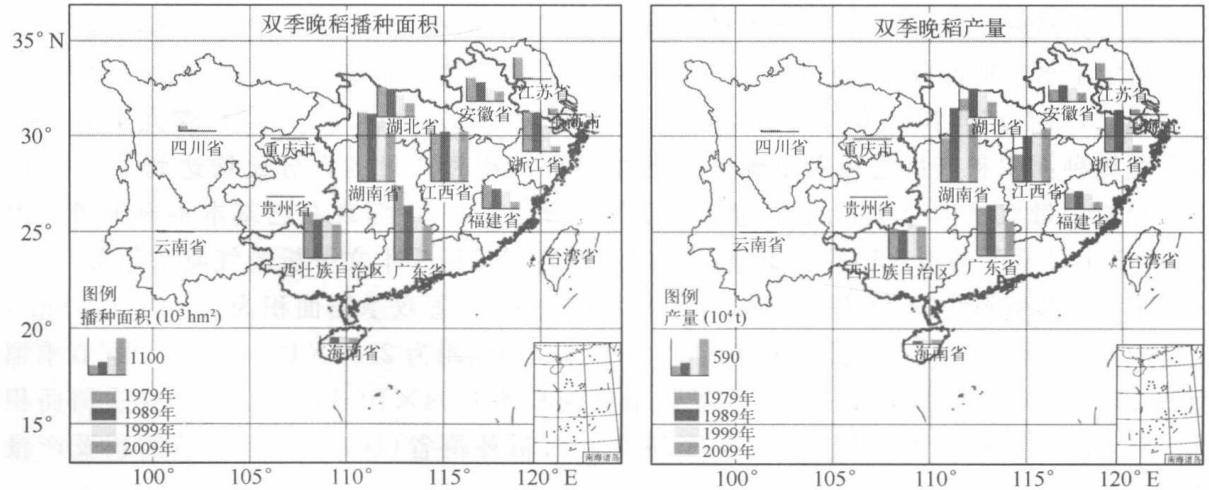


图 2.3 南方各省(区)双季晚稻播种面积和产量的变化图

值得关注的是,长江中下游稻区是南方稻区中种植面积最大,也是受到低温灾害影响最为严重的水稻生产区之一。该稻区地处北纬 25°~34°,东经 109°~122°,包括长江中下游平原双单季稻亚区、江南丘陵平原双季稻亚区和黔东湘西高原山地单双季稻亚区三个稻区(程式华和李建,2007),如图 2.4 所示。该区域属于亚热带季风气候区,年平均气温 19℃,最冷月平均气温 5.5℃,最热月平均气温 28℃,无霜期 210~270 d,≥10℃ 积温 4500~6500℃·d,年日照时数 700~1500 h,年降水量 1000~1400 mm,降水主要集中于春、夏两季。该地区近几年双季稻的播种面积约为 $6951.5 \times 10^3 \text{ hm}^2$,总产接近 $3871.3 \times 10^4 \text{ t}$,其中浙江的播种面积和总产分别为 $301.6 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $178.5 \times 10^4 \text{ t}$,安徽为 $563.2 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $282 \times 10^4 \text{ t}$,江西为 $2662.1 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $1404.1 \times 10^4 \text{ t}$,湖北为 $754.6 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $439.0 \times 10^4 \text{ t}$,湖南为 $2663.2 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 、 $1563.0 \times 10^4 \text{ t}$ 。然而,由于水稻种植制度的改变,江苏和上海近 20 年来主要种植单季稻,因此,在后续分析中未作考虑。

2.2 研究数据和方法

2.2.1 研究数据

从中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)获取了南方稻区气象观测站 1951—2011 年的逐日气象观测资料(见图 2.4)。资料包括平均气温、最低气温、最高温度、日照时数、相对湿度、风速和降水量。采用常规气候统计方法对气象数据进行缺测订正和整理(孙卫国,2008)。

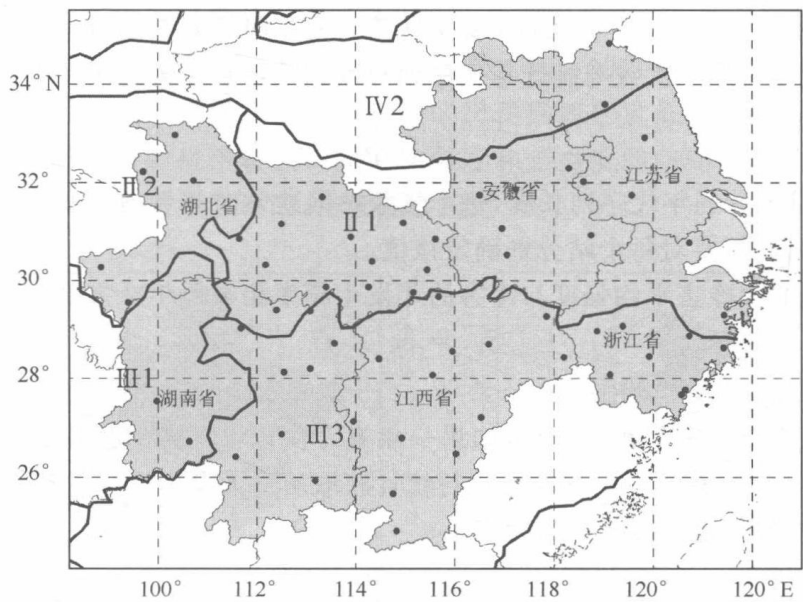


图 2.4 长江中下游水稻种植区划。Ⅱ1、Ⅱ2 和Ⅱ3 分别为长江中下游平原双单季稻亚区(Ⅱ1)、川陕盆地单季稻两熟亚区(Ⅱ2)和江南丘陵平原双季稻亚区(Ⅱ3);Ⅲ1 和Ⅳ2 分别为黔东湘西高原山地单双季稻亚区(Ⅲ1)和华北单季稻稻区(Ⅳ2)。“·”代表农业气象站。

2.2.2 研究方法

2.2.2.1 低温冷害指标定义

长江中下游稻区春、秋两季(3—5月和9—10月)是受北方冷空气频繁侵扰的活跃期。根据水稻生长对温度的要求,当幼苗期温度低于 12°C 或抽穗开花期温度低于 22°C 时就会对水稻生长发育和产量形成产生不利影响。为此,结合长江中下游双季稻区春秋两季低温冷害发生特点和早晚稻生产农事活动,将研究时段设为早稻播种—移栽期(3月下旬至4月底)、晚稻幼穗分化—抽穗开花后20天(8月下旬至9月底)。同时,参考《中国灾害性天气气候图集》中的低温冷害定义方法,将早稻研究阶段内连续3d或以上日平均气温 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ 记为1次低温冷害过程(陈斐等,2013),晚稻研究阶段内连续3d或以上日平均气温 $\leq 22^{\circ}\text{C}$ 记为1次低温冷害过程(中国气象局,2007)。根据低温冷害过程的持续日数,将冷害强度分为轻度、中度、重度三个等级,等级划分标准为:3~4d为轻度,5~6d为中度, ≥ 7 d为重度(帅细强等,2010)。另外,定义各站每年总冷害频次为该年三个等级冷害频次的总和。

另外,研究利用南方水稻冷害辨识指标(陆魁东等,2011),早稻5月低温定义为连续5天日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$,寒露风为水稻抽穗开花期连续3天日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$,对南方9省(区)190个气象站点1951—2011年历年的数据进行了统计,分别计算了各研究时段冷害发生的次数,每次冷害持续的天数,每次冷害中每日低于 20°C 的量值。将每个气象站点历史平均每次冷害持续日数和每次冷害的平均日降温幅度的历史平均值相乘作为次冷害平均强度。

$$\overline{S}_{t_j} = \frac{\sum_{i=1}^{t_j} d_{ji}}{t_j} \times \frac{\sum_{i=1}^{t_j} (\sum_{k=1}^{d_{ji}} (C_p - \overline{T}_{jik}) / d_{ji})}{t_j} \quad (2.1)$$

式中, t_j 是 j 站点冷害发生的次数。 d_{ji} 是 j 站点的第 i 次冷害发生持续的天数。 C_p 是冷害温度阈值,这里取值为20。 $\overline{T}_{jik}$ 是 j 站点的第 i 次冷害发生时第 k 天的日平均气温。

将站点历史冷害发生次数与统计年代序列长度相除得到冷害的年发生频次。

$$f_j = \frac{t_j}{Y_j} \quad (2.2)$$

式中, Y_j 是 j 站点统计的年代序列长度,每个气象站因建站时间和数据缺失的原因这个值都会有一些变化,因此需要对每个站分别确定该值。

将以上得到的次冷害平均强度与冷害的年发生频率相乘得年冷害平均强度。

$$\overline{S}_{Y_j} = \overline{S}_{t_j} \times f_j \quad (2.3)$$

式中, $\overline{S}_{Y_j}$ 是 j 站点年冷害平均强度。

按照冷害是否发生来判断冷害年,如果一年有1次以上的冷害发生那么该年即判断为冷害年,计数为1,通过对每一个气象站进行统计获取历史上发生冷害的年份,将该值与统计的年代序列长度相除,得到冷害年的频率。

$$P_j = \frac{n_j}{Y_j} \quad (2.4)$$

式中, P_j 是 j 站点冷害年的频率。 n_j 是 j 站点历史上发生冷害的年份。

2.2.2.2 线性趋势分析

统计两个研究时段内不同等级冷害出现的频次,采用线性趋势分析法,分析低温冷害频次的时间变化趋势,并进行显著性检验。趋势变化分析用一次线性方程表示(施能

等,1995):

$$\hat{x}_t = a_0 + a_1 t$$

(2.5)

式中, $\hat{x}_t$ 为气候变量的拟合值, a_0 为变量初始值, a_1 为变量的趋势变化率, t 为时间, $a_1 \cdot 10$ 称为气候倾向率,表示气候变量每 10 年的增加或减少的速率。 $\hat{x}_t$ 与 t 的相关系数即为趋势系数,表示气候变量的趋势倾向,正值表示 x 随时间 t 呈增加趋势,反之呈减少趋势。

2.2.2.3 小波分析

选用 Morlet 连续小波分析方法,分析研究区 50 a 早晚稻不同等级低温冷害频次的周期特性。通过将低温冷害频次时间序列分解到时间频率域内,得出各“周期”信号的振幅以及这些振幅随时间变换的信息,绘制小波系数图和小波方差谱图。小波系数图能反映时间序列在不同时间尺度上的周期变化及其在时间域上的分布,图中等值线中心为低温冷害多发或少发中心,中心值的大小可以反映出波动的振动强度;小波方差谱图反映了时间序列的波动能量随尺度的分布情况,可用来确定低温冷害波动的主周期(Torrence and Compo,1998; Zhi,2000;黄晓清等,2010)。对小波方差谱,可利用 $\alpha = 0.05$ 红噪声标准谱作为背景谱来进行显著性检验。当检验线低于小波方差曲线时,说明该区段对应的周期特征通过了 0.05 显著性水平检验。

2.3 双季早稻低温冷害时空分布特征

2.3.1 双季早稻低温冷害时空变化特征

图 2.5—图 2.8 分别显示了南方 9 省(区)双季早稻低温冷害频次、单次强度、冷害年发生概率和低温冷害年强度的时空分布图。从上述图中可以看出,长江中下游稻区多省早稻 5 月期间平均每年出现至少 1 次连续 5 天日平均气温 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 的低温天气,对早稻幼穗发育和抽穗开花不利。其中湖南中西部和湖北西部地区出现局地严重低温的概率较大,表明该地区“五月寒”危害水稻生产的概率较大。从单次强度和年强度的空间分布看,主要集中在安徽东南部和浙北及两湖的高海拔地区,强度能够超过 $200^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。

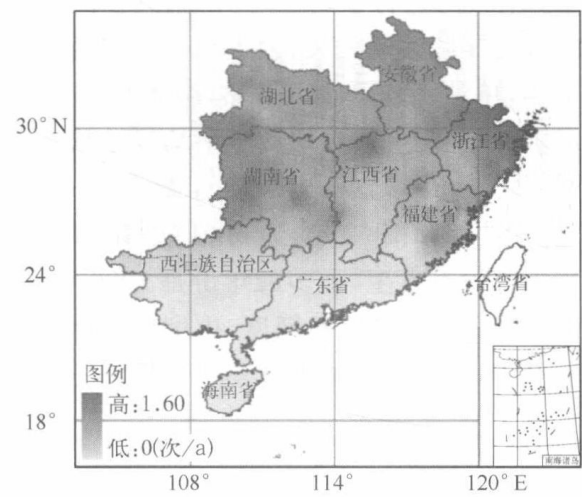


图 2.5 南方 9 省(区)双季早稻低温冷害频次分布

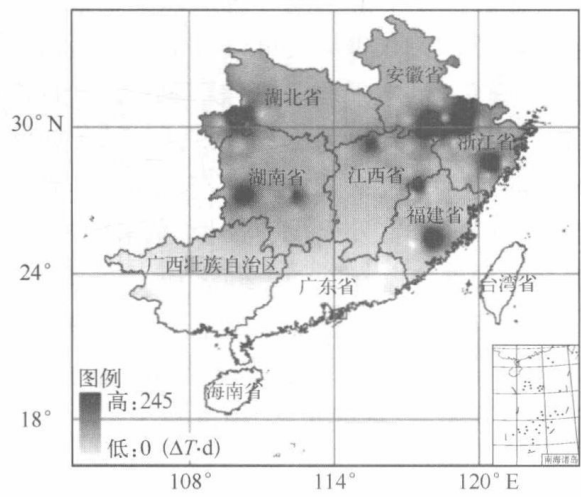


图 2.6 南方 9 省(区)双季早稻低温冷害单次强度