

作物产量与天气气候

王世耆 程延年 编著

科学出版社

2-5

4

于

作物产量与天气气候

王世耆 程延年 编著

科学出版社

1991

内 容 简 介

本书对我国近 20 年来有关作物产量气候方面的研究成果作了系统阐述。全书包括总论和产量气候分析两部分。总论各章介绍产量气候的一般概念和产量气候数值模拟技术。产量气候分析各章着重讨论我国主要作物产量形成与气候环境的关系、作物产量的时空分布和变异特征及天气气候对它们的影响。本书可供农业科技人员、农业气象工作者和广大从事环境、农业生态研究人员以及农业院校有关专业师生参考。

作物产量与天气气候

王世书 程延年 编著

责任编辑 潘秀敏

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991 年 2 月第一版

开本: 787×1092 1/16

1991 年 2 月第一次印刷

印张: 14 1/2

书号: 0401-4-000

字数: 382 000

ISBN 7-03-002012-X/Q·279

定价: 14.70 元

序

民以食为天。在人类对于自然力还处于弱小地位的年代，人们只得进行各种祭祀占卜活动，祈求风调雨顺，五谷丰登。随着生产力的发展和科学的进步，栽培作物的产量有了较大幅度的提高。然而作物产量受气候环境和作物自身的限制依旧是不容忽视的事实。

进入70年代以来，由于人口增长的压力和几次世界性的气候异常造成大范围粮食减产，引起了世界各国政府和学者们对粮食问题的极大关注。1974年联合国专门召开的粮食大会就着重指出了气候对粮食生产的重要影响。自那以后，国际上对作物产量与天气气候的关系进行了大量的研究，出版了多部这方面的专著。在近十几年，我国就这一问题也做了大量工作，然而遗憾的是迄今为止，尚无一本有关专著出版。王世善和程延年二位同志合作编著的《作物产量与天气气候》一书填补了这一空白。

这本书颇有特色，内容取材新颖，包括有世界上关于这一领域的最新研究成果，有相当大的篇幅是作者们自己的多年研究成果，其中许多为首次发表。总论部分作者论述了作物产量-气候研究领域若干基本问题，包括一般理论方法和技术。在第二部分，介绍了我国学者关于我国作物-气候研究的若干重要结果，如对作物产量时空变异的天气气候分析等。这对于当前我国农业生产的规划与实践，有着现实的指导意义。此外，在书的结构和文字上也流畅易读、简繁得体。凡属在其它书中可以查阅到的知识，书中很少重复，而对今后研究有重要参考价值且具独到见解部分，则着力铺叙。对于这样一个横向联系较广的专题，作者也形成了自己的体系。

在天气气候对农业生产的制约作用日益突出的今天，我相信这本书如能及早地与广大科技人员见面，将会是一件有益的事。

邓根云

1988年10月10日

前 言

天气气候的变化强烈地制约着农作物产量的增减。已故中国科学院副院长竺可桢先生早在 1963 年便指出：“气候既仍为目前粮食生产增减的一个重要因素，吾人急应分析气候如何影响粮食生产，并进一步探讨如何利用一个地方气候的有利因素而减少或免除一个地方气候的不利因素。”我国农业气象科学工作者以竺可桢先生的这一远见卓识为依据，从 70 年代起相继开展了天气气候与作物产量关系的研究，并取得了不少研究成果。由于 70 年代初全球气候异常造成世界粮食危机，这一课题成为世界各国普遍关注的问题。科学家们在这一领域内开展了广泛而深入的研究，涉及的方面不仅有基础理论，而且还有不少方法技术问题。本书旨在对作物产量与天气气候问题作一系统的论述，介绍我们自己近几年的研究成果。这些成果大部分系初次发表。全书分两部分，共十一章。第一部分为总论，分四章，着重叙述一些基本概念和讨论有关的方法技术问题。第二部分是作物产量-天气气候分析，分七章，介绍作物产量的波动及其受天气气候影响的统计规律；叙述如何在各种农业实际问题中应用产量-气候分析的结果。

我们希望本书能对今后这一领域的工作起到抛砖引玉的作用。

承蒙北京市农业科学院邓根云先生和国家气象局蓝鸿弟先生对本书初稿提出宝贵修改意见；中国农业科学院信迺诠先生审阅了全书，作者谨表深切谢意。

书中大部分插图系由陈勤勤、刘义二位同志绘制。

作者

1989 年于北京

目 录

序
前言

第一部分 总论

第一章 引 言	(1)
第二章 作物产量-天气气候模型	(6)
第一节 作物生长模拟模型	(8)
一、生长函数	(8)
二、作物生长过程	(16)
三、作物生长动力学模型	(30)
四、作物生长动态模拟技术	(38)
第二节 产量-气候分析预报模型	(46)
一、回归模型概述	(46)
二、产量-气候回归模型中的变量	(53)
三、产量-气候物理统计模型	(62)
四、产量预报模型	(68)
第三节 作物气候对策模型	(73)
第三章 作物产量-气候研究中的电子计算机应用技术	(78)
第一节 简介	(78)
一、模拟试验	(78)
二、数据管理	(83)
三、应用系统	(83)
第二节 作物产量-气候分析预报服务系统APCS	(84)
一、APCS的系统结构	(84)
二、APCS的主要功能	(85)
三、APCS应用举例	(88)
第四章 作物产量气候分析中的常用概念	(92)
第一节 资料	(92)
第二节 趋势与波动	(100)
第三节 变量的相关性	(105)
第四节 因子的惰性	(106)
第五节 地域的相似性	(108)
第六节 作物反应的可变性	(111)
第七节 关键因子和关键时期	(112)
第八节 生物学特性	(115)

第二部分 作物产量-天气气候分析

第五章 作物产量形成的气象条件	(117)
第一节 温度与作物产量的关系	(117)
一、温度与农业生产	(117)
二、温度与作物生长发育	(118)
三、温度与作物产量	(121)
第二节 水分与作物产量的关系	(123)
一、水分与农业生产	(123)
二、水分与作物生长发育	(123)
三、水分与作物产量	(124)
第三节 光与作物产量的关系	(126)
一、太阳辐射与农业	(126)
二、光周期与作物产量	(127)
三、光和作物生长发育及产量形成	(127)
四、光合产量	(129)
第六章 作物的气候生产潜力	(131)
第一节 气候生产潜力的定量表述	(132)
第二节 作物气候生产潜力的理论估算	(133)
第三节 气候生产潜力理论估算在生产实践中的意义	(141)
第七章 作物气象灾害	(146)
第一节 旱灾	(146)
一、干旱的成因与分类	(146)
二、我国干旱的时空分布	(147)
三、干旱对作物产量的影响	(149)
第二节 洪涝灾	(149)
一、我国洪涝的成因	(149)
二、我国洪涝的时空分布	(150)
三、洪涝对作物产量的影响	(151)
第三节 东北低温冷害	(152)
一、低温冷害的类型	(152)
二、低温冷害的地区分布	(153)
三、低温冷害对作物产量的影响	(154)
第四节 寒露风	(154)
一、寒露风的天气气候特征和危害机理	(155)
二、寒露风的地区分布	(155)
三、寒露风对水稻产量的影响	(156)
第五节 小麦越冬冻害	(156)
一、冻害的类型与成因	(156)
二、冻害的分布与危害	(157)

第六节 干热风	(158)
一、干热风的天气气候背景与类型	(158)
二、干热风的时空分布和对产量的影响	(159)
第七节 霜冻	(159)
一、霜冻的分类与成因	(159)
二、霜冻的时空分布	(160)
三、霜冻对作物产量的影响	(160)
第八节 其它农业气象灾害	(161)
一、倒春寒和五月低温	(161)
二、台风	(161)
三、冰雹	(161)
四、湿害	(162)
五、热带作物寒害	(162)
六、阴雨寡照	(162)
第八章 作物产量的时空变异及其与天气气候因子的统计分析	(163)
第一节 粮食作物	(163)
一、产量水平的分布特征	(163)
二、产量波动的分布特征	(164)
三、影响粮食作物产量的天气气候条件分类	(166)
四、农业气象灾害对产量波动的影响	(167)
第二节 水稻	(168)
一、产量水平的分布特征	(169)
二、产量波动的分布特征	(170)
三、水稻产量与气候关系的分区评述	(171)
第三节 小麦	(175)
一、产量水平的分布特征	(175)
二、产量波动的分布特征	(176)
三、影响产量波动的气候因子	(177)
四、小麦产量变量的气候拟合	(179)
五、小麦产量与气候关系的分区评述	(180)
第四节 玉米	(183)
一、产量水平的分布特征	(184)
二、产量波动的分布特征	(185)
三、玉米产量与气候关系的分区评述	(185)
第五节 棉花	(187)
一、产量水平的分布特征	(187)
二、产量波动的分布特征	(188)
三、棉花产量与气候关系的分区评述	(189)
第六节 油菜	(192)
一、产量水平的分布特征	(193)
二、产量波动的分布特征	(194)
三、产量气候关系的统计分析	(195)

第九章 作物产量-天气气候分析的应用实例	(199)
第一节 作物发展战略研究	(199)
一、粮食产量的时间趋势.....	(199)
二、产量波动的时间变化.....	(200)
三、产量波动趋势的估计.....	(201)
四、高产稳产途径的探讨.....	(201)
第二节 产量监测	(202)
第三节 作物区划	(203)
一、我国秋播油菜的产量分区.....	(203)
二、吉林省气候-农业产量区划	(205)
第四节 种植制度的确定和作物布局	(207)
一、沙洲县的最佳种植制度研究.....	(207)
二、昌图县的合理作物布局研究.....	(208)
第五节 农业气象灾害的防御	(210)
第六节 农业决策分析	(213)
一、决策目标.....	(213)
二、产量气候分析.....	(213)
三、决策模型及优选方案.....	(214)
四、效果检验.....	(215)
第七节 合理施肥	(216)
第八节 植物保护	(217)
第九节 在其它领域的应用	(218)
第十章 气候长期变化对作物生产的影响及其预测	(219)
第一节 历史气候振动与气象异常对作物生产的影响	(219)
第二节 未来的气候变化对农业的影响	(222)
一、气候变化的长期预测.....	(222)
二、未来气候变化对农业的可能影响.....	(223)

第一部分 总论

第一章 引言

气象系指大气中各种物理和化学状态及现象。气象要素是表示大气状态的基本特征量和某些重要大气现象的统称。瞬时或一段时间内的大气状况，称为天气；某一地区多年间发生的天气状态，既包括平均状态，又包括极端状态，称为气候；气象条件可作为天气条件和气候条件的总称。

农作物是在自然环境下进行生长发育和新陈代谢等一系列外部形态变化和内在生理生化反应的。其生长、发育和产量形成的每一环节，无不受到气象条件的影响。作物生长、发育和产量形成与气象条件有密切关系这一事实，早已引起人们的注意。诚然，作物产量是由品种、栽培管理技术、土壤条件、气象条件等多种因素所决定的，不应片面夸大气象条件的单独影响，但实践表明，大范围、大幅度的减产，常常伴有大范围、大幅度的气象变化。因此，气象条件的影响对产量的形成具有特殊的意义^[1-4]。

我们知道，现今日常生活中的作物都是在漫长的历史进化过程中，经过严酷的自然环境（包括气象）淘汰，并通过人们精心培育而保存下来的，其结果是在特定环境中生长着特定的作物。虽然在某些方面，它们对自然环境的适应性也会变化，但各类作物总顽固地保持其固有特性，最大限度地利用培育它的原产地的气候条件（气温、降水、日长等及其季节变化）和具有相应的形态、生理机能及生产潜力。它们对气象条件的反应因作物、品种而异，分别要求不同的最适和临界条件。另一方面，气象条件本身有年、日等各种不同时间尺度的周期和非周期变化，且一般说来，有难以控制和预测的特点。因此，对气象条件有着不同反应特性的作物，在变化万千的气象条件下，如何生长、发育和形成最终产量，是十分复杂的问题。尤其重要的是，即使人们通过不懈的努力，使得作物对气象条件的适应性产生了某种期望的结果，可是气象条件的另一种影响又会因此随之产生。比如在日本，水稻北界向北推进，水稻的耐寒性加强了，但耐热性却意外地减弱了；日本北部，温度越高越丰收，日本南部和气温的这种相关性降低，而在南九州甚至出现产量和气温的负相关关系。日本曾做过这样一种试验：在九州的筑后、鹿儿岛、宫崎的实验点上，互换土壤，分析气象条件的影响。当用同一品种、同一栽培法栽培水稻时，南九州的鹿儿岛和宫崎的收获量，不论使用哪种土壤都比北九州的筑后收获量低，这是由于气候的差异，在南九州特别容易出现高温天气的影响。这样，久已被人们忽略的日本南部能耐高温不利影响的稻作开发重又构成新的研究课题。

由此可见，为了正确地制定利用自然条件的规划和计划，防止不利气象条件的危害和预测产量，关于作物对气象条件反应的研究不仅必不可少，而且还应有一个长远的研究。

究计划。竺可桢指出：“日本各县的水稻收获量与温度、日照时数和雨量三者的关系已计算成相关系数制成图表，使阅者一目了然，可以知道日本某一县的水稻产量与一年中哪个月份的温度、日照和雨量关系最为密切。我国的农业气象研究因时间不长，所以气象条件和作物产量的关系尚无从以数目字或图表形象地表示出来。”著名的农业科学家金善宝曾经指出：“农业科学的基础理论之一，是研究外界环境条件与农业生产相关性的理论”。他们的这些论述是很有远见的。

迄今为止，有关这个问题的探索研究已经历了四个时期：即古代的农候占验，早期的对比定性分析，现代的概率统计研究和作物模拟研究。

1. 古代的农候占验^[6]

大约在两千年前的汉代，已经出现农候占验方面的著作，如《杂阴阳书》，《师旷占》等。后虽失传，但从后魏贾思勰撰《齐民要术》等古农书的引文中还可了解其梗概。现存的农候占验方面的著作有唐黄子发撰《相雨书》，明娄元礼撰《田家五行》，清吴鹤撰《卜岁恒言》和梁章巨撰《农候杂占》等。很多古农书中也有大量农候占验方面的内容，除《齐民要术》外，尚有唐韩鄂撰《四时纂要》，元鲁明善撰《农桑衣食撮要》，明徐光启撰《农政全书》，清代汇编的农书《授时通考》等。此外，古代一些月令方面的书籍如《月令广义》，《养余月令》中也有大量农候占验的内容。更有不少经验以农谚的形式流传于民间，在长期的农业生产过程中，不断总结、检验和发展。古代的农候占验，由于其所处的历史背景，不可避免地混杂有不少迷信的色彩，但确有大量符合科学的认识和推理，值得认真地加以总结。

如关于农候丰歉方面的有：

“桃李实多者来年为之穰。”《盐铁论》；

“朔日值清明主草木荣茂，值谷雨主年丰，有雷主五谷熟。”《陶朱公》；

“七月朔日虹见，主年内米贵。”《田家五行》；

“六月不热，五谷不结。”《月令广义》。

关于农业气象灾害的有：

“岁欲甘，甘草（芥）先生；岁欲苦，苦草（葶苈）先生；岁欲雨；雨草（藕）先生；岁欲旱，旱草（蒺藜）先生。”《师旷占》；

“正月旦决八风，风从南方来大旱，西北小旱，北方为中岁，东北为上岁，东方大水，东南民有疾疫，岁恶。”《史记天官书》；

“五月宜热，黄梅寒，井底干，昼暖夜寒，东海也干，俱主旱。”《便民图纂》；

以农谚形式流传于民间的，则有：“瑞雪兆丰年”，“麦收八十三场雨”，“麦子有四怕：正月怕雪，二月怕雨，三月怕风，四月怕寒。”，“麦子收成早可晓，全看头年旱与涝”等等。

农候占验不限于中国，在日本及其它国家亦有类似的说法。

2. 早期的对比定性分析^[7]

主要是对农作物产量与气象条件的关系进行对比、定性分析和预报年成。这时期的代表著作有大后美保的《日本作物气象的研究》（1945）。英国的 R.A.Fisher 在统计学

方面做了大量的基础性研究,为后来统计模拟的发展奠定了基础。

我国最早的预测作物收成的报告发表在本世纪30年代末期的“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,对棉花的收成作出估计。40年代中期,气象学家涂长望曾撰写文章较详细地论述了作物收成预测的意义、原理和方法。

3. 现代的概率统计研究

随着统计学和植物生理学的发展,作物产量-天气气候的定量研究活跃起来,其基本技术是回归分析,这类工作是大量的。苏联、日本、美国学者研究了各种统计模型。美国、苏联、加拿大、日本、英国、澳大利亚等国则用这类模型编制粮食、棉花、马铃薯、甜菜、水果、甘蔗、咖啡、可可等作物的产量预报。苏联还进行了多元图解回归法的研究,综合地考虑产量与天气条件、土壤肥力、作物生物学特性以及农业技术措施的相互关系。

在统计分析研究的基础上,我国在70和80年代开展了产量气象预报研究和预报服务。中国农业科学院和北京市农业科学院在70年代中期,首先在北京市开展了农业气象预报,中国农业科学院在1980年制作了全国范围的冬小麦产量预报。1979年国家气象局发布了东北地区粮食产量预报,并和各省区、市、县气象部门协作开展了产量预报业务,向农业领导部门和生产部门提供服务。

4. 作物模拟研究

60年代中期,美国的W.G. Duncun和R.S. Loomis几乎与荷兰的De Wit同时提出作物群体模式研究,从而开创了作物模拟研究的新领域。一系列作物模拟模型的开发,不仅发展了作物生长发育理论,而且在作物管理、土地评价等许多方面获得实际应用⁽⁸⁾。苏联、美国、荷兰、日本等国家对棉花、玉米、小麦、苜蓿、糖用甜菜等作物开展的农作物动态模式研究都已取得明显的成果。

此外,1974—1978年期间,美国执行了一个大面积作物监测试验计划(即LACIE计划)。其目的是应用现有遥感技术,评价世界不同地区的小麦生产情况。美国农业部还制订了一个“航天遥感农业资源摸底调查7年计划(AGRISTARS)”(1980—1986),以求得到美国、中国、苏联、澳大利亚、阿根廷、印度等国有关小麦、大麦、玉米、大豆、水稻等主要作物的信息,改善对作物的估产和预报能力。

苏联也进行了大面积作物估产试验,估产精度推测在75—85%之间。

现阶段遥感技术主要用于监测作物面积,天气气候的影响还是借助于统计模型来估算。

我国一些单位在水稻生长动态模拟研究和遥感技术用于冬小麦估产方面也已取得进展。

上述几个阶段不是截然分开的。实际上,统计模型作为一种手段,在作物动态模拟中同样要用到,否则,某些子模型的参数将无从确定。

作物产量的天气气候研究涉及的问题有:作物产量形成的最适气象条件和临界气象条件;作物的气候生产潜力;作物产量的时空变异及其天气气候原因;作物产量预报;过去、现在和未来的天气气候条件评价;不同天气气候条件下的稳产高产策略;作物气

象模型等等。其中有些是偏重于理论探讨的，有些则偏重于实际应用。因此，不妨认为这项研究是应用基础研究的一个分支。

作为研究方法，主要有三种，即田间试验、控制实验和数值模拟。

田间试验是农业研究的基本方法。在作物天气气候研究中有两类田间试验。一类是根据田间设计，安排对比试验；另一类在固定地块，使用同样管理技术，栽培有关作物，观测其在自然条件下的生长发育和收获量，以此获得同一试验条件下，唯独天气气候条件不同的历年产量气象资料序列。如英国的 Rothamsted 试验站迄今已积累有上百年的这种数据。

控制实验是在实验室里进行的。现代更多地采用人工气候室（箱）作为控制实验的基本工具。作物生长的环境条件全由人工控制。随着电子技术的发展，人工气候室（箱）对自然环境的模拟能力越来越强，人们用它观察到了许多有趣的现象。尽管如此，用这种方法获得的数据毕竟不能和自然条件下的作物生长数据等量齐观。

数值模拟主要是在电子计算机问世后发展起来的技术。其关键是建立数学模型，模拟实际的作物气象系统。可以在有关知识的基础上建立作物生长的动力学模型，把天气气候条件作为外因变量或驱动变量，在给定的初值条件下对模型方程求解。普遍使用的是计算机求数值解，即通常所说的作物模拟试验；也可以应用现有数据资料（包括统计资料）建立作物指标量（如产量）与天气气候因子变量的统计数学模型，通过模型参数的分析，了解天气气候的影响。在资料数、变量数很多的情况下，为了确定模型参数，通常也必须借助电子计算机。

这些研究方法实际上是相辅相成、缺一不可的。由于历史原因，至今我们仍缺乏完整而系统的长序列天气气候和产量观测数据。正因如此，我国自70年代以来蓬勃兴起并取得进展的作物产量天气气候分析与预报工作不得不主要借助于统计部门的统计资料，进行统计模拟研究。本书将总结这方面的研究成果。

作物产量的天气气候研究作为应用基础学科的一个分支，它的实际应用方面比较广阔，例如制定农业宏观发展战略、作物区划和作物布局、选择种植制度、拟定作物生产的水肥管理措施、农业病虫害的预测预报以及作物育种工作中的品系特性鉴定等，都须应用它的研究结果。在最近十几年最引人注目的当然是前已述及的作物产量监测和预报，许多国家都已把它列入日常业务范围。

需要强调的是作物产量的农业天气气候条件评价。在苏联，这一领域比较活跃。为了说明这个问题，首先介绍有关产量的几个概念。

按照实际需要，产量概念可以分为三个层次：潜在产量、实际可能产量和实际生产产量。

潜在产量是在理想气象条件下，采用通常的农业技术措施所能获得的作物产量。潜在产量，即作物生产潜力。潜力决定于有效光合辐射、作物的生物学特性和品种等。我国学者将潜力划分为光能潜力、光温潜力和光温水潜力等。潜在产量是个抽象的概念，因为理想的条件实际上是很少遇到的，而什么样的气象条件是作物产量形成的理想条件，也还不完全清楚。

实际可能产量是在现有气象条件下，采用通常的农业技术措施，作物可能有的最高产量，它实际上相当于计划产量。

潜在产量与实际可能产量之差，可以表示由不利气象条件造成的减产；实际可能产量与潜在产量之比可看作为有利天气气候系数；实际可能产量与实际生产的产量之差是由于没有充分利用天气气候条件而减产的数值；实际产量与实际可能产量之比即是利用气候资源的有效系数。

在这些概念的基础上，可以定量地对一地的天气气候条件作出科学的分析和评价，包括评价作物对气候的要求，评价不同地区的气候资源以及评价两者的配合形式。

众所周知，农业生产中，特别是非灌溉农业中，在其它条件都相等的情况下，作物的生育情况和产量决定于天气气候因素。这一事实在很大程度上影响每一具体年份农业劳动生产率的正确估算，因为它导致消耗同样的劳动，取得不同的结果。如果要在有利的和不利的天气条件下取得同样的结果，在不利天气条件下消耗的劳动比在有利天气条件下要多得多。苏联农业气象工作者认为，为了增强农业劳动者在任何天气条件下取得最高产量的兴趣，为了遵循按劳分配原则，在解决农业劳动物质分配时，必须对天气因子作出校正。按照这种观点，作物产量天气气候研究的成果甚至可以直接应用于劳动管理之中。

作物产量的天气气候研究无论在理论方面还是在实际应用方面在今后的年代里还将继续向前发展。正如 Чебышев 所言：“理论与实际的接近是最有益处的——得到好处的不仅是实际，科学本身也受实际的影响而发展。实际可以给科学开发新的研究对象或在早已知道的对象中开发新的方面”。

参 考 文 献

- (1) Koichiro Takahashi and Masatoshi M. Roshino, Climate change and food production, Japan, 1978.
- (2) The International Rice Research Institute, Climate and rice, Proceedings of the Symposium, 1976.
- (3) WMO-No. 481, Agrometeorology of the maize (corn) crop, Geneva.
- (4) 沈国权, 中国水稻气象生态研究, 湖南气象科技情报, (3) 1984.
- (5) 竺可桢, 竺可桢文集, 科学出版社, 1979.
- (6) 陶铸汾, 农候占验, 农业气象, (1) 1985.
- (7) 王酸棠, 农业气象作物产量预报概述, 气象科技, (2) 1983.
- (8) Carv D. Smith and Scott N. Smith, Agriculture Software Directory, IBM computers and computers with CP/M operating system, Agriware Company, 1984.

第二章 作物产量-天气气候模型

模型一词来源于英语 model,系指某些现实设备或系统的模拟。人们在认识客观事物时,建立模型,为的是使问题简化,即仅考虑与当前问题有关的那一方面,而有意地忽略与当前问题无关的方面。模型并不与客观事物一一对应,它只是客观事物的一种简化形式,然而它比客观事物更易于确定和更易于处理。因此,建立模型乃是人们认识客观事物的一种方法和途径。模型可以是实物的,也可以是抽象的,比如概念或数学模型。本章讨论的是后者。

数学模型是客观世界的抽象描述。它将客观事物的各个组成部分用一系列符号来表示。符号彼此构成一定的关系。尽管看起来这种模型不存在实际事物的任何外形特征,但由于可以应用逻辑学和数学对它进行处理,其应用价值有时甚至比实物模型还高。

更具体地说,数学模型是一个或一组表示某系统行为的方程式。从不同的角度出发,模型可有不同的分类。以下是几种数学模型的定义。它们并不一定彼此排斥。

(1) 经验模型 这类模型的特征在于描述。它以观测到的变量之间的定量关系为基础,而不深究系统行为的因果关系。用科学术语讲,经验模型仅是在单一的组织水平上建立数学方程。比如作物机体可以分解为植株、器官、细胞等不同级别的单位。经验模型一般只联系某*i*级组织的属性。人们总能够建立起一个经验模型,它比下面将要叙述的机理模型能够更好地适配已知数据,这是因为经验模型有着较少的约束。

(2) 机理模型 这类模型的特征在于理性的解释。就上例而言,机理模型试图按照*i-1*级组织的属性来描述并解释*i*级的组织属性。*i-1*级和*i*级两级组织属性由一个分析、综合过程联系着。当然,*i-1*级组织的描述也许是纯经验的,它不再包含任何*i-2*级组织成分。这当中经常也需要附加以若干假说和假定。机理模型通常不如经验模型容易适配已知数据,它严格地受那些假说和假定约束。然而,任何一个机理模型最终不可避免地要建立在经验模型基础之上。这符合认识论的一般法则:感性(经验)的认识是第一性的,理性(机理)的认识是第二性的。

(3) 静态模型 不含有时间变量的数学模型称为静态模型。客观世界几乎总随时间而变化,因此静态模型总是一种近似。如果一个静态模型能够较好地描述一个真实系统,那是因为系统非常接近平衡状态,或者系统的时间常数同环境的变化相比,显得短促,因而可视环境为相对常定的。所谓时间常数指系统从一种特定状态变化到稳定的平衡状态所经历的时间。实际上,当系统远离平衡状态时,使用静态模型是不恰当的。这时,应该用动态模型来描述系统。

(4) 动态模型 其数学方程式中包含有时间变量。许多动态模型可以表示成微分方程:

$$\frac{dy}{dt} = f$$

式中 y 表示系统的某个属性或特征, t 是时间变量, f 是某函数, 它可能以 y 、 t 或其它一些参数作为自变量. 对上式作时间积分, 即可求得任一时刻的系统属性或系统行为. 积分可以解析, 则称之为解析模型; 更为经常使用的是计算机数值积分, 则称为数值模型.

若系统的变化速率为 0, 即

$$\frac{dy}{dt} = 0$$

则 $f=0$, 此为静态的代数方程. 显然, 一个动态模型在某个时刻, 由于 $\frac{dy}{dt}=0$, 将转化为静态模型; 同时, 一个动态模型也可以结合一些静态模型. 例如, 作物生长模型是动态模型, 但其中的光截获模型则基本是静态的 (尽管对于某些作物, 它的叶子能够对光作出反应).

(5) 确定模型 系指能够用以做出确定的定量预测而不涉及概率分布的模型. 如物质平衡方程, 能量平衡方程都属于这类模型. 然而, 就某些变化不定的量而言, 这类模型是不能令人满意的.

(6) 随机模型 方程中含有与概率分布相联系的随机变量. 就是说, 对于一些变量, 不仅可以预测它们的期望值, 而且还相应地给出它们的变异值. 如关于作物产量的随机模型, 不仅可依其预测产量水平的平均值 $E(y)$, 同时还给出产量水平的变异值 $V(y)$. 系统行为的不确定性愈大, 愈有必要建造随机模型. 处理随机模型在技术上通常比较复杂.

作物产量-天气气候模型的研究, 总的来说是较近期的事. 由于着眼点不同, 关于模型的分类也有所不同. 但它们都不外乎是上述模型的一种. Vaier^[22] 试图把它们分为三类: 作物生长模拟模型、作物气候分析模型和经验统计模型. Сиротенко^[55] 则主张分出理论模型和实用模型两类. 其中实用模型包括统计模型、物理统计模型和动力统计模型三种. 尽管这些分类名称不同, 但其内涵又互有联系. 例如作物气候分析模型和经验统计模型本质上都属于统计模型; 而动力统计模型又主要是依据了理论模型的概念. 本书按模型设计的目标区分为三类: 作物生长模拟模型、产量气候分析预报模型和作物气候对策模型. 本章第一节是作物生长模拟模型. 这类模型试图从作物生长的内部矛盾运动过程来解释产量的形成. 天气气候的影响是通过一系列作物生长过程来表现的. 其数学形式主要是微分(动力学)方程组, 天气气候因素将构成方程中的环境变量(或驱动变量)的一部分. 设作物环境在较短的时间间隔 (如一小时) 内不发生大的变化, 则可对一系列过程 (如光合作用、呼吸作用) 进行估算, 并按时累计, 直到计算出整个生长期总的干物质产量或可收获的作物产量. 由于这种模型所描述的是作物生长和产量形成的过程, 因而它有助于使人们认识作物生长和产量形成过程中的多种因果关系, 能说明不同天气气候因素的不同作用和帮助人们提出新的研究课题. 另一方面, 这种模型通常包含一系列假说和假设, 可对实际过程作简化处理. 倘若这些假说和假设与实际情况出入较大, 甚至忽略了一些重要因素和过程, 则模型便不能正确地描述实际过程, 这是它们到目前为止一般仍处于理论研究阶段的原因之一. 本章第二节是产量气候分析预报模型. 模型仅涉及作物生长和气候因素的统计关系, 或者说, 仅着眼于它们的外部联系, 而不涉及作物生长过程; 其数学形式主要是以统计学为基础的代数方程. 气候变量是方程的主要变

量。且多数情况下还是唯一的环境自变量。当只掌握天气气候和作物最终产量资料时,统计模型是分析作物对天气气候反应的较好途径。本章第三节是作物气候对策模型,它的目的在于针对特定的作物气候问题,寻求稳产高产的对策,一般采用数学规划一类方法。不妨认为,第二类主要是研究“知其然”的问题;第一类主要是研究“知其所以然”的问题;而第三类则是研究“怎么办”的问题。

第一节 作物生长模拟模型

最近 20 年,关于作物生长过程的定量研究,获得了显著的进展^[26-29, 32, 38, 50, 54]。科学家们不仅对作物生长过程的每个方面进行了单项的深入研究,而且试图把各个单项研究成果相互关联起来,进行综合性研究,寻求建立能够描述作物生长全过程的数学模型。当然,正如 Сиротенко 指出的那样,要进行数学描述,必须把农业群落当作一个活的受遗传性控制的开放系统——“绿色机器”。该“机器”从周围环境获取能量和吸收必要的基质,并积累潜在在化学能。因此,应当由两个有连带关系的方程组来描述整个的作物生长过程,即描述作物与环境及作物内部的能量和物质交换的生态学方程组和描述作物生长过程本身的生物学方程组。作物生长过程的计算问题是由这两个复杂的方程组所构成的数学物理学的边缘课题。两个方程组按图 2-1 所示的方式形成封闭的反馈关系。

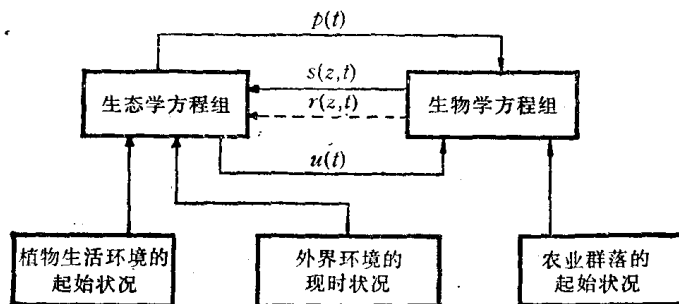


图 2-1 农业群落生产过程季节动态计算问题中的信息关系示意图

图 2-1 中 $p(t)$ 表示群体的总光合作用函数,由农业生态系统的大气环境状况决定, $u(t)$ 表示氮的总吸收函数,由土壤环境状况所决定, $p(t)$ 和 $u(t)$ 作为生物学方程组的输入; $s(z,t)$ 为 z 高度上的植物量表面积,它是生物学方程组的输出,并反馈到生态学方程组,最终影响到生物学方程组的输入; $r(z,t)$ 为叶片的气孔阻力,它的反馈作用比作物地上、地下吸收表面对生态学方程组的要快。不妨认为,迄今为止的作物生长过程的研究差不多都是这两个方程组不同程度的简化形式。

一、生长函数

作物生长是作物产量形成的基本过程。用数学公式描述植株生长的尝试由来已久,而生长函数则是关于生长过程数学模型的最早研究课题。

所谓生长函数系指作物干物重 W 是时间 t 的函数:

$$W = f(t) \quad (2.1)$$