

农业产量气象模拟 与模型引论

王馥棠 李郁竹 王石立 著



科学出版社

工 科

农业产量气象模拟 与模型引论

王馥棠 李郁竹 王石立 著

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书以近年来我国粮食产量气象模拟与预测方法的研究及其实际应用为基础, 比较系统、全面地阐述了我国气象部门用以开展农业产量气象预报的各种模拟和模型方法, 包括模拟的某些基本原理、模型的结构与分类及其研制的一般原则。主要内容有: 分解型统计模型、结构型统计模型、遥感估产模型、动力(态)生长模型和各种应用数学的预测模型等九个部分。为便于理解和应用, 书中还附有部分常用模式的计算实例。

本书可供气象、农业气象、农业和统计等业务部门和省、地、县气象台站的专业工作人员参考使用, 也可供有关科研单位和大专院校师生参考。

农业产量气象模拟与模型引论

王馥棠 李郁竹 王石立 著

责任编辑 郑秀灵

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

国防科工委印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年11月第一版

开本: 787×1092 1/32

1990年11月第一次印刷(深圳)印张: 8 3/8

印数: 0001—1 000

字数: 180 000

ISBN 7-03-002018-9/P·387

定价: 6.20

前 言

粮食产量是一个涉及国计民生的重大问题，历来受到各国政府和农业生产部门的高度关注和重视。现阶段的粮食生产又是一个十分复杂的问题，它受各种社会 and 自然条件的影响，特别是与天气气候条件的有利与否密切相关。因此，研究作物产量与天气气候条件的相互关系，建立各种产量-天气模式，并用之于产量的预测预报，进而建立一个客观的可供业务使用的粮食生产监测、预报和警报体系，以期对不同时空尺度的粮食生产进行实时监测和预报是一项利国利民的、意义十分重大的研究课题。

农业产量的气象预测预报，又称农业气象产量预报，是近30年来才迅速发展起来的一门应用性和基础性都很强的新兴边缘分支学科。它既是传统农业估产的一种发展，也是农业气象预报的新进展，更是气象科学为农业服务的新途径。作为一门边缘分支学科，它要求有较广泛的基础和专业知 识，综合运用数学、物理学、生物学、植物生理学、生态学、气象学、气候学、土壤物理学和小气候学等诸多学科的基础理论和技术方法，以及计算机、卫星和遥感监测的现代实用新技术。作为一门新兴的应用分支学科，它需要开展较多的基础理论和应用技术的研究，分析预测机理的生物学和物理学基础，研制各种实用的预测模型和预报方法。显然，它同样需要有丰富的农学知识，要十分熟悉农业生产实际和用户们

的需求，方能做好产量的气象预测预报和服务。农业产量气象预报的研究对象和范围，狭义地说，当前主要针对农作物的产量；广义上，应包括农、林、牧、渔及养殖业的生产，即最终产品的数量和质量。当前其主要服务对象为各级政府、农业生产单位及有关管理经营部门。

我国的农业产量气象模拟和预报于本世纪70年代后期才开始起步。10多年来，经过全国性的课题协作研究、各有关部门的支持和广大科技工作者的努力，取得了迅速的发展，填补了气象学科发展的一个空白。到目前为止，已初步研制出一套不同时空尺度的作物产量气象预测模型和模式，正逐步转入业务应用，建立业务监测预报和警报系统。与国外同类工作相比较，总体上看，在业务应用统计模型和预报方法、预测时效和精度以及应用效益等方面，已基本赶上了当前国际发展的先进水平，但在基础理论和动态（力）数值（即作物生长）模拟的研究上尚有不小的差距，有待进一步努力。

撰写本书一方面是为了系统总结、提高现有的科研成果，使其便于推广应用，发挥更大的社会和经济效益；另一方面是，通过比较，明确差距，以促进本分支学科的进一步发展，为业务应用和发展新一代的预测模型和模式提供坚实的理论基础和先进的技术方法。因此，无论从学科的发展、研究的深化、业务的应用与开发，还是科研和业务技术人员的培养以及有关新兴边缘分支学科专业知识的传播、普及等方面均需要有一本既包含模型构建理论，又有实践应用经验和测算实例的由浅入深的专题论著。

本书以近年来我国粮食产量气象模拟与预测模型的研究

及其应用实践为基础，参阅国内外有关文献，比较系统、全面并简略地阐述了我国气象部门用以开展农业产量气象预报的各种模拟和模型方法，包括模拟的某些基本原理、模型的结构与分类及其研制的一般原则和方法等。它是一本同时汇集统计、动力（态）生长和遥感三大类模型于一体的专著，具有较强的业务可应用性。因此，在某种程度上，又是一本易于阅读、理解的准业务应用指南。全书共分九章，各章均附有相应的主要参考文献，便于感兴趣的读者进一步查阅。

本书第四章由王馥棠和王石立撰写，第七章由李郁竹撰写，第八章由王石立和王馥棠撰写，其余各章和前言均由王馥棠撰写。

限于水平，书中可能有错误和欠妥之处，尤其是挂一漏万，未能将本分支学科最新进展的精华汇总进去。鉴于此，由衷地希望读者们批评、指正和补充，为今后的改进、完善和提高共同努力。

1990年1月于北京

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
§1.1 农业产量气象预报的任务及其意义	(1)
1.1.1 环境气象条件与作物生产的关系	(1)
1.1.2 农业产量气象预报的涵义和特点	(2)
1.1.3 农业产量气象预测预报的任务和意义	(4)
§1.2 农业产量气象预报的发展概况	(5)
1.2.1 我国农业产量气象预报的发展	(5)
1.2.2 国外农业产量气象预报发展的回顾	(7)
1.2.3 农业产量气象预报的发展趋向	(9)
参考文献	(12)
第二章 农业产量气象预测预报的基础与原理	(16)
§2.1 农业产量气象预报的准则	(16)
§2.2 农业产量气象预报的基础	(17)
§2.3 社会产量资料的可用性分析	(19)
§2.4 农业产量气象预报的若干基本原理	(24)
参考文献	(28)
第三章 农业产量气象预报模型 (式)	(29)
§3.1 模型 (式) 的概念	(29)
§3.2 模型 (式) 的分类	(30)
§3.3 模式系统	(33)
§3.4 模式的研制与发展	(35)
参考文献	(38)

第四章 统计模型与方法(1): 分解型	(40)
§4.1 基本模型	(40)
§4.2 趋势产量模拟	(41)
4.2.1 滑动平均模拟	(43)
4.2.2 线性模拟	(45)
4.2.3 非线性模拟	(46)
4.2.4 分段模拟	(50)
4.2.5 Logistic 函数模拟	(52)
4.2.6 直线滑动平均模拟	(53)
4.2.7 调和权重模拟	(55)
4.2.8 指数平滑模拟	(56)
4.2.9 模拟概要	(58)
§4.3 气象产量模拟	(60)
4.3.1 回归分析	(62)
4.3.2 聚类分析	(71)
4.3.3 周期分析	(72)
4.3.4 判别分析	(75)
§4.4 预报因子的选取与处理	(79)
4.4.1 因子类型	(79)
4.4.2 因子处理	(81)
4.4.3 因子检验	(85)
§4.5 模式合成与预报集成	(88)
4.5.1 模式合成	(88)
4.5.2 预报集成	(88)
§4.6 模式误差分析	(91)
参考文献	(92)

第五章 统计模型与方法(2): 结构型	(96)
§5.1 基本思路与模型	(96)
§5.2 产量结构要素的形成与环境气象条件的 关系	(98)
§5.3 模型研制举例	(100)
5.3.1 阶乘模型	(100)
5.3.2 考虑自身调节功能的回归模型	(101)
§5.4 模式特征与应用	(103)
参考文献	(104)
第六章 动力(态)生长模拟与模型方法	(106)
§6.1 基本概念与模型	(106)
§6.2 主要模型(式)举例	(110)
6.2.1 主要基础生理过程模式	(110)
6.2.2 生长模拟模式(型)	(114)
§6.3 我国水稻和小麦生长模拟模式的研制	(119)
6.3.1 水稻生长模拟模式	(120)
6.3.2 春小麦生长简化模拟模式	(129)
§6.4 模式研制的基本方法	(134)
6.4.1 生长模拟的一般过程	(134)
6.4.2 模式的研制与协调	(137)
6.4.3 模式的评价与鉴定	(139)
§6.5 生长模拟的简化应用	(142)
参考文献	(143)
第七章 遥感综合估产模型与方法	(147)
§7.1 遥感概述	(147)
7.1.1 遥感的定义与内容	(147)

7.1.2 遥感的特点	(148)
7.1.3 遥感的分类	(149)
7.1.4 遥感发展简况	(149)
§7.2 遥感的理论基础与技术系统	(151)
7.2.1 电磁波波谱和地物对电磁波的响应特征	(152)
7.2.2 反射辐射光谱特性和地物光谱测定	(153)
7.2.3 大气透过特性和大气窗口	(158)
7.2.4 遥感平台和遥感传感器	(160)
7.2.5 遥感信息资料和解译原理	(164)
§7.3 遥感估产的技术原理	(165)
7.3.1 遥感估产的发展概况	(165)
7.3.2 遥感估产的主要类型	(168)
7.3.3 遥感估产的理论依据	(170)
7.3.4 遥感估产的多光谱信息	(173)
7.3.5 光谱植被指数	(181)
7.3.6 遥感估产的地面监测信息	(186)
§7.4 气象卫星遥感综合估产方法	(187)
7.4.1 气象卫星遥感资料的加工与处理	(188)
7.4.2 绿度数字图像的解译技术	(191)
7.4.3 作物长势的动态监测	(193)
7.4.4 气象卫星遥感估产方法	(197)
7.4.5 气象卫星遥感综合测产	(206)
参考文献	(213)
第八章 其它模型思路	(216)
§8.1 模糊数学预测模型	(216)

8.1.1 模糊集运算	(216)
8.1.2 综合评判的应用	(219)
8.1.3 模糊聚类预测	(222)
§8.2 灰色系统预测模型	(224)
8.2.1 灰色系统理论概念	(225)
8.2.2 灰色预测模型	(226)
8.2.3 灰色预测模型在产量预报中的应用	(231)
§8.3 产量场预报方法	(234)
8.3.1 经验正交函数	(235)
8.3.2 车贝雪夫多项式展开	(236)
§8.4 马尔可夫链方法在产量预报中的应用	(239)
8.4.1 马尔可夫链方法	(240)
8.4.2 马尔可夫链在产量预测中的应用	(241)
§8.5 岭回归分析	(243)
8.5.1 岭回归方法简介	(243)
8.5.2 产量预测应用实例	(246)
§8.6 其它	(247)
参考文献	(249)
第九章 粮食产量气象预测模型的应用与效果	(251)
§9.1 应用与效果	(251)
§9.2 展望——代结束语	(254)
参考文献	(256)

第一章 绪 论

§1.1 农业产量气象预报的任务及其意义

1.1.1 环境气象条件与作物生产的关系

农业生产，尤其是农作物的生长发育是离不开各种与之相适应的环境条件的。而气象条件就是其中一个很重要的环境条件，其影响之大、之频、之久、之快、之直接，都是其它条件所难以相比的。

众所周知，在低纬地区，高温是限制作物生长的重要因素，从而也是限制粮食生产的重要因素；而在高纬地区，低温又成为限制性因素，因生长季节有限，限制了作物的生长和成熟。因此世界上粮食生产主要集中在中纬度地区。另一个特点是高产年通常是夏天温度偏低和雨量偏多的年份。这些夏天温度偏低年份的天气气候条件有利于作物生产并贮存较多的光合产物。就作物生长本身对天气气候条件的要求来看，一般是生长早期需要稍高一些的温度，雨水也要偏多一些；而在生长后期，温度较正常又偏旱的天气却有利于光合产物的累积和转化，从而形成饱满的籽粒和高产。

我国地处欧亚大陆的东南部，盛行季风气候。在生长季节里，季风既带来了充沛的雨量，形成雨热同季，对作物生长和发育十分有利的环境气象条件。但季风的强弱、进退时间及交替变化，尤其在春秋转换交汇过渡时期，又频繁地伴

发旱涝、低温冻害等各种不利天气条件，直接影响到作物收成的丰歉。50年代以来，明显的歉年有：1960—1961，1968—1969，1972，1976—1977，1980—1981和1985年；丰年为：1966，1970，1973，1978—1979和1982—1984年。影响最大的一种天气灾害是干旱。据不完全统计，每年平均有1亿亩耕地受不同程度干旱的影响。此外，南涝北旱是我国又一个明显的天气灾害特征，它导致了我国北方产量的丰歉波动幅度明显地大于南方，具有波动周期短和频率高的特点。

值得指出的是，人们在分析本世纪60年代中和70年代初两次世界性粮食生产大波动的原因时发现，两次粮食危机均由苏联、印度和撒哈拉等地区的严重干旱所造成。可见，作物生长和粮食生产与环境气象条件有着十分密切的关系，天气气候的任何波动“异常”均将对作物生长和粮食生产产生明显的，有时甚至是巨大的影响。换言之，在当前的社会历史条件下，人类赖以生存的农业生产活动仍然在很大程度上依赖于天气气候的变化。尽管20世纪以来，科学技术获得了突飞猛进的发展，但人类控制和改变不利天气气候条件的能力仍然是有限的。因此，及时监测天气气候对农业生产的影响，预测、估算粮食生产的可能演变趋势，向政府有关部门和农业生产单位提供最终的年景产量信息就具有十分重要的现实意义。

1.1.2 农业产量气象预报的涵义和特点

尽管除气象条件外，影响农业生产的其它因素很多，这些因素有时起着相当大的作用，甚至远远超越气象条件的影响，但是人类在长期的劳动实践中，经过细致而反复的观测

与分析,逐渐认识到,在当前社会生产与科技发展水平下,在经常影响产量的各种因素中,气象条件却具有明显的、不可被忽视的,在一定程度上,可以说是相当关键的作用。但这并不排除在个别年份和个别地区,其它因素,如病虫害等也会引起农业生产的很大波动。因此,在设法排除这些因素的影响后,就可以从气象条件这一角度来估测农业生产的可能演变与发展趋势,包括可能形成的最终产量。可见,农业产量气象预报是一种根据天气气候条件通过模式计算而预测作物最终产量的农业产量预报。实际上,它并不是一种完整的或唯一的农业产量预报。完整的农业产量预报理应考虑各种影响因素,这在目前是难以做到的。鉴于此,从各种因素出发可以作出各种产量预报,诸如农学估产法、经济计量投入产出估产法和统计调查抽样估产等等。很明显,农业产量气象预报只是其中的一种。它有自己的手段、方法、途径和理论基础;它具有快速、客观、经济、时效长和可信性高等特点。特别是这种预报能排除社会政治和心理因素的影响以及行政管理的干扰,较早地提供客观的预测信息,与上述各传统预测方法相比,更显出其独特和明显的优点。

近年来,不断引进并应用各种新的数学物理和统计学方法,如模糊数学、灰色系统等,不仅改进了现有各种经验统计预测模型,发展了新的预测模型,而且提高了预测精度,使模型功能更趋完善和稳定。在某种程度上,更表明作物产量与环境气象条件之间,宏观上确实存在着可用以预测未来演变趋势的各种已知或未知的特征函数关系,其预测机理不仅遵循了生物学原理,还与现代气象学具有共同的物理学基础。这充分表明,人们完全有可能通过各种途径来逐步揭示、认识

并应用这些关系预测作物生产的发展趋势，借此为调整国民经济的发展计划，促进农业生产稳步发展作出应有的贡献。

1.1.3 农业产量气象预测预报的任务和意义

如上所述，粮食生产对气候变化的依赖性非常明显，气候的任何波动均将直接影响到粮食生产年景的变化，还不时导致产生世界性的粮食危机。鉴于此，目前世界各国政府和农业生产部门都日益重视粮食产量的气象预报和预测，以能及时了解和掌握本国以及世界各国的粮食生产的动态形势，编制安排相应的进出口贸易计划和粮食紧急救援计划以及采取相应的调拨、贮运和农业技术等防御和增产措施。不言而喻，它具有重大的政治和经济意义。

当前，农业产量的气象预报之所以日益成为气象科学为农业生产服务的一个十分重要的新途径，其意义还在于它具有时效长、尺度大、客观、快速和省时省力等优点，是指挥和调度生产的一种不可缺少的科学依据和参考资料。

实践表明，近30年来，农业产量气象预测、预报所取得的这种世界性进展不仅由于其明显的应用效益和高涨的客观需要，而且在于计算机、卫星遥感和动力数值模拟等科学技术的引入、应用和发展，植物生理生态学和应用统计数学的进展，大大地推动了产量气象预测的基础理论、模型构造和业务技术体系等研究的开展，从而提高和改善了预测模型的性能和效率，有力地促进了农业产量气象预报这一新兴边缘分支学科的进一步发展和应用。

值得指出的是，随着科学技术和社会生产的高速发展，环境气候的变化已日益受到人类自身活动的影响。核爆炸（核

战争)引发的骤然降温效应——气象上称之为核冬天和大气中二氧化碳浓度增加所导致的“温室效应”不仅直接地影响到地球生物圈、大气圈和水圈的平衡,更将通过环境气候的变化对人类赖以生存的农业生产和生态平衡产生难以估计的巨大影响;而农业产量的气象预测模型,特别是作物生长的动力数值模型,可在实验室条件下,应用计算机模拟试验上述人类活动对环境气候变化的影响及其后果,即对人类赖以生存的农业生产的反馈影响进行数值模拟试验,进而为分析、鉴定和评价人类活动自身对农业生产的潜在影响,尤其是不利的影响提供客观的科学基础。

§1.2 农业产量气象预报的发展概况

1.2.1 我国农业产量气象预报的发展

在我国,农业产量的气象预测预报由来已久。“瑞雪兆丰年”、“麦收八十三场雨”等古老民间谚语的广泛流传,就说明农民们很早就注意到农作物产量与气象条件的密切关系。各种古农书上均收录有大量的根据气象条件预测农业产量丰歉年景的群众经验和民间谚语,如“立春日雨伤五谷”(《师旷占》)“难拜年易种田”(《田家五行》)等等。农家历书《农桑撮要》、规模宏大的《农政全书》以及谚语类书《农候杂占》等均是这方面很有代表意义的古农书。最早文字记载的作物收成报告可见于30年代末的《华北棉产汇报》上。该报告曾根据当年的气候条件和虫害情况,对棉花收成作出“……一般,……可保中等收成产量约八成左右……”的预报。40年代中期,著名气象学家涂长望曾撰文较详细地论述了作物收

成预测研究的意义、原理和方法，认为“此项预测工作之进行乃研究农业气象目标之四”。

现代的农业产量气象预报是从70年代中期开始发展起来的。1979—1981与1982—1985年先后组织了两个阶段的全国性农业产量气象预报方法的协作研究，大大地推动和加快了我国粮食产量气象预测预报工作的发展，不仅在预报方法上作了比较系统和深入的探讨，构建了各种不同的模型和运行模式，还及时地将这些方法与模型开发应用于业务实践上，开展了试报服务。到目前为止，已初步研制了一套不同时空尺度的、可供业务试用的气象-产量预测模式。据不完全统计，目前，全国已有20多个省（市、区）和部分县的气象部门（气象站）开展了相应的预测服务，为各级政府领导和生产部门提供了有关农作物生产-产量变化趋势的预测信息，颇受欢迎，取得了较好的社会和经济效益。研究和预报对象以粮食作物为主，主要有粮食总产、水稻、小麦、玉米和大豆产量等；预报尺度有国家级、大区级、省级和县级等；时效一般可达1—3个月，甚至更长一些，如年景趋势估测等；预测精度可达90%以上，甚或更高一些。鉴于此，在1986年的课题研究成果验收与鉴定中，专家们认为，我国在粮食产量气象预报的常规预测方法研究和服务方面，已达到80年代国外同类预报的发展水平，开拓了气象科学为农业生产服务的新领域。

自1986年起，我国的农业产量气象预测预报进入了一个新的发展阶段，其特点是：

（1）推广应用现有的各项研究成果，包括运用各种预测模式，逐步开展粮食产量的业务气象预报，建立相应的业务