

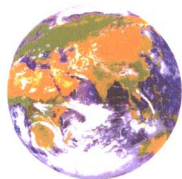
国家“九五”重中之重 96-908 科技项目



《我国短期气候预测系统的研究》之三

气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究

项目办公室 编
项目执行专家组



气象出版社

国家“九五”重中之重 96-908 科技项目

《我国短期气候预测系统的研究》之三

气候异常对国民经济影响评估 业务系统的研究

项目办公室 编
项目执行专家组

BA267 / 14

13

17PL HL

208'2

A

7

气象出版社

内容提要

本书汇集了国家“九五”重中之重科技项目“中国短期气候预测系统的研究”第三课题“气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究”近5年的攻关研究成果。它包括气候异常对我国江南双季稻、华北冬小麦、东北玉米和新疆棉花等四大作物生产影响评估模型的研究,气候异常对我国华北和江淮地区水资源影响的评估模型研究,气候异常对我国能源需求、交通运输、土地覆被和重大工程建设影响及综合评估模型的研究以及减少气候异常对国民经济影响的对策措施研究等4部分共32篇论文,可供气象、环境、农林、能源、交通和国土资源等部门的广大专业人员参考,也可供有关科研单位科研工作者和大专院校师生、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究/项目办公室,项目执行专家组编.

北京:气象出版社,2000.12

(中国短期气候预测系统的研究;3)

ISBN 7-5029-3070-1

I.气... II.①项...②项 III.气候异常-气候影响-国民经济-评价模型-研究-中国 IV.F20

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第81188号

气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究

项目办公室 项目执行专家组 编著

责任编辑:林雨晨 终审:周诗健

责任技编:安红霞 责任校对:朱界平

气象出版社 出版

(北京市海淀区中关村南大街46号 邮编100081)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:16.875 字数:522千字

2001年1月第一版 2001年1月第一次印刷

印数1~1000 定价:40.00元

ISBN7-5029-3070-1/P·1076

项目组织管理机构

项目协调领导小组

组 长：邓 楠

副组长：温克刚

成 员：陈宜瑜 黄 黔 陆 明 张春园 颜 宏

项目总负责人：温克刚

项目办公室

主 任：刘燕华

副主任：章国材

成 员：汤 绪 吕学都 包献华 崔 拓 徐飞亚 雷忠良 杨雄年 陈霁巍
冯雪竹 郭亚曦

秘 书：张 柱

项目咨询专家组

组 长：叶笃正

副组长：颜 宏

成 员：陶诗言 曾庆存 程纯枢 骆继宾 巢纪平 卢良恕 梁瑞驹 仇永炎

项目执行专家组

组 长：丁一汇

副组长：黄荣辉 王绍武

成 员：赵振国 王馥棠 吴国雄 倪允琪 林而达 刘春蓁 孙照渤

项目科研成果编写委员会

主 任：丁一汇

副主长：黄荣辉 王绍武

成 员：王馥棠 赵振国 吴国雄 倪允琪 林而达 刘春蓁 孙照渤 祝昌汉 李维京

项目论文编辑组

组 长：李维京

成 员：王绍武 黄荣辉 石广玉 丁一汇 倪允琪 张学洪 王馥棠 林而达
刘春蓁 祝昌汉 孙照渤 庄丽莉

秘 书：朱界平

序 言

由于气候和气候异常对各国的经济发展具有重大影响,因而气候和气候异常成为全球关注的焦点。一些国际组织制定了专门的国际研究计划,成立了相应的气候中心或研究所,专门研究气候异常的成因和预测问题。我国政府对气候工作高度重视,1987 年成立了国家气候委员会,1990 年成立了国家气候变化协调小组,1995 年又成立了国家气候中心,在组织机构上保证了气候研究工作的进行。与此同时,国家科技部在气候及相关领域相继设立了若干个重要的研究项目,由中国气象局、中国科学院、教育部、农业部、水利部共同主持的“九五”国家重中之重科技项目《我国短期气候预测系统的研究》即是其中最为突出的代表。短期气候预测对我国国民经济的发展具有重要的影响。江泽民总书记指出:“每年的年景如何,大家都很关注。你们有了预测意见,要及时向各级政府和农业部门通报,以便他们未雨绸缪,有所准备。据说,气候的预测技术还未过关,长期预测报准还很难,中、短期预测把握大一点。要加强科学研究,攻克难关。”本项目于 1996 年 3 月 16 日通过了科技部主持的项目总体实施方案同行专家评审会,并于 1996 年 10 月 16 日经正式批复,列为“九五”国家重中之重科技项目,项目编号 96-908。鉴于研究内容的综合性,项目组织了多学科,跨部门,跨单位的优势力量共同攻关。

我国短期气候预测系统的研究共包含五个方面的研究内容,它们构成了本项目的五个课题:一、短期气候变化的物理过程与预报信号的研究;二、短期气候预测业务动力模式的研制;三、气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究;四、短期气候监测、预测、服务综合业务系统的研制;五、区域中心短期气候预测业务系统的建立与产品应用研究。

这五个课题分别根据其研究内容和研究任务,共分解为 28 个专题。参与研究的有 5 个部门 31 个单位的 427 名研究人员。

四年来,我们在对中国气候异常规律及预测信号进行研究的基础上,研制出了一套有物理依据的短期气候监测、预测系统以及气候异常对国民经济影响的评估模式系统。还重点研究了以动力气候模式和统计-动力学方法为主的综合短期气候预测新技术,并初步建立了包含气候模式系统、气候影响评价系统、ENSO 事件监测和预测系统、短期气候预测系统的我国短期气候预测业务系统。本项目的实施紧紧围绕着提高短期气候预测准确率这一根本任务,积极推进科研成果向业务能力的转化,明显地提高了我国短期气候趋势和气候异常的预测准确率和评估水平,尤其是在 1998 年中国大洪水的预报中,取得了突出的成功。其季节雨带的位置与强度预报相当正确,这是历史上不多见的。为国家和政府部门提供了及时的信息和警报,大大减少了国民经济的损失,在该年的防灾抗洪斗争中取得了突出成绩,受到了党和政府的多次嘉奖和表扬。2000 年的汛期预报的成功再次体现出项目成果在实际业务中所取得的成功。

通过近五年的科研攻关,形成了以下七方面的集成性成果:

(1) 建立了一套由月动力延伸预报模式,海气耦合的全球气候模式(AGCM+OGCM+海冰+高分辨率印度洋-太平洋海盆模式),区域气候模式季和年际尺度的业务动力模式系统。初步把我国的短期气候预测水平由经验统计的方法提高到定量和客观的水平上,已和国际先进水平接轨。在此基础上已建成了一个具有物理基础的统计方法与气候动力模式相结合的综合气候预报系统。

(2) 在 ENSO 预测理论和方法的研究方面建立了一个全面的 ENSO 监测与预测系统,并达到了国际连网,能及时发布有关 ENSO 的各种信息与预报产品。该预报系统还成功地预报了 1997 年 El Nino 事件的迅速发生以及 1998 年迅速的衰减和 1999 年 La Nina 事件的减弱,为我国的年际预报提供了很好的气候背景和信号,保证了 1998 和 2000 年汛期预报的成功。

(3) 重点研究了各种前兆信号物理因子相互作用对气候异常的综合影响,为气候预测模式的不断改进和业务预测系统的建立奠定坚实的物理基础和理论依据,同时在短期气候预测的思想和方法上有了创新和突破。

(4) 研制了气候变化对国民经济主要部门影响的综合业务评估系统，并与气候模式相连接。其中包括气候异常对我国江南双季稻、华北冬小麦、东北春玉米和新疆棉花等农业生产影响的评估模型，气候异常对我国四大流域的水资源影响的评估模型等。

(5) 形成具有较好物理基础的汛期旱涝预测模型。建立了具有中国特色的动力学和统计学相结合的汛期旱涝业务预测系统。

(6) 初步建立了一个适应面广泛的气候综合服务业务系统，可在工农业生产、防汛抗旱、减灾防灾等重大决策中发挥作用。并且建立了一个内容比较齐全的综合气候资料库。已在国内的业务和研究工作中发挥了重要作用。

(7) 初步建立了针对我国不同气象灾害的七个区域级短期气候预测系统，并开展了气候模式产品释用的研究。

为便于上述科研成果的交流应用和相互借鉴，项目领导小组决定将其汇编成册。并以五个课题为单位，以五个分册的形式出版。项目共刊登了 242 篇论文。本套论文集反映了项目研究内容的最新成果和进展。在总结经验，肯定成绩的时候，我由衷地感谢关心与支持本项目的科技部领导和已故的邹竞蒙局长，感谢为项目提供咨询与指导的气象界老前辈和项目执行专家组。感谢前项目领导小组成员马鹤年副局长，项目办公室副主任肖永生司长、项目办公室成员汤绪主任，在立项和前期工作中所做出的重要贡献。感谢立志献身气候研究这一根深领域的科研工作者。项目论文的所有来稿分别由所在专题、课题负责人进行筛选和审定。各课题负责人为所在分册撰写了前言，项目管理部门对文稿体例做了统一，在此一并表示感谢。另外也感谢气象出版社的大力协助。

展望未来，任重而道远。我们必须清醒地看到，国民经济建设和社会越发展，人们对减轻气候灾害所造成损失的需求就越迫切，要求也就越高。我们将面临着更为艰巨的科技难关需要攻坚。希望各有关部门和单位以及广大气象科技人员继续发扬团结协作的优良传统，在各级政府部门的支持下，在短期气候预测工作中再创佳绩，为我国国民经济建设做出新贡献。

项目总负责人



(温克刚)

2000 年 12 月

前 言

我国地处东亚季风气候区, 是世界上最严重的气候脆弱区之一, 气候灾害频繁, 对农业、水资源、能源、交通及重大工程建设等国民经济领域影响很大。为了促进国民经济持续稳定发展, 提高防灾减灾能力, 减轻气候异常的不利影响, 在研究我国短期气候预测系统的同时, 开展气候异常对国民经济影响的评估研究不失为高瞻远瞩之举, 既必要又适时, 意义深远。

国家“九五”重中之重科技攻关项目“中国短期气候预测系统的研究”(96-908)的第三课题“气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究”(96-908-03)主要研究气候异常对我国经济影响的评估模型、与短期气候预测业务系统相配套的业务评估系统以及减少对国民经济不利影响的对策措施。其总体目标是在攻关研究结束时, 提供一套气候异常对国民经济重点领域和关键地区持续稳定发展影响的评估模型, 建立一个可供业务运行的、与短期气候预测系统相配套的业务影响评估系统, 为有关部门决策提供科学依据, 保障我国国民经济的持续稳定发展。

在参览国内外已有科研成果基础上, 本课题分设以下4个专题开展攻关研究:

03-01 专题 气候异常对我国农业生产影响评估模型的研究;

03-02 专题 气候异常对我国水资源与水分循环影响评估模型的研究;

03-03 专题 气候异常对国民经济影响综合业务评估系统的研究;

03-04 专题 减少气候异常对国民经济影响的对策研究。

经过近5年的不懈努力和协作攻关, 各专题均取得了不少具有创新性的研究成果, 主要有:

1. 针对我国四大作物主要种植区, 即江南双季稻、华北冬小麦、东北玉米和新疆棉花, 研制了气候异常对4种作物影响的评估模型, 通过随机天气发生器与区域气候模式或GCM模式相嵌套联接, 建立基于这4种作物模型的区域尺度月季月气候异常对农业生产影响评估的业务系统。特别是较好地处理了不同时空尺度的转换匹配嵌套技术和参数化与参数区域化技术, 使由以点为主的作物生长模型发展为具有区域影响评估能力的模拟模型。拟合检验与个例试评估检验均表明, 上述模型与系统均具有较强的模拟评估能力, 可供准业务运行使用。

2. 在分析研究了华北和江淮地区分布式水文模型参数的地区分布规律基础上, 研制了具有动态追踪功能的, 区域尺度气候异常对地表水资源、地下水资源及水资源总量的影响评估模型。经与区域气候模式(或GCM模型)输出相嵌套, 进一步建立了可开展月、季和年气候异常对水资源影响的业务评估系统以及相应的用于率定水文模型参数的历史降水和气温时空解集数据库和地理信息系统数据库。用多种插值方法对网格解集进行优化。1991、1994与1998年个例模拟检验表明, 上述模型与系统可较好地再现水资源的动态变化过程, 可供业务评估气候异常对江淮和华北地区水资源影响使用。

3. 在分别研制了气候异常对能源需求、交通运输、重大工程建设(以三峡工程为例)和土地覆被的影响评估模型基础上, 综合上述对农业生产和水资源影响的评估模型, 建立了由资料接收与加工处理、气候影响评估模型、气候影响综合评价和对策集成评价等4个子系统组成的气候异常对国民经济影响的综合业务评估系统。形成了相应的月、季和年的业务评估流程, 开发了与短期气候预测系统(模式)的嵌套联接技术。

4. 在分析评估历史和当代气候异常对社会经济发展影响的基础上, 研究了农业、水资源、能源、交通和重大工程建设适应气候异常的各种对策方案, 建立了各相应的影响对策模型和对策评价模型, 并进一步研究开发了对策集成评价模型。该模型可对不同对策方案的费用—效益、投入—产出、可行性和可操作性以及社会经济综合效果进行科学评价, 从中筛选出建议方案并进行优化, 对重大气候灾害提出相应的减灾战略和对策技术措施。

本课题作为我国短期气候预测系统研究中气候预测系统(第二课题)的后续部分, 研究领域广、任

务重、难度大，但在项目专家组和办公室的指导关怀和各专题参与单位的大力支持下，全体攻关研究人员历经 5 年的紧张努力和团结协作，还是取得了重大进展。总体上圆满地完成了合同规定的进度计划，达到了各项攻关任务的要求和考核目标。本书是在多次项目、课题和专题组学术交流会的基础上，经过筛选和提炼，汇集主要成果论文 32 篇编纂而成。限于时间和经费，大部分先期已发表于其它刊物上的论文以及尚未来得及整理撰文的成果均未收编于本书。

气候异常对国民经济影响的评估研究是一个涉及面广、学科交叉、技术难度大的新兴应用研究领域，不仅其潜在社会经济效益巨大，而且是保障我国国民经济可持续发展密切相关的重大前沿研究热点之一。本课题在“九五”攻关期间所开展的研究仅涉及其中有限的几个方面，且限于时间和水平，所取得的成果也是很初步的，在此，抛砖引玉，仅供今后进一步研究参考，不足之处更有待于今后进一步深入、补充与修正，也敬请各位读者予以指正。对本书的顺利编纂出版，我们衷心感谢各有关研究人员的合作，各协作单位的大力支持以及项目办公室的组织、指导及收编过程中所做的大量工作。

96-908-93 课题组长
王馥棠、林而达、刘春蓁
2000 年 11 月 10 日

目 录

序 言 前 言

96-908-03-01 专题 气候异常对我国农业生产影响评估模型的研究

气候异常对我国农业影响评估模型的研究	陈友民 林而达 谢云 (3)
江南双季稻区域评估模型研究	袁国旺 王石立 王馥棠 (11)
气候变化对我国江南双季稻生产可能影响的数值模拟研究	袁国旺 王馥棠 (17)
气候异常对我国华北冬小麦生产影响评估模型的研制	冯利平 (25)
气候变化对河南省黄淮平原冬小麦生长发育的影响	刘荣花 汪永钦 王良启等 (33)
区域玉米生长评估与产量预测动力模式研究	吴金栋 王馥棠 王石立 (39)
气候变率变化对我国东北玉米生产影响的数值模拟试验	吴金栋 王馥棠 (47)
气候对新疆棉花生产影响的区域评估系统研究	潘学标 李玉娥 (57)
新疆棉花气候影响评估系统中的分区与显示方法研究	潘学标 李玉娥 (69)
我国气候变率与气象灾害的变化趋势研究	陈友民 林而达 (76)
作物模型敏感性分析	谢云 J.R.Kiniry J.R.Williams 等 (82)

96-908-03-02 专题 气候异常对我国水资源及水分循环影响评估模型的研究

气候异常对水资源影响评估分析模型	张建云 (91)
江淮黄河流域四季各月降水分型的方法和结果分析	陈菊英 王玉红 杨振斌等 (99)
气候异常对黄河中游水资源影响评价网格化水文模型及其应用	王国庆 李健 王云璋 (113)
气候异常对海河流域水资源影响评估模型研究	刘九夫 郭方 周冰清等 (117)
分布式月水文模型及其在淮河流域的应用研究	郝振纯 苏凤阁 (126)
赣江和汉江流域水资源的模拟预测研究	郭生练 杨井 王金星 (133)
气候异常对水资源影响分析评估系统	章四龙 谢自银 (139)

96-908-03-03 专题 气候异常对国民经济影响的综合业务评估系统的研制

气候异常对社会经济可持续发展影响研究综述	黄朝迎 (149)
气候异常对交通影响研究综述	黄朝迎 (159)
多种评估预测方法的系统集成技术研究及综合业务评估系统的研制	孙家民 (165)
气候异常对国民经济影响评估模型的技术方法、性能特点、使用条件及可操作性 的研究	戴晓苏 (173)
气候变化对土壤覆被变化影响及其反馈模型研究	李克让 陈育峰 黄玫等 (184)
近百年来江苏特大洪涝年的对比分析	宣德旺 姜爱军 (192)

96-908-03-04 专题 减少气候异常对我国经济影响的对策研究

减少气候异常对国民经济影响的对策研究	王守荣 巢清尘 戴晓苏等 (199)
我国气候灾害减灾战略对策的研究	李湘阁 王志华 (209)
中国主要农作物减灾防灾对策措施研究	张厚瑄 (218)
气候异常对我国水资源的影响及对策分析	袁汝华 胡维松 黄涛珍等 (223)
气候灾害对北京可持续发展的影响及对策	郑水红 王守荣 王有民 (229)
气候异常对我国北方地区沙尘暴的影响及其对策	邹旭恺 陆均天 李江龙 (238)
减缓气候异常影响对策综合评价模型系统的研究	王守荣 杨昕 孙冷 (244)
相对温暖气候背景下的历史旱灾研究——1784~1787年典型灾例	张德二 (253)

96-908-03-01 专题
气候异常对我国农业生产
影响评估模型的研究

气候异常对我国农业影响评估模型的研究

陈友民 林而达

(中国农科院气象研究所, 北京 100081)

谢云

(北京师范大学资源与环境系, 北京 100875)

摘 要

气候异常对农业影响评估模型系统包括气候预测模式, 动力作物模型以及连接气候模式预测结果与作物模型的随机天气发生器模型。其中气候模式预测产品可以直接被应用, 因此农业影响评估模型研究的重点主要是各种作物模型和天气发生器模型。本文首先介绍了天气发生器和作物模型在国内外研究现状及其基本工作原理, 然后对国内自行研制的江南双季稻模型、华北冬小麦模型、东北玉米模型和新疆棉花模型等四种作物模型研究现状进行了概括评述。结果表明四种模型的拟合率达到 90% 左右, 而且四种模型主要通过 Visual Basic 语言在 WINDOWS 界面上开发出来, 具有系统界面友好, 操作简便, 可视化程度高等优点。

关键词: 气候异常 评估模型 气候模式 作物模型 天气发生器

1 引言

无论是全球气候还是中国气候都在发生明显的变化^[1], 而气候变化对农业的影响, 已经从早期的定性描述发展到定量研究阶段。针对农作物生理生长特点发展起来的机理动力性作物模型, 能够较客观的反映作物的生理生长特性, 反映出作物的不同生长阶段对外界条件, 其中包括气候条件的要求。目前有代表性的是美国的 CERES (Crop-Environment Resource Synthesis) 系列作物模型以及在此基础上由多种作物模型综合而成的 DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) 农业技术决策支持系统, 它被广泛应用于农作物产量的评估。CERES 系列模型具有相似的模拟过程, 如土壤水分平衡过程, 作物生长过程等。这些过程包含反映作物生理特性的光合作用, 呼吸作用等以及作物经济产量与作物品种相关的统计特征。这些模型能反映在现有光热水条件下, 作物的生理反应对作物经济产量的影响。由此可以通过作物模型, 评估在变化的光热水气候条件下, 作物的生长状况以及经济产量的变化。特别是当给出预测的未来气象气候条件时, 可以通过作物评估模型进一步对作物生产量的变化进行预测。中国是一个农业大国, 农业生产在国民经济中举足轻重, 因此, 发展中国自己的农业生产评估模型, 对发展中国的经济具有特别重要的意义。通过参考国外作物模型设计思路, 借鉴国外发展成熟的模型模块, 开发针对我国作物生长条件的作物模型, 建立起气候异常对农业生产的评估系统是非常必要的。

2 评估模型框架结构

完整的气候异常影响农业评估模型系统应该包括三个重要的模型组成部分, 即气候预测模式, 针对某种作物生理生长特性的作物模型以及产生随机天气样本序列的随机天气发生器模型等。上述每一种特定的模型都有对农业产量评估之外的其它功能, 譬如, 作物模型还能够模拟作物不同生长发育期阶段的

生长特征,从而对施肥、灌溉以及田间管理进行正确指导。天气模型通过其产生的任意长序列的逐日天气资料,可以对水文、农业等进行风险评价,另外天气发生器还用于通过观测的资料对新站点的资料进行内插以及制定气候变化情景等(Mikhail et al.,1998)^[2]。

气候预测模式一般有两种,即全球气候模式(GCM)和区域气候模式(RCM)。气候模式对气候预测产品的输出结果一般有两种形式,即逐日气象要素值和月平均值。利用GCM和RCM输出的逐日气候变量直接提供作物模型,可以模拟出作物的模式产量,然后通过模式产量与社会产量的经验关系等做出作物社会产量的预测预报。严格地说,上述预测过程忽略了一个重要事实,即逐日天气过程的预测存在着2~3周的理论可预报性(Lorenz, 1982)^[3],也就是说,超过2~3周的逐日气象预报是完全不确定的,但也不能说明通过这样的过程对作物产量的预测结果是不正确的。实际上,由气候模式预测的逐日气候变量值提供了一种可能的天气变化过程。而对应同一气候条件的可能发生的天气过程应该有很多,要由气候模式产生对应同一气候条件的众多天气过程要求很大的工作量和需要大量的计算机时间。假如产生一个天气样本需要一天的时间,那么产生300个样本需要近一年时间的计算机操作,这显然是很不经济的生成天气样本的方法。实际上,我们可以直接利用气候模式预测的月平均值结果,然后通过天气发生器模型生成任意多样本的逐日气象变量,然后提供给作物模型进行作物产量预测及评估。而且,气候模式对时间平均的气候变量有更好的预测准确率,一般平均时段越长,准确率就越高。这样,通过气候模型预测气候异常变化,然后利用天气发生器生成与该气候条件对应的一系列天气样本集合,把这些天气样本输入给作物模型产生多个产量值,最后可以看到的对应气候异常的产量预测是一个产量变化范围,或者说是产量的概率分布。这实际上更符合气候异常对农业产量影响评估的标准,也就是说,我们很难精确预测在气候异常条件下农业产量的真实变化,但通过上述预测过程可以提供农业产量的变化范围,缩小了农业产量变化的不精确性,从而实现对农业产量变化评估的目的。总之,利用GCM或者RCM的月平均预测结果,通过天气发生器把月平均变量形成逐日的变量,然后提供给作物模型,即可以对作物的产量做出预测预报。因此,农业生产评估模型可以概括为如下框架图:

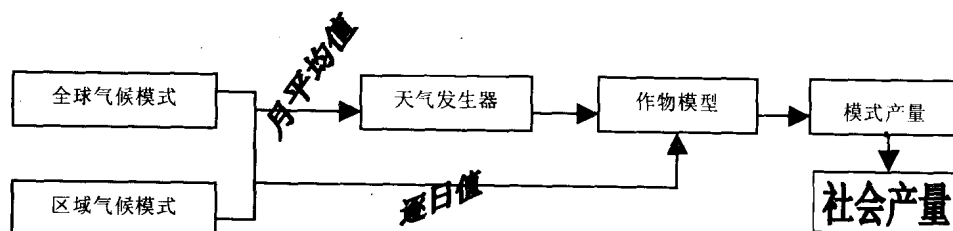


图1 农业生产评估模型

3 天气发生器原理及其必要性

天气发生器也称为随机天气模型,这种用一定的数学方法产生人为的时间序列天气数据已被非常广泛的应用。首先它可以提供足够长序列的气象资料进行水文工程设计、环境管理和农业风险评价等。虽然利用观测资料也可以进行同样的工作,但有限的观测资料不足以较好地估计极端天气事件的概率分布,而且观测到的天气资料实际上仅是很多可能出现的天气过程中的一个样本,并没有很广泛的代表性,而利用天气发生器生成的大量的天气样本,提供了非常广泛的在当地可能发生的天气形势。其次,天气发生器可以在没有任何气象观测纪录的地区生成可能出现的天气过程资料。天气发生器利用一些与当地气象条件有关的参数生成天气资料,而这些参数具有一定的地域特征,利用一定的内插方法按照地域特征对天气发生器中的参数进行内插,把内插出来的结果输入给天气发生器,就可以生成该内插点的逐日气象数据。第三,天气发生器还可用于对大气环流模式输出的结果在时间频率上进行尺度降阶。大气环流模式输出的可靠结果一般都是月季平均值,时间尺度相对比较大,利用天气发生器可以把气候模式输出的平均结果转换为逐日值,从而在时间上实现气候模式输出结果的尺度降阶,以便研究气候变化影响

评价中应用。

上述三方面都直接或间接地涉及到气候变化影响研究,因此可以说,天气发生器是用于研究气候变化情景,评价气候异常影响的重要的工具,是农业、水文、环境管理等领域决策支持系统的重要组成部分。由美国农业部 Richardson(1981)^[4]和 Richardson 及 Wright(1984)^[5]开发的天气发生器 WGEN 已在很多研究中被用作产生气候变化情景的基本工具。引进并改造成适合中国气候的中国随机天气发生器也已产生,并被用于气候变化的农业影响研究中(林而达等,1997)^[6]。

天气发生器模型一般是由两类模型构成:参数生成模型和随机序列产生模型。利用天气模型产生的随机天气序列虽然不是任何某一天的天气,但它是某一地区有可能发生的天气过程。而不同地区的天气状况是不一样的,这就说明天气模型在不同地区生成的天气样本是不一样的,也就是说,随机天气模型并不是完全随机的,而是在一定的与特定地区有关的参数控制下随机地生成一些在当地可能发生的天气样本。最常用的控制参数是天气转换概率,即降水天转为晴天或继续保持降水天的概率以及晴天转为降水天或继续保持晴天的概率等。参数生成模型通过多年的逐日天气资料可以生成天气转移概率等有关的参数,把这些参数作为随机序列产生模型的控制参数,即可生成一个地区任意长度序列的逐日天气样本。参数生成模型输入的数据量大,输出的数据量小,模型主要利用概率统计的内容,所以没有太多的争议和技巧。随机序列生成模型输入数据量小,输出数据量大,模型牵涉到随机数的产生,随机数的分布,极值控制,Markov 链以及 Fourier 序列内插等。天气模型中的大量技巧都在随机序列生成模型上,因此,一般提到的天气模型主要指的是随机序列生成模型。

随机数的生成是天气模型的一项重要内容,随机天气序列的产生是依据于随机数产生的,并形成与随机数分布类似的天气要素序列分布形势。众所周知,不同天气要素的分布是不一样的,气温变化的分布接近正态分布,而降水变化的分布则近似于两参数的 Gamma 分布。因此,对于生成同一地区的逐日天气变量来说,随机数应该也是不同的。目前很多天气发生器都用同一随机数产生不同的气象变量,这应该是模型误差的重要来源之一。

目前最流行的天气发生器有两个版本,一个是在美国发展的 WGEN 天气发生器(Richardson CW, 1981)^[4],另一个是在欧洲发展的 LARS-WG 天气发生器(Racsko et al.,1991)^[7]。两种天气模型有很多共同之处,如都是输出四种天气变量:即最高最低气温、降水和辐射等;气温都采用正态分布;降水参数都是在各个月份采用不同的值。另外,两种模型也有很多不同之处,譬如,WGEN 降水采用的是两参数 Gamma 分布,而 LARS-WG 采用的是半经验分布等(Mikhail et al.,1998)^[2]。

4 动力作物模型

利用数学方法研究农作物生长及产量变化的方法称为作物模型或者作物模式。作物模型一般可以划分为统计作物模型和动力作物模型两种:统计模型利用作物产量与气候条件的相关关系研究在变化的气候条件下农业产量的变化,模型相对比较简单。动力作物模型则是利用数学方法描述作物生长的生理过程,如作物的呼吸作用、光合作用等,并通过方程迭代推演作物的生长变化过程。动力作物模型是对作物生长机制的模拟,模型中反映了各种生理过程以及作物生长与自然环境的相互作用,尤其是进行一些敏感性试验,如大气中 CO₂ 增加对作物产量的影响等,动力作物模型具有不可取代的作用。当前大气中 CO₂ 确实在增加,并导致全球气候变暖,利用动力作物模型可以预测在未来变化的气候条件下农业产量的变化。正是因为动力作物模型的重要作用,它目前受到广泛的应用,而且一般提到作物模型,都是指动力作物模型。

动力作物模型通过对作物生理动力过程的描述和一些经验结果的应用,对作物的生育、生长以及作物产量进行模拟。由于模型描述作物的整个生长过程,在实际操作中通过一定的时间步长进行模拟。Grant(1989)^[8]把作物模型分为以一天为基本单位的时间步长和更短时间譬如一个小时的步长。长时间步长方案由于有大量对应的土壤、气象以及田间管理等资料匹配,便于对模式进行调试和模拟试验,因此

得到作物模型的广泛采用。但长时间步长方案只能针对季节的干物质累计、叶面积指数等实现验证，因此很难发现模式产生误差的来源。短步长方案能够克服上述缺点，但模式需要的一些环境参数和作物生理参数很难准确取得。利用动力作物模型除了能够进行产量预测外，还能够进行一些敏感性试验^[9]以及作物生产潜力的研究。最常用的生产潜力有最大生产潜力、水分限制条件下的生产潜力、氮元素限制下的生产潜力、营养限制条件下的生产潜力等。

表1 国内外部分作物模型及参考文献
(见 Jones and Richie, 1990^[11]; 部分选自美国国别研究项目, 1994^[12])

作物	模型名称	文献
紫花苜蓿	ALSIM	Fick(1981)
	ALFALFA	Dennison and Loomis(1989)
大麦	CERES-Barley	Ritchie 等(1989a)
棉花	GOSSYM	Baker 等 (1983)
	COTCROP	Brown 等 (1985)
	COTTAM	Jackson 等 (1988)
	COTGROW	潘学标 (1996)
玉米	CERES-Maize	Ritchie 等(1989b)
	CORNF	Stapper and Arkin(1980)
	GAPS	Buttler(1989)
花生	PNUTGRO	Boote 等 (1989)
谷子	CERES-Millet	Ritchie and Alagarswamy(1989)
	RESCAP	Monteith 等 (1989)
马铃薯	SUBSTOR	Griffin 等 (1993)
水稻	CERES-Rice	Godwin 等 (1990)
	RICEMOD	McMennamy and O'Toole(1983)
水稻	RICE CLOCK	高亮之等 (1989)
高粱	CERES-Sorghum	Ritchie and Alagarswamy(1989)
	SORKAM	Rosenthal 等 (1989)
大豆	SOYGRO	Wilkerson 等 (1983) Jones 等 (1989)
	REALSOY	Meyer(1985)
甜菜	CANEMOD	Inman-Bamber(1991)
小麦	AFRCWHEAT2	Porter(1993)
	CERES-Wheat	Ritchie(1985)Godwin & Vlek(1985)
	WHTMOD	冯利平(2000)
General model	EPIC	Williams 等 (1984)

植物生长动力模拟模式是定量模拟作物生长发育过程的机理型模式。在这种模式中，作物系统每个生长期当前的状态依赖于初始条件、以及所有与现状有关的输入的累积和交互影响。动力模拟模型通常包括外源的、内源的、状态和比率变量。植物生长动力模拟模式所用公式也表示一些主要的生理、形态和物理过程，包括作物内部以及作物和环境之间能量和物质的传输。在许多发展至今的作物模式的结构中都包含连续的经验函数关系。根据这些关系，这些模型可以做出各种环境条件下作物综合反应的预报来。

现在已有各种主要作物的模拟模型可用，表1给出了其中的一部分。每一种模型的目的是为了预报特定作物对所给气候、土壤及控制生产的管理因子的反应。由于作物生长模式具有模拟农业植物对气候变量反应的能力，因此被用来与 GCM 或其它气候变化情景结合起来探究大气 CO₂ 浓度增加及温度升高对产量和物候造成的后果，或者确定作物敏感对变化条件反应的临界点。某些决策支持系统也可利

用这些作物模型试验对气候变化可能的适应技术,如改变播种时间、灌溉进程和作物种类等,看看后果如何(IBSNAT,1990)^[10]。

为了使这些评价更完美,这些作物生长模型必须要考虑诸如光合作用、光呼吸作用、暗呼吸作用以及气孔的生理作用等对 CO_2 浓度增加的反应,以及这些过程与温度和水分的作用。现有的作物模型已经做了必要的修改,使其能够模拟主要生理过程对各种 CO_2 浓度的反应。这样的作物生长动力模型用基年和变化了的大气情景(包括气候变量和 CO_2 浓度的变化)运行起来,就能够研究产量、蒸散、作物生长季和灌溉需求的潜在变化。但其中 CO_2 浓度升高对暗呼吸速率的影响不确定性很大,还需要进一步研究(Bazzaz,1990)^[13]。

5 我国四种作物模型研究概况

由于不同作物生理特征、生长发育过程等有很大区别,因此描述基于作物生理生长特征的动力作物模型只能针对某一种特定的作物。因此,研究气候异常对我国农业影响评价应该针对各种作物分别建立不同的模型,通过所有模型的模拟结果评价气候异常的影响。由于受到各个方面条件的限制,四个地区的四种农作物,即华北冬小麦、东北玉米、江南双季稻以及新疆棉花,时常是我国作物模型研究的重点。这四种作物属于大宗作物,其分布面积广,产量高,在整个农业经济中占据核心地位。因此,研制气候异常对这四种作物影响的评估模型,建立基于这四种作物模型的影响评估业务系统,对我国农业生产具有广泛的代表性。

江南双季稻模型^[14~17]。水稻是我国第一大作物,江南地区湖南、江西两省双季稻产量即占全国稻谷总产量的近1/4。但是江南地区水稻生长过程中低温、洪涝、高温等灾害频繁,对水稻的高产、稳产影响很大。随着未来人口增加和对粮食消费需求的扩大,保障水稻安全生产将愈显重要。因此,发展我国自己的机理性强的、区域性动力生长模型,宏观评估气候异常对江南双季稻生产的影响,为政府决策提供科学依据具有非常重要的意义。双季稻模型对双季水稻生长的模拟是早、晚稻连续模拟,即从播种早稻秧田开始、经大田移栽,直至晚稻生长结束。模式主要由早、晚稻发育阶段子模式、叶面积(LAI)动态增长子模式、光合作用子模式、呼吸作用子模式、同化物分配与转移子模式等组成。模拟的时间步长为“日”。与以往研制的水稻模式不同,在研制江南双季稻模式时,比较创新地解决了以下3个技术难点:①水稻的生长过程实际上是不连续的,存在移栽问题。本模式直接从播种开始模拟,期间考虑了秧田至本田的移栽效应,从而改进了以往模式从移栽开始模拟的做法,使模拟趋于更完整和更客观。②早晚稻生产之间存在着相互影响、相互制约的关系。本模式对此,即晚稻与早稻之间的衔接,设计了一种简化处理方法,使连续模拟成为可能。③早晚稻生长过程中,其外界环境因子的变化过程迥然不同。本研究从感温性与感光性着手,采用不同的参数化处理,使模拟更符合我国双季水稻生长和生产的实际情况。

双季稻生长模拟模型在进行生产水平分区以及各区水稻品种参数确定的基础上,以Windows98为平台,采用VB6.0和FORTRAN语言混合编程,研制了气候异常对江南双季稻生产评估模型软件系统。该软件界面友好,使用方便。单点模拟结果(包括各器官、叶面积指数、总干重和最终产量等项目)显示动态直观,并能与实测结果对照比较;区域结果显示兼具地图和数据分析可视化功能,使得气候异常对江南双季稻生产影响评估的输出结果直观明了。目前该软件系统具有与GCMs短期气候模式预测结果的输入接口,可根据输入的历史、实时气象资料或GCMs短期气候模式预测结果,动态模拟并以各种不同的图形显示方式在地图上形象直观地显示江西和湖南两省各区的早晚稻整个生长过程、主要发育期和各器官生物量以及最终产量。

华北冬小麦模型^[18]。“气候异常对我国华北冬小麦生产影响评估模型(WHTMOD)”是根据小麦生长发育规律及其生理生态特性而建立的,由小麦发育期模拟模型、光合生产模拟模型及产量形成模拟模型、以及水分平衡、氮素平衡模型等进行有机的衔接组成。模型中考虑了光合作用、呼吸作用和同化物

在各器官中的分配等生理过程,同时考虑了温度、日长、CO₂、水分、氮素等因子的影响,可以模拟小麦的生长发育与产量形成动态。整个模拟以逐日的气温、太阳辐射、日长等气象要素为驱动变量,以小麦发育期模型(WDSM)作为时标(Time scale)控制系统的运行及子程序与有关参数的调用。

WHTMOD 的研究”是在国内外同类研究的基础上,以适于我国大面积范围应用的自主知识产权的“小麦生长发育模拟模型系统(WheatSM)”为模型内核,结合我国气候异常情景下对华北冬小麦生产影响评估模型研究的要求,在小麦田间试验和收集代表华北地区冬小麦生产的有关小麦品种、土壤特性及气候资料基础上,进一步开发研制的。在改进和完成小麦生长模拟模型的基础上,进行模型参数的调试,确定模型参数。应用软件工程和面向对象的程序设计原理,结构化、模块化程序设计方法,采用程序设计语言 Visual Basic 6.0 和数据库管理系统 Visual FoxPro 及 MS Access 编制模型软件设计模型。根据小麦生产的生产生态条件,将研究区域范围进一步划分小的区域,同时确定各区域各代表点,利用桌面地理信息系统工具 MapInfo 绘制数据化地图,建立 MapInfo 表文件,并与 VB 编程结合,实现模拟计算结果的区域 GIS 显示表达。模型包括小麦不同类型(冬型、半冬型和春型)品种发育期动态、叶龄动态、器官形成动态、光合生产和产量形成模拟模型,以及主要天气因子数据生成模型。考虑了光合作用、呼吸消耗和同化物在各器官中的分配等生理过程,同时考虑了温度、日长、CO₂ 的影响,可以模拟小麦的生长发育与产量形成动态。

东北玉米模型^[19, 20]。东北是我国玉米的主要产地,是我国商品粮重要供应基地,因此,玉米模型的研制对制定我国粮食生产政策有重要意义。玉米模型主要由逐日发育子模式、水分径流子模式、土壤水分子模式、氮素胁迫子模式等构成。整个模型以 WINDOWS 为开发平台,利用 VB、FORTRAN 语言混合编程,研制气候异常对东北玉米生产影响模型评估软件系统。系统界面友好,操作简便,可视化程度高。该系统由数据管理、生长模拟(单站、区域)、结果分析、系统说明和帮助等 5 个功能模块组成。数据管理模块主要管理历史和实时气象资料及作物资料,并且通过随机天气模式,生成作物模式需要的逐日天气资料;生长模拟模块可根据数据管理模块提供的气象资料或短期气候预测结果,动态模拟玉米生长发育的全过程;结果分析模块能够形象直观地以多种图表方式显示根、茎、叶、穗等器官生物量的变化和最终产量,也可依据作物历史观测资料验证模拟效果;系统说明模块向用户提供必要的说明信息。目前可根据输入的历史、实时气象资料或短期气候预测结果,动态模拟并形象直观显示整个生长过程和生物量数值。

新疆棉花模型^[21]。新疆已成为我国举足轻重的主产棉区,1998 年皮棉总产已达 140 万吨,占全国总产的 31.1%。而气候变异对新疆棉花有很大的影响,不同区域年际变异与棉花的反应不同。1996 年是新疆的减产年,与 1995 年相比全区单产降低 12%,其中南疆西部因 5~8 月同期各地月均气温较上年低 0.8~2.7℃,生长季日照又明显减少,周边地区减产明显,其中阿克苏和阿瓦提减产幅度达 35%;南疆东部的库尔勒则因降温幅度不大,日照增加较多而产量略高于上年;北疆主要生长季温度降低不多,日照时数略增,单产也略有增加。因此,评估气候变异对新疆棉花生产的影响不能以整个大区为单位进行,但划分过细(如以县域为单位)则工作量大且无足够的气候数据来源保障。用模型评估作物生产需要有气候数据和土壤等条件的输入,而又不能用一个点的数据代表整个区域的数据。为便于评估和进行模型参数区域化,需将新疆棉花生产区分为若干个分区。本研究即是要解决以点为代表进行模拟评估进而推演到分区域和大区域评估并可在系统中分区显示的问题。棉花生产评估显示的思路是将各区根据代表点或区域化了的土壤、作物、管理措施的数值和各点的拟评估年份或气候情景的气候数据读入模型中,通过棉花模型模拟各代表点的棉花单位面积产量和发育状态,再转换成区域平均单产。根据估测面积,可计算出各区域的总产量和全区的总产量。将各区域结果存成数据库格式和文本格式文件,便于调取和显示。对各区的评估结果设计了两种显示方法:一是用地理信息系统 Arcview 显示。先在 Arcview 支持下将新疆县域地图按前述分区分成 6 组(含无棉区),编上分区码,做成显示底图备用;要显示分区结果时起动 Arcview,将有分区码的分区结果数据库文件与分区显示底图链接,即可方便地显示区域结果。这样可方便地改变图例和制作图版,显示效果好,但需要 GIS 工具软件支持。二是用 VB 编程显示。先