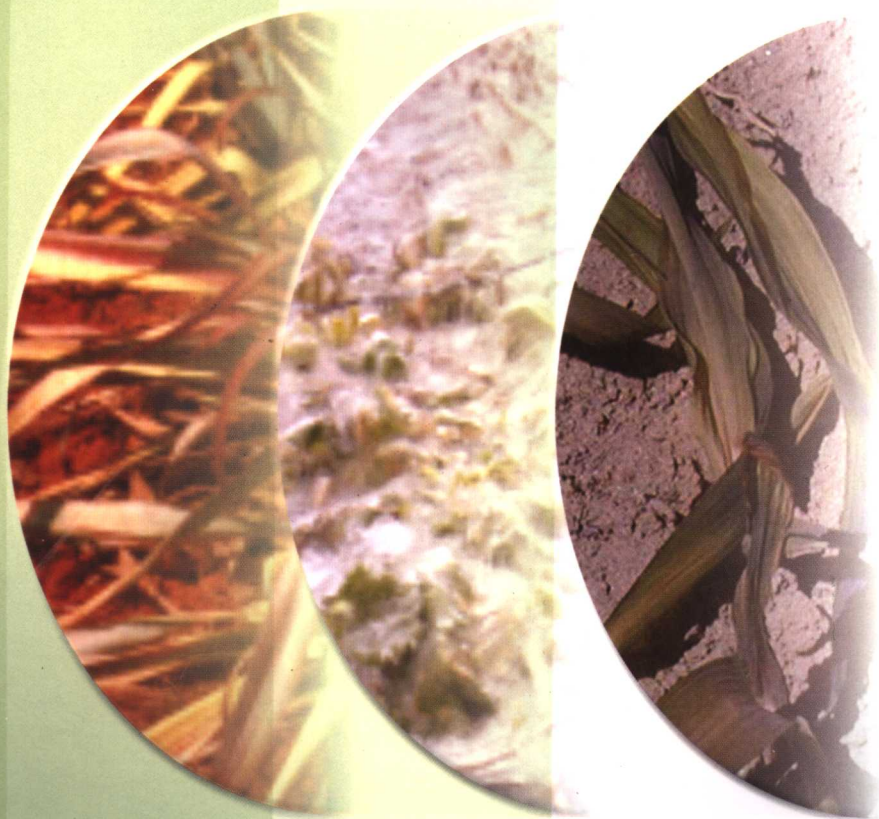


重大农业气象 灾害研究进展

王春乙 主编



气象出版社

重大农业气象灾害研究进展

主 编	王春乙		
副主编	李玉中	舒立福	
编 委	刘建栋	郭建平	霍治国
	张佳华	李茂松	孙忠富
	吕厚荃	庄立伟	刘 玲
	张雪芬	黄锡成	

气象出版社

内 容 简 介

本书为国家科学技术部“十一五”科技支撑计划重点项目“农业重大气象灾害监测预警与调控技术研究”的重要阶段性研究成果。主要介绍了我国北方农业干旱、北方低温冷害、华南寒害、长江中下游高温热害监测预警技术,森林火灾监测预警与防控技术,北方农业干旱、南方季节性干旱、低温冷害与霜冻调控技术,重大农业气象灾害对农业的影响评估技术及农业重大气象灾害综合服务技术的研究现状与发展趋势,可为从事相关领域的科研业务人员提供参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

重大农业气象灾害研究进展/王春乙主编. —北京:气象出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-5029-4358-5

I. 重… II. 王… III. 农业气象—气象灾害—防御—研究—中国 IV. S42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 134929 号

气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-68409198

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcbs@263.net

责任编辑:陈红 张争 终审:陆同文

封面设计:王伟 版式设计:陈红 责任校对:赵寒

*

北京中新伟业印刷有限公司印刷

气象出版社发行

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:506 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

定价:60.00 元

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

序

我国是世界上气象灾害最为严重的国家之一，灾害种类多、分布地域广、发生频率高、造成的损失重。据统计，我国每年受各类气象灾害和森林草原火灾等气象次生和衍生灾害影响的人口达 3.8 亿人次，造成的经济损失平均达 1800 多亿元，约相当于国内生产总值的 2.7%。特别是在农业领域，我国每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积达 4800 多万公顷，其中干旱、冷害、寒害、霜冻、高温热害及森林火灾是我国当前重大的农业气象灾害，影响尤为严重。如农业干旱每年受灾面积高达 2000 多万公顷，粮食损失约 120 亿公斤；低温灾害严重的年份可使粮食产量损失达 100 亿公斤以上，对农业可持续发展 and 粮食安全构成严重威胁。

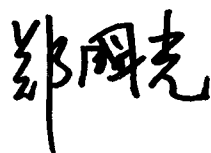
近年来，在全球气候变暖为主要特征气候变化背景下，极端天气气候事件增加，农业气象灾害发生频率和强度呈现明显上升的态势。随着我国农业的快速发展，我国农业生产和食物安全面临着越来越严峻的形势，而且这种威胁将持续不断加剧，现有的农业气象灾害监测预警与调控技术，在适用地域、对象和针对性等方面难以满足实际生产需求。因此，建立完善的农业气象灾害综合监测体系，开展农业气象灾害监测预警与综合调控技术研究，提高减灾防灾能力，不仅是建设社会主义新农村、保障国家粮食安全的现实需求，也是积极应对气候变化、构建社会主义和谐社会的客观要求，关系到经济社会可持续发展，关系到国计民生和国家的长治久安。

党中央、国务院非常重视气象灾害的监测、防御工作。2006 年《国务院关于加快气象事业发展的若干意见》下发后，今年又发布《国务院办公厅关于进一步加强气象灾害防御工作的意见》，进一步推进气象灾害的防御工作。国家科学技术部也一直积极支持气象灾害研究，尤其是农业气象灾害方面的研究工作，在“十一五”科技支撑计划中，设置了“农业重大气象灾害监测预警与调控技术研究”重点项目，由中国气象局牵头组织农业部和国家林业局等部门的有关科技人员开展联合研究与开发，拟在 3~5 年内着力解决重大农业气象灾害监测预警与调控方面的关键技术问题。

虽然农业气象灾害监测预警和调控技术研究取得了一定的进展，但现有技术在适用地域、对象和针对性等方面仍难以满足实际农业生产的需求。因此，“农业重大气象灾害监测预警与调控技术研究”项目组组织专家编写了《重大农业气象灾害研究进展》一书，系统地

介绍了有关重大农业气象灾害监测预警调控评估与服务等方面的研究现状与发展趋势。我相信,该书的出版,将促进社会及人们提高对农业气象灾害的认识,并为进一步研究我国农业气象灾害发生、成因和影响等提供借鉴和参考。

中国气象局局长



二〇〇七年九月三日

前 言

我国是世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一,气象灾害种类多,强度大,频率高,严重威胁人民生命财产安全,给国家和社会造成巨大损失。据统计,我国每年因各种气象灾害造成的农作物受灾面积达5000万公顷、影响人口达4亿人次、经济损失达2000多亿元。其中干旱、冷害、寒害、霜冻、高温热害及森林火灾是我国当前重大的农业气象灾害,对国家农业可持续发展和粮食安全构成严重威胁。因此,大力加强农业防灾减灾能力建设,建立农业气象灾害监测预警和调控服务体系,最大限度地减轻农业气象灾害造成的损失,不仅是我国农业生产面临的长期而艰巨的任务,而且对保障新农村建设目标的实现、促进经济社会发展和社会进步具有十分深远而现实的意义。

随着我国农业的快速发展和气候变化引起的气象灾害的加剧,迫切需要加强农业重大气象灾害监测预警与调控体系建设。我国农业已初步形成区域化、规模化、专业化生产的格局,高产、高效、高附加值的新的种养类型不断出现,农业生产的对象和区域布局发生了重大变化。加之气候变化背景下的极端天气气候事件增加,农业气象灾害发生规律出现了新的变化,呈现出频率高、强度大、危害日益严重的态势。现有的农业气象灾害监测预警与调控技术,在适用地域、对象和针对性等方面难以满足实际生产的需求。因此,尽快研究与农业生产发展相适应的农业重大气象灾害监测预警与调控技术体系已成为当务之急。

目前,有关农业气象灾害监测预警和调控技术研究取得了一定的进展,但相关研究成果多是基于地面气象观测信息和田间试验,尚未形成基于天基、空基、地基的综合监测预警技术体系,监测预警的准确率和时效性与实际生产的需求尚有较大差距,缺乏对近50年重大农业气象灾害的演变及其对农业影响的系统研究,尚未形成农业重大气象灾害的综合业务服务能力。正是在这一背景下,国家科学技术部在“十一五”科技支撑计划中,设置了“农业重大气象灾害监测预警与调控技术研究”重点项目,由中国气象局牵头组织农业部和国家林业局等部门的有关科技人员开展联合研究与开发,力争在3~5年内着力解决重大农业气象灾害监测预警与调控方面的关键技术问题,项目共设10个课题,分别是北方农业干旱监测预警技术研究、北方农业低温冷害监测预警技术研究、南方寒害监测预警技术研究、长江中下游高温热害监测预警技术研究、森林火灾监测预警与防控技术研究、北方农业干旱调控技术研究、南方季节性干旱防控技术研究、低温冷害与霜冻调控技术研究、重大农业气象灾害对农业的影响研究、农业重大气象灾害综合服务技术集成系统研究等。

为了更好地开展研究,解决其关键性技术问题,取得创新性成果,项目组专家在较短的

时间内编写了《重大农业气象灾害研究进展》一书,该书详细论述了2006年以前国内外有关重大农业气象灾害监测预警调控评估与服务等方面的研究现状与发展趋势,为项目下阶段的研究工作打下很好的基础,同时可为从事相关领域的科研业务人员提供参考和借鉴。

全书由王春乙研究员主持编写,其中第一章由刘建栋、陈怀亮、王石立、王兰宁、毕建杰等执笔;第二章由郭建平、李新建、陈玥熠等执笔;第三章由霍治国、陈新光、谭宗琨、徐宗焕、柏秦风、陈惠等执笔;第四章由张佳华、姚凤梅、李欣、程高峰等执笔;第五章由舒立福、王明玉、田晓瑞、赵凤君等执笔;第六章由李玉中、程延年、安顺清、李巧珍、李天华等执笔;第七章由李茂松、汪扩军、武永峰、刘永红、肖小平等执笔;第八章由孙忠富、钟秀丽、王迎春等执笔;第九章由王春乙、吕厚荃、赵艳霞、张雪芬、娄秀荣等执笔;第十章由庄立伟执笔。

由于本书编写时间较紧,加之不同种类的农业气象灾害监测、预警、调控等各个环节的相关研究成果多少不一,书稿中的文字和有关数据、图表、文献难免存在一定的疏漏之处,也可能存在一定的错误,请有关专家予以批评指正,以便进一步完善。

王春乙

二〇〇七年七月二十六日

目 录

序

前言

第 1 章 农业干旱监测预警技术	(1)
1.1 农业干旱灾害现状	(1)
1.2 农业干旱指标研究	(4)
1.3 农业干旱灾害监测研究	(11)
1.4 农业干旱预警研究	(17)
1.5 农业干旱监测预警技术展望	(25)
参考文献	(26)
第 2 章 低温冷害监测预警技术	(30)
2.1 农业低温冷害的概念与分布特点	(30)
2.2 农业低温冷害的指标研究	(31)
2.3 农业低温冷害的监测技术	(34)
2.4 农业低温冷害的预警技术	(40)
2.5 现存问题与未来展望	(54)
参考文献	(55)
第 3 章 寒害监测预警技术	(57)
3.1 华南冬季气候资源与农业生产	(57)
3.2 寒害发生概况及其对农业的影响	(59)
3.3 寒害指标的研究	(69)
3.4 寒害时空分布特征的研究	(73)
3.5 寒害监测预警的研究	(79)
3.6 寒害风险分析的研究	(81)
3.7 冬季农业气候与灾害分区	(82)
3.8 寒害减灾对策的研究	(84)
3.9 存在问题与展望	(85)
参考文献	(86)

第4章 高温热害监测预警技术	(89)
4.1 长江中下游地区高温热害监测预警的意义	(89)
4.2 长江中下游高温热害对水稻影响的研究进展	(96)
4.3 长江中下游地区高温热害的天气背景	(103)
4.4 水稻生长季相对极端高温事件的确定	(104)
4.5 遥感反演地表温度的研究进展	(106)
4.6 未来气候变化对水稻高温热害的预测进展	(114)
参考文献.....	(117)
第5章 森林火灾监测预警与防控技术	(125)
5.1 森林防火研究进展	(125)
5.2 林火预测预报	(128)
5.3 林火监测	(132)
5.4 森林可燃物调控研究	(136)
5.5 森林火灾扑救	(144)
5.6 森林火灾扑救中扑火队员的安全防范	(148)
5.7 国内外森林防火使用的机具设备	(150)
5.8 国内外森林防火研究存在问题和展望	(154)
参考文献.....	(157)
第6章 北方农业干旱调控技术	(159)
6.1 国外农业干旱调控技术研究现状	(159)
6.2 我国北方农业调控技术研究进展	(163)
6.3 我国北方重点地区干旱调控技术	(170)
6.4 北方农业干旱调控技术展望	(182)
参考文献.....	(186)
第7章 南方季节性干旱防控技术	(189)
7.1 季节性干旱评价指标	(189)
7.2 国外抗旱节水技术	(191)
7.3 中国季节性干旱研究发展现状	(194)
7.4 典型区域研究案例	(199)
7.5 季节性干旱研究趋势与展望	(222)
参考文献.....	(225)

第 8 章 低温冷害和霜冻调控技术	(227)
8.1 低温灾害概论	(227)
8.2 植物抗寒性的机理研究进展	(233)
8.3 基于作物抗寒性机理的调控技术研究进展	(239)
8.4 低温灾害防御对策与主要技术	(249)
参考文献.....	(256)
第 9 章 重大农业气象灾害对农业的影响评估技术	(262)
9.1 农业气象灾害发生规律反演及其对气候变化的响应研究	(262)
9.2 作物模型在农业气象灾害评估中的应用	(265)
9.3 农业气象灾害风险评估研究	(269)
9.4 农业气象灾害综合评估方法研究	(276)
9.5 农业气象灾害评估技术研究展望	(280)
参考文献.....	(282)
第 10 章 重大农业气象灾害综合服务技术	(289)
10.1 遥感技术在农业气象灾害监测中的应用.....	(289)
10.2 地理信息技术在农业气象灾害监测中的应用.....	(291)
10.3 我国农业气象灾害监测预警系统研究近况.....	(292)
10.4 农业气象灾害预测预警系统.....	(295)
参考文献.....	(305)

第1章 农业干旱监测预警技术

1.1 农业干旱灾害现状

干旱是指长时期降水偏少,造成空气干燥,土壤缺水,使农作物体内水分发生亏缺,影响正常生长发育而减产的一种农业气象灾害(张养才等,1994)。根据干旱发生的原因,通常分为土壤干旱、大气干旱和生理干旱(张养才等,1994)。(1)土壤干旱:由于土壤含水量少,土壤颗粒对水分的吸力大,植物的根系难以从土壤中吸收到足够的水分去补偿蒸腾的消耗,植株体内的水分收支失去平衡,从而影响生理活动的正常进行,以致发生种种危害。(2)大气干旱:由于大气的蒸发力很强(太阳辐射强,温度高,湿度小,伴有一定的风力)使植物蒸腾消耗的水分很多,即便土壤并不干旱,但根系吸收的水分不足以补偿蒸腾的支出,致使植物体内的水分状况恶化而造成危害。(3)生理干旱:由于土壤环境条件不良,使根系的生理活动遇到障碍,导致植物体内水分失去平衡而发生的危害。例如,早春由于暖平流而使气温迅速回升时,根层的土壤温度比较低,根系的吸水作用很弱而地上部蒸腾较强,植物体会因为水分亏缺而受害。土温过高,土壤通气不良,土壤溶液浓度过高以及土壤中某些有毒化学物质含量过大等,都会降低根系吸水能力,发生缺水而受害。这三种干旱既有区别又有联系。大气干旱会加剧土壤蒸发和植物蒸腾,使土壤水分减少。所以长时间的大气干旱会导致土壤干旱。另一方面,土壤干旱也会加重近地层的空气干旱。这两种干旱同时发生时危害最大。至于生理干旱的危害程度,也与大气干旱和土壤干旱有关。在同样不利的条件下,如果土壤干旱,则生理干旱会加重;反之,若土壤水分比较充足,则土壤温度不易升得很高,土壤溶液浓度及有毒物质的相对含量不会很高,生理干旱就会减轻。在同样不利的土壤环境和土壤湿度下,如果发生大气干旱的话,蒸腾加剧,生理干旱会加重;反之,大气不干旱则生理干旱也较轻。因为植物主要是通过根系从土壤中吸收水分的,所以长期以来人们更加注意的是土壤干旱(张养才等,1994)。

农业干旱是我国最为严重的农业气象灾害,1950—1998年平均每年受害面积超过2000万 hm^2 ,成灾面积850.2万 hm^2 ,每年粮食损失约1197万t,占同期全国粮食总产量4.2%,个别严重年份因干旱损失粮食约占当年粮食产量的10%。因干旱造成的平均单位面积粮食损失20世纪50年代为34.65 kg/hm^2 ,90年代为183.22 kg/hm^2 ,80年代前平均单位面积损失粮食为60 kg/hm^2 ,80年代后为176.96 kg/hm^2 ,增加了近2倍。进入90年代后,旱灾面积总体呈现增加趋势,1999年全国作物干旱受灾面积4.52亿亩*,其中成灾2.49亿亩,绝收5888万亩。可见随着农业生产的发展、单位面积产量的提高,干旱影响明显增大。干旱不仅对农业产量造成损失,而且伴随沙漠化发生,使农业生态环境恶化,从而

* 1亩=0.0667 hm^2 ,下同。

影响农业的可持续发展(徐祥德等, 2002)。

李代鑫等对我国农业干旱的分布及对农业的影响进行了详细的研究。黄淮海地区旱灾次数和旱灾面积居国内之首; 东北地区受灾和成灾面积分别占全国 12.4% 和 12.3%; 西北地区受旱和成灾面积分别占全国 10% 和 12% (张养才等, 1994)。从受灾率(受旱面积与农作物播种面积之比)和成灾率(受灾面积与农作物播种面积之比)来看, 全国平均受旱率为 15%, 成灾率为 7%。黄淮海地区受旱率为 21%, 西北地区为 18%, 东北地区为 17%。可见黄淮海地区、西北地区 and 东北地区是受旱机遇多、旱情严重的地区(张养才等, 1994)。

我国华北地区由于受季风气候的影响, 降水量季节分布不均, 农业干旱有季节性、非季节性和变异性, 其受旱和成灾面积分别占全国受旱和成灾面积的 47% 和 51%, 农业干旱成为该地区国民经济发展的主要限制因子。近两年来华北地区连续发生的严重干旱, 不仅对农业生产带来不利影响, 并且导致北京及周边地区连续发生大规模沙尘暴天气, 而且在部分地区甚至出现人畜饮水困难的现象。1999 年河南信阳地区因旱居然出现了改革开放以来从未有过的群众投亲靠友、牲畜被迫转移现象, 1999 年和 2000 年春夏季连续严重干旱还导致了建国以来难以想见的大面积蝗灾。目前, 农业干旱已不仅仅对华北粮食高产构成严重威胁, 而且涉及首都及周边城市环境严重恶化等一系列敏感问题。

我国西北半干旱地区水资源短缺, 降水量明显不足, 地表蒸发散失的水分较多, 干旱威胁尤为严重, 西北地区干旱及半干旱区的面积占全区总面积的 87%, 明显高于全球及全国的比例。西北干旱及半干旱区的降水气候有下列特征: (1) 区内雨量相差悬殊; (2) 雨量分布受地形影响大; (3) 降水高度集中; (4) 降水变率大(钱正安等, 2001)。

受东南季风强弱进退的影响, 东北地区虽然降水资源比较丰富, 但地区分布及季节分配差异很大。东北年平均降水量约 400~900 mm, 年降水蒸散差约 0~-700 mm。降水量由东南向西北逐渐减少, 降水蒸散差的变化与此相反。夏半年 4—9 月是东北地区植被的主要生长季, 降水量约 360~800 mm, 约占年降水量的 82%~92%, 4—9 月降水蒸散差约为 100~-460 mm。4—6 月是一年中降水量相对少的季节, 却是农业需水较多的时期, 降水量约 100~250 mm, 只占 4—9 月降水量的 22%~33%, 是东北地区干旱最严重的季节, 4—6 月降水蒸散差约为 -50~-350 mm。总之, 东北地区水资源比较丰富, 雨热同季, 又有全国最大的平原, 土壤肥沃, 是我国重要商品粮基地。但在东北的西部地区, 干旱经常发生, 特别是春季, 十年九旱。

东北地区的干旱以春旱最为突出, 有时干旱从春播作物开始播种的 4 月持续到 5 月或 6 月。夏季干旱一般出现在 7—8 月, 个别年春旱接着夏旱, 则影响更为严重。据资料统计, 1951—2000 年的 50 年中, 东北大部分地区干旱出现次数达 15~25 次, 西部地区为 15~23 次, 加上水土流失较严重和灌溉条件差, 旱情严重。该区春季出现干旱的概率为 66%, 夏季为 50% (张强等, 2004)。50 年中受旱面积比较大的有 13 个年份, 分别是: 1979 年, 1980 年, 1982 年, 1984 年, 1987 年, 1988 年, 1989 年, 1992 年, 1994 年, 1996 年, 1997 年, 1999 年和 2000 年。其中, 2000 年 5—7 月期间, 辽宁、吉林大部及黑龙江中、西部和三江平原东部的降水量为 100~200 mm, 比常年同期相比偏少 3 成以上, 达干旱标准, 其中辽宁西部、吉林西北部及黑龙江西南部偏少 5~7 成, 达大旱标准, 这是一场辽宁省历史上罕见的干旱, 全省农作物受灾面积 278.6 万 hm^2 , 占耕地面积的 76%, 其中绝收 119.4 万 hm^2 , 减产 50 多亿 kg。吉林省受灾面积 345.1 万 hm^2 , 其中绝收 100.9 万 hm^2 。黑龙江省

春夏连旱是建国以来最为严重的旱灾,受灾面积235.8万 hm^2 。这场干旱还导致辽宁西部造林成活率不到30%,吉林西部重旱区成活率只有30%~40%(李世奎等,1998)。在气候变暖及其影响研究中,东北地区因其纬度偏高、增暖明显、农业可能受益大而备受关注。相关研究已有很多。比较一致的认识是,20世纪80年代以来东北地区春季提前(表现为 $\geq 7^\circ\text{C}$ 和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 初日提前)、生长季延长、生长季内总积温增加、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温带北移,玉米和水稻晚熟品种的种植范围北移和东扩(陈隆勋等,1998;屠其璞等,2000;马树庆等,2000;毛飞等,2000;刘玉瑛等,1999)。然而,平均气温升高的同时存在着气候不稳定因素和极端气候事件增加的倾向,温度升高的同时大气干湿程度及水热匹配状况也可能相应发生变化。这一问题近年在东北地区变得愈加明显(王石立等,2003)。

近50年来,整个东北地区在向干旱方向发展,20世纪90年代中期以来这种干旱化趋势尤为明显,其中东北西部半干旱地区,干旱化相对更严重。因此,90年代是东北地区1951—2000年期间旱情最严重的10年。根据近40年的气象资料分析,东北半湿润易旱区90年代4—9月降水量以负距平为主,个别地区为正距平。4—6月降水量也以负距平为主,黑龙江中部、吉林东部和辽宁西部的部分地区为正距平。80年代,4—9月和4—6月降水量均以正距平为主,同期的降水蒸散差也以正距平为主,表明近20年来,东北地区干旱有加重的趋势。

20世纪90年代以来北大部分地区极端高温出现频繁,据文献(王石立等,2003)统计,多数气象台站90年代日最高气温大于 30°C 、 32°C 、 35°C 的高温日数比80年代多35%~88%。 35°C 以上高温日数的增多尤为明显,很多地区比80年代多达1~3倍。伴随着高温日数的增多,生长季水热配合程度响应有所变化。据统计,尽管近20年中,大气水分盈亏状况和水热状况在10年时间尺度上没有明显的变化,但各地4—10月各旬温度降水比值数据反映出,由于90年代积温升高明显而降水偏少或增加很少,高温少雨开始变得明显。90年代后5年各量级出现的频次均明显多于前5年,数量级越大,越多出现在后5年。中、南部地区如长春、沈阳、朝阳、大连等地非常明显。后5年多数地区二者比值的年内高峰从春季转移到夏季,西部、南部尤为明显。这意味着春末至夏季高温少雨变得明显,开始出现一定程度的暖干化趋势,对农作物不利。这一状况从1999年起,2000年,2001年和2004年达到极致。2000年5—7月东北辽宁、吉林大部、黑龙江中西部降水量100~200 mm,比常年同期偏少3成以上,其中辽宁西部、吉林西北部和黑龙江西南部偏少5~7成,达大旱标准。辽宁全省农作物受灾面积278.6万 hm^2 ,占耕地的6%,其中绝收119.4万 hm^2 。吉林中西部粮食产区的严重干旱使作物营养生长和生殖生长严重受阻,全省受旱面积345.1万 hm^2 ,其中绝收100.9万 hm^2 。黑龙江春夏连旱的重灾区主要发生在松嫩平原西南部和三江平原西部,全省受旱面积约532.8万 hm^2 (中国气象局气候中心,2000)。

2001年春季干旱,影响东北春玉米播种出苗,造成播种推迟,缺苗断垄。从5月下旬至7月中旬东北各地持续少雨高温,再度出现严重干旱。其中6月上旬至7月中旬中西部无雨日30~40天,旬平均气温偏高 $2\sim 5^\circ\text{C}$,日最高气温大于 30°C 日数达35~40天。由于高温干旱范围大,持续时间长,春小麦、玉米、大豆植株枯萎,抽穗、抽雄、结荚受到严重影响,9月后的高温少雨进一步使作物逼熟早衰,最终导致大幅度减产。东北全区粮食单产减少达25%之多(娄秀荣等,2001)。

2004年东北西部和内蒙古东部发生了百年一遇的春夏连旱。从2004年1月1日至6月中旬前期,吉林西部、黑龙江西南部和辽宁西北部降水持续偏少,总降水量较常年同期减少

5成以上,部分偏少8成以上,如此长时间降水量偏少属百年一遇极端气候事件。与此同时,这些地区气温异常偏高,平均气温普遍偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 以上,一些地区偏高 5°C 以上。高温酷热天气使旱情进一步加剧。根据中国气象局国家气候中心综合干旱监测指标统计,吉林有81%的地区干旱,其中38%为重旱或特旱;辽宁有85%的地区干旱,其中58%的地区达到重旱或特旱。这一年东北地区的重旱范围甚至超过北方大旱的1965年同期6月中旬至7月上旬,东北地区出现大范围降雨过程,干旱范围明显缩小。但7月中旬至8月中旬,一些地区干旱再度发展。直至8月下旬,旱情才逐步缓解。严重的春夏连旱,对农业生产造成巨大损失。至6月上旬的统计,吉林、辽宁、黑龙江和内蒙东部共有 50万 hm^2 耕地受旱。其中吉林的白城、长岭等地4月下旬至8月中旬 20 cm 土壤相对湿度大多小于60%,有 $1/3$ 以上的时间甚至不足40%(中国气象局气候中心,2004)。

2005年全国总体上属干旱偏轻年景。但是东北地区依然存在部分地区的阶段性干旱。例如黑龙江省大兴安岭、黑河及东部地区出现夏旱,7月中旬至8月上旬高温日数达 $13\sim 19$ 天,极端最高温度高达 $33.3\sim 36.5^{\circ}\text{C}$,比常年同期偏少 $3\sim 9$ 成,干土层达到 8 cm 以上。由于干旱正值春玉米灌浆成熟阶段,干旱对产量形成有一定影响,部分玉米被旱死。据统计,受灾人口4.88万人,农作物受灾面积 5.7万 hm^2 ,绝收面积 2701 hm^2 ,农业经济损失2320万元(中国气象局气候中心,2005)。

目前我国已经具备了一定的农业干旱综合应变防御技术,在得到准确干旱监测和预报信息后,在一定程度上农业干旱是可以得到减轻和控制的。

1.2 农业干旱指标研究

干旱指标即表征某一地区干旱程度的标准,是旱情描述的数值表达,起着度量、对比和综合分析旱情的作用,是加强干旱监测、预测、预警和进一步开展旱灾研究的基础。对于不同类型的干旱,干旱指标应该具有明确的物理意义,其所涉及的资料容易获得,参数计算简便,同时,指标应能反映干旱的成因、程度、开始、结束和持续时间等。由于一个地区实际出现的干旱情况比较复杂,与前期降水情况、土壤底墒、灌溉条件、作物品种耐旱能力等因素有关,很难用一个通用的指标来表示。根据判断角度的不同,使用不同的标准和计算方法,分别用降水指标、土壤水分和作物指标、地表水分和热量平衡指标、地表径流和地下水指标等来判断干旱的程度(商颜蕊等,2004)。

农业干旱指标是确定农业干旱发生发展的最基本的研究内容,国内外众多科学家对农业干旱指标进行了大量研究,取得了一系列研究成果。

1.2.1 国外农业干旱指标研究

干旱是一种世界性灾害,农业干旱受到了各国科学家的广泛重视。干旱是美国主要的自然灾害,Riebsame等(1991)估计1987—1989年间美国发生的干旱事件导致200亿美元的农作物及森林产出损失,以及因此而引起的食物成本增加了100亿美元,这些还不包括这一干旱时期其他方面的经济损失(王涓力等,2006)。最近阶段频繁出现的一系列干旱事件,如1995—1996年发生在西南以及大平原南部的干旱,1998年的南部干旱,1999年的东北部干旱,2000年南部、中西部及大平原的干旱,1998—2002年的东南部干旱,2002年的东部

干旱,引起美国公众对提高干旱监测、预测水平的极大关注(王涓力等,2006)。提出了各种农业干旱指标(商颜蕊等,2004):

(1) 降水指标 美国气象部门采用降水百分比指数(实际降水/正常降水 $\times 100\%$)作为干旱指标之一,美国学者 McKee 等认识到降水不足对地下水、水库蓄水、土壤水、积雪厚度和径流等方面影响的差异,开发了反映干旱对不同类型的水资源可利用量影响的 SPI (Standardized Precipitation Index) 指数。SPI 指数可以认为是标准偏差,即降水值偏离平均值,与我国所采用的标准差指数类似。计算 SPI 指数需要五方面的数据:累积降水量、累积降水距平、平均值的累积降水百分比、百分位数或“非超越概率”。McKee 等还对 SPI 制定了分类系统,以确定干湿强度,对任意时间尺度制定了“干旱”事件的标准。1994 年, SPI 指数已用于 Colorado 州的干旱监测。该指数还被美国国家干旱减灾中心(National Drought Mitigation Center)和西部区域气候中心(Western Regional Climate Center, WRCC)用于监测紧邻的美国各州的气候分异水平。从应用角度看, SPI 指数利用变量累计的方法,比简单的距平法和百分比法更能反映一段时间内降水与水资源状态之间的关系,除了农业应急外,还可以用于各类水资源的供给与调控管理。

(2) 土壤水分指标 农业干旱的关键在于土壤水分的亏缺状况,主要考虑大气降水与土壤水分平衡。在估计作物对灌溉的需求时,常用的土壤水分指标为土壤水分亏缺量(实际蒸散量与可能蒸散量之差)。此外,这个指标也可用来划分干旱气候的界限。

测量土壤水分供给的综合干旱指数为 PalmerPDSI。PDSI 能够对异常干旱和异常潮湿作出反应。比如,当从干旱转向正常或潮湿时, PDSI 测得的干旱就结束了,不用考虑径流、湖泊、水库水位及其他长期的水文影响(Karl and Knight, 1985)。PDSI 的计算建立在降水、气温和当地土壤可利用水量(Local Available Water Content, AWC)的数据基础上。水分平衡计算中所有的变量,如蒸发蒸腾量、土壤水分再补充量、径流和表层水分的损失量等,都有确定的数值,而且不用考虑灌溉措施对水分平衡的影响。该指数是美国各州政府机构启动干旱救助计划的依据,适合于大范围的遥感干旱监测应用。

基于水分与能量平衡的干旱指标有干燥度比率,其中以布德科 1958 年提出的辐射指数最为著名。1969 年莱托称辐射指数为“干燥度比率”或“干燥度指数(D)”(Hare, 1983),该指数可用于气候干湿度的划分。

(3) 作物水分指数 为了测定作物干旱状况,Palmer (1968) 基于 PDSI 指数设计出作物水分指数 CMI (Crop Moisture Index)。该指数基于每周平均气温、总降水量及上周的 CMI 值,属于用气象方法监测和识别作物干旱。用 CMI 指数表达遥感监测结果,可以获得作物干旱演进的空间分布动态图,从而为政府或农户应对干旱提供决策依据。

(4) 地表水供给指数 Shafer 和 Dezman 等(1982)为完成美国 Colorado 州(以山地积雪为主要水源)的 Palmer 指数计算,设计了地表水供给指数(Surface Water Supply Index, SWSI)。SWSI 的计算以积雪厚度、径流、降水和水库蓄水为基础,以流域为单元进行。其目的是将水文和气象特征结合到简单的指数值中,这些值可以标准化,便于流域间进行比较(商颜蕊等,2004)。

最近,美国将国家、区域以及各州的干旱监测机构进行了整合集中(王涓力等,2006)。1998 年夏天国家干旱减灾中心 NDMC 与国家海洋大气局气候预测中心 NOAA/CPC 开始合作,两家非常关注干旱监测质量的提高,并由此形成了一个计划,开发一个干旱分类系统,

它能够像 Fujita 龙卷风强度等级 F0~F5 和 Saffir-Simpson 飓风强度等级一样被公众认可。在干旱分类系统开发早期,国家农业部世界农业展望委员会 USDA/WAOB 也参与了进来。在 1999 年春天举行的会议上,NOAA, USDA 和 NDMC 取得一致意见,研发干旱监测产品,该产品将综合天气资料及来自各地方、各州、各区域及国家层面的各种信息。干旱分类最初的草案由 CPC 的科学家设计,然后提交给 NDMC 和 USDA 的首席气象学家,经过对干旱分类标准的进一步改进,有了新的分类方案,形成了干旱监测图和文字产品(王涓力等, 2006)。

在美国干旱监测业务中,将干旱程度分为 5 个级别(表 1.1)。

表 1.1 干旱级别划分及其出现概率

级 别	干旱状况	出现概率 P (%)
D0	偏干	$20 < P \leq 30$
D1	轻旱	$10 < P \leq 20$
D2	中旱	$5 < P \leq 10$
D3	重旱	$2 < P \leq 5$
D4	特旱	$P \leq 2$

美国干旱监测干旱等级划分采用百分位数方法,用于确定干旱级别的所有数据都考虑了它们在该地点、该时间出现的历史频次。干旱监测业务中干旱级别标准基于 6 个关键指标和许多辅助性参考指标。6 个关键指标是:Palmer 旱度指数(Palmer, 1965),CPC 土壤湿度模式 CPC/SM(Huang 等, 1996),美国地质测量局日流量指标,标准降水百分位数(Willeke 等, 1994),标准降水指数 SPI(Mckee 等, 1993),卫星遥感植被健康指数 VT(Kogan, 1995)。其他还有一些辅助的参考指标(王涓力等, 2006)。

美国干旱监测(Drought Monitor)业务产品在图上用字母 A, W, F 标出正在出现或即将到来的干旱影响类型,A 表示干旱对该区域农业有影响,例如对作物、牲畜、放牧或牧草生长等的影响;W 表示对该区域水资源有影响,例如对径流、积雪、地下水和水库蓄水量等的影响;F 表示该区域伴随干旱的发生,存在高火险。干旱监测文字产品主要是总结过去一周的干旱状况和目前全国不同地区的干旱影响种类,以及下一周干旱发展趋势的预测(王涓力等, 2006)。

美国干旱监测业务系统中的许多变量以及它们之间复杂的相互作用不断促使干旱监测产品进行改进。简单的监测图,虽然便于公众使用,但它掩盖了许多不同时空尺度上进行的复杂相互作用。他们最终的目标是拥有一个能够提供及时、有意义并且有用的干旱信息监测系统。将来干旱监测产品预期的一些改进包括使用更多的 USDA 及其他的土壤水分观测资料,更完整的 USGS 地下水资料。随着联邦及各州机构对信息的进一步开放,通过因特网可以得到更详细的近实时的水库及湖泊水位资料。另外,随着预报的精度及可信度在所有时间尺度上的进一步提高,干旱监测产品中会有更多的干旱预测信息。随着水文循环各种资料监测网在其监测质量、监测时效及空间有效性方面的进一步提高,干旱监测产品也将得到进一步改进。这些监测网的资料对干旱监测产品非常关键,包括逐日土壤水分,水库、湖泊、地下水及河流水位的业务观测,以及降水、温度等关键的气候资料。美国西部地区也正在努力探

索开发区域地表水供给指数 SWSI 的工具。干旱监测需要各监测网和相关部门的支持,需要更大密度的观测及资料,需要对气候观测标准升级,包括气候监测工作的进一步协调,大气、水文及自然资源资料的更好综合。目前,他们没有足够充分的监测信息及监测手段,得到所需的所有尺度上的资料。干旱监测将努力成为一个完善的干旱监测系统。将来,在线的干旱监测图在许多空间层面上将成为用户欢迎的产品(王涓力等,2006)。

1.2.2 我国农业干旱指标研究

我国各地气候差异很大,发生干旱的原因是多方面的,影响干旱严重程度的因子很多,干旱研究中提出了各种各样的干旱指标,但至今还没有一种指标能够为所有研究者接受。因此,也就没有统一的指标。因为干旱有多种定义,指标与所讨论的问题有关,简单的指标都只能用于描述气候,用于研究作物对水分的反应则需要更复杂的指标。近年来在我国科技工作中用得比较广泛和新提出的指标归纳如下(张养才等,1994):

(1) 降水量 干旱是降水少引起的一种农业气象灾害。对于某一具体的地方来说,多年平均降水量是比较稳定的,根据长期的降水量安排的农业生产也是相对稳定的。因此,某一年或某一时段的降水量如果少于某一界限值,就可能发生干旱。用这个界限值做干旱指标,比较直观。为了更正确的反映当地农业上发生干旱的实际情况,有的地方定出更为详细的指标。

(2) 连续无雨日数 在没有灌溉的条件下,某一时段无雨,土壤水分的收入量为零,而土壤蒸发和作物蒸腾要指出大量水分,收支不平衡,土壤水分不断减少。

(3) 降水距平百分数 我国各地的年平均降水量差异很大。为了分析降水量显著不同的各地区之干旱,就不能用上述指标。因为年降水量差异很大,种植制度,栽培作物,品种布局就会有明显差别。降水量很少的地区种植牧草,比较少的地区种植旱作物,比较多的地方种一季稻,很多地方种双季稻。用降水距平百分数做干旱指标,其表达式为:

$$D = \frac{R - \bar{R}}{\bar{R}} \times 100 \quad (1.1)$$

式中 R 为当年某时段(年、季、月、旬或几季、几月、几旬)的实际降水量; $\bar{R}$ 为同期多年平均降水量。

(4) 土壤水分 土壤水分的含量不同,土壤对水分的束缚力(吸取力)也就不一样,水分的运动状态及其对作物的有效性也就有明显的差异。当土壤水分减少某一程度时,毛管水的连续状态开始断裂,液态水的流动急剧减少,土壤对水分的吸取力开始增大,植物的根虽仍能从土壤中吸收水分,但根际土壤的水分得不到迅速补充,使吸收的水分不能满足蒸腾的需要,植物开始缺水,生长受阻。

(5) 土壤湿度 土壤湿度一般以土壤水分的重量占干重的百分数来表示(质量湿度),也有以土壤水分的容积占土壤总体积的百分数(容积湿度)来表示的。土壤湿度低于某一数值,植物吸收不到足够的水分而受旱。

(6) 土壤有效水分贮存量 土壤里贮存的能被植物直接利用的水分多少,决定了作物的水分供应情况。土壤有效水分贮存量(S)指某一厚度的土层所含有有效水分量的毫米数,其计算公式为:

$$S = (W - W_w) \times \rho \times h \times 0.1 \quad (1.2)$$

式中 W 为土壤湿度(质量湿度)(%); W_w 凋萎湿度(%); ρ 为土壤容重,单位为 g/cm^3 ;