

1992 1

ATMOSPHERIC SCIENCE RESEARCH AND APPLICATION

大气科学研究与应用

上海市气象科学研究所编辑

气象出版社出版

大气科学研究与应用

(二)

目 录

评 述

农业气象科学的现状与展望	王馥棠 (1)
区域气候变化数值模拟的进展	戴晓苏 丁一汇 (7)

论 文

黑潮区海温与上海夏季降水	蒋乐贻 陈其欢 秦曾灏 (16)
上海年降水量变化特征及其气候预报	卢文芳 (23)
有限域套网格业务数值模式的地形试验	杨美川 (32)
厄尔尼诺与副热带高压年际变化	包澄澜 向元珍 (38)
长江中下游夏季典型旱涝期辐射特征的个例分析	陈星 朱超群 高国栋 (45)
夜间城市边界层辐射雾发展规律的数值模拟	孙旭东 (54)
多元统计分析在浙江农业气候资源分析中的应用	顾骏强 滕中林 (61)
TIROS-N/NOAA 极轨卫星云图的投影坐标转换方法	孙松青 (69)

技术报告

不连续作物群体中光能分布模型的应用	杨星卫 薛正平 (76)
秋季低温对东北区粮食生产的影响及低温发生规律的研究	潘华盛 徐爱华 (82)
上海地区热带气旋倒槽暴雨的分析和短时预报	邓之瀛 (87)
东海沿海大风短期预报业务系统	朱正心 顾雅敏 (94)
1991 年西北太平洋热带气旋综述	陈企岗 吴天泉 邱君瑞 (100)

短 论

影响上海春豇豆丰歉的三个关键期	杨秋珍 (111)
与引导气流准正交的热带气旋路经统计预报方案	钟 元 金一鸣 李汉惠 (115)
厄尔尼诺与湖南洞庭湖地区降水异常的关系	段德寅 (118)
唐山市一次局地强风暴灾害浅析	颜木荣 (123)

《大气科学研究与应用》首届编审委员会名单

主 编: 秦曾灏 副 主 编: 朱永提 徐一鸣

委 员 (以姓氏笔划为序)

王达文	王全发	王善型	王馥棠	叶榕生	朱永提
朱盛明	严济远	林元弼	周曾奎	费 亮	胡伯威
徐一鸣	徐国昌	徐裕华	栾宝储	唐新章	奚熙贤
秦曾灏	黄 炎	黄福钧	鹿世瑾	曹钢锋	游景炎
潘云仙	潘根发	滕中林			

Atmospheric Science Research and Application

(II)

Contents

Reviews

The Status and Prospect of Agrometeorological Science	Wang Futang (1)
Advance in Numerical Simulation of Regional Climate Change	Dai Xiaosu and Ding Yihui (7)

Articles

Sea Temperature of The Kuroshio Current Region and Its Relation to Summer Precipitation in Shanghai	Jiang Leyi, Chen Qihuan and Qin Zenghao (16)
Characteristics of Shanghai Annual Precipitation Sequence and Its Climatic Forecast	Lu Wenfang (23)
Numerical Tests of Topographic Effect on Short—Range Operational Prediction by Using A Limited—Area Nested Grid Model	Yang Meichuan (32)
El Nino Event and Interannual Change of Subtropical High	Bao Chenglan and Xiang Yuanzhen (38)
The Case Analysis for Radiation Features of Typical Summer Drought and Excessive Rain Period in The Middle and Lower Reaches of the Yangtse River	Chen Xing, Zhu Chaoqun and Gao Guodong (45)
Numerical Simulation of Noctural PBL Radiation Fog in Urban Region	Sun Xudong (54)
An Application of Multivariate Statistical Analysis in The Assessment of Agroclimatic Resources in Zhejiang Province	Gu Junqiang and Teng Zhonglin (61)
The Navigation and Remapping of TIROS—N/NOAA Satellite Image Data	Sun Songqing (69)

Technical Reports

An Application of Light Energy Distribution Model for Noncontinual Crop Colony	Yang Xinwei and Xu Zengping (76)
The Effects of Autumn Low Temperature on Grain Yields in Northeastern China and Studies on Its Occurrence Laws	Pan Huasheng and Xu Aihua (82)
The Analysis and Nowcasting of Convective Heavy Rains Induced by Tropical Cyclone Inverted Troughs in Shanghai Region	Deng Zhiyun (87)
A Short—Range Operational Forecast System for Strong Winds along the Coastal area of East China Sea	Zhu Zengxin and Gu Yaming (94)
Review on Tropical Cyclone over The Northwest Pacific Ocean in 1991	Chen Qinggang, Wu Tianguan and Qiu Junrui (100)

Short Contributions

Three Key Weather Periods of Influencing String Bean Growing in Shanghai	Yang Qiuzheng (111)
A Statistical Forecast Schem for Typhoon Track Quasi—Normal to The Steering Flow	Zhong Yuan, Jin Yiming and Li Hanhui (115)
The Relationship between El Nino and Abnormal Precipitation in Dongting Lake Area	Duan Deyin (118)
A Disaster Analysis of A Local Severe Storm in Tangshan Region	Yan Murong (123)

农业气象科学的现状与展望*

王馥棠

(中国气象科学研究院农业气象中心 北京 100081)

提 要

本文简要地回顾了近半个世纪以来农业气象科学的发展历程,在评述农业气象科学5个主要领域发展现状的基础上,展现了其在近期内的可能发展趋势。最后,还提出了若干建议,供讨论参考。

关键词 农业气象模拟 遥感 气候变化 土壤—植物—大气系统 冠层微气候。

一、引 言

农业气象学是农业科学与气象科学相互渗透的一门边缘学科。它的形成与发展是与农业生产的发展密切相关的。它既要研究农业生产与气象环境之间的相互关系,更要不断地解决不利于农业生产发展的各种问题,以求农业生产能高产稳产和优质高效益。因此,它是气象科学为农业服务的一个重要领域,也是应用气象学的一个重要分支学科。

回顾半个世纪以来农业气象科学的兴衰历程,不难发现,无论在国内还是在海外,无不与人类的社会生产活动以及抗御自然灾害的斗争息息相关。50年代至60年代初,为了迅速医治第二次世界大战的创伤,恢复农业生产,农业气象科学在如何合理利用、规划和开发农业气候资源,进行农业气候区划方面,包括大量的气候的农业鉴定和农业的气候鉴定,取得了重大的发展。60年代至70年代,为了与世界性粮食危机的时起时伏作斗争,专家们又在建立粮食生产的监测、预测和警报体系上作了大量的努力,深入地研究了作物产量形成与气象条件间的定量关系,相应地从静态统计到动态模拟建立了大量的气象—产量模式,并开展试报应用和业务服务。进入70年代中后期,计算机和卫星遥感技术的引进与开发,更为农业生产的大面积和实时动态的监测和预报作出了重大贡献,开创了农业气象科学的新纪元;促使农业气象科学进入现代化的发展新阶段,融汇于世界科技发展的总潮流。特别是自80年代起,各种排放污染大气、影响气候和危害人类自身生存生态环境的问题已变得日益严重,客观上促进了农业气象科学向纵深发展,促使了于60年代起步的农业气象动力生长模拟趋于成熟,转向实际应用;各国

*本文1991年9月14日收到,11月30日收到修改稿。

科学家均大力从事各种能与气候模拟模式相嵌套联接的作物生长模式的研制, 藉以评估人类排放污染活动所能造成的严重后果, 为制定保护大气、保护环境的对策措施提供科学依据。

二、现状与展望

综上所述, 当前农业气象科学正处于一个新的发展阶段。它日趋成熟, 正融汇于世界现代科技之林, 显示出强大的生命力。其主要特点可简要归纳如下:

1. 以作物生长模拟为核心的农业气象模拟及其应用模式的研究

这项研究是近年来最富有活力、进展最为明显和最具有应用前景的一个领域。以生长模式为例, 目前在世界上已有的上百个生长模式中, 既有比较经典的、基础过程十分明确的荷兰 ELCROS 型模式; 又有应用性好, 并已计算机软件化的美国 IBSNAT—CERES 型模式; 还有比较经验和简化的日本模式 (如崛江武氏模式) 等。另外, 苏联正在将主要作物的统计—动态模式 (Полевой、Сиротенко 等) 投入产量预报业务使用, 旨在进一步提高预报的准确率 (目前已达 90%)。这些模式繁简不同, 但其基本思路都是利用作物的基本生物学观测资料、农业气象观测资料以及平行观测的气象资料, 用数学函数描述与模拟作物的主要生理生长过程, 包括光合同化、呼吸消耗、蒸腾耗水、叶面积动态变化以及以物质和能量守恒原理为基础的光合产物的分配、传输和转移, 直至最终干物质和籽粒产量的形成和积累过程等, 经计算机模拟调试参数后, 构造成比较完整的生长模式。目前, 这类模拟模式所涉及的作物品种, 已包括小麦、玉米、水稻、大豆、花生和棉花以及部分蔬菜作物等等; 时间步长大小不一, 试用空间开始扩大; 参与的因子除温度、降水和辐射等气象因子和地理经纬度外, 还有作物品种特性、土壤特征和农技措施 (以灌溉和施肥为主) 等因子^[1-5]。

由此可预见, 其近期的发展趋势是简化模式和计算, 加快推广试验步伐, 拓宽应用领域, 以发挥更大的社会和经济效益。为此,

(1) 要进一步简化各种繁复的生长模拟和计算步骤、过程, 在部分模式模式中, 适当采用经验统计处理, 求取参数和系数; 放大模式的时空尺度 (时间步长将由小时或日加大至候或旬, 适用空间也要逐步扩大), 以利于与广大气象台站的观测资料相结合, 完成并推广产量预报新一代的统计—动力 (态) 预测模式, 发挥其机理明确、普适性好的特点, 进一步改进和提高现已投入产量预报业务的各种统计模式的预测效果, 加快产量预报由点到面的转换过程。

(2) 大力研制与发展与 GCM 模式相嵌套联接的技术, 并使之软件化, 以期在评估当前污染物的排放及其相应的气候变化对农业生产可能影响的研究中发挥应有的作用。

(3) 充分利用计算机模拟的动态过程分析和动力学分析, 为农业生产的管理决策提供及时的情报和预报信息服务, 包括为大尺度高层次的宏观 (战略) 决策 (诸如规划、改制等) 以及中小尺度的农场农户的田间管理和调控农技措施 (诸如选择最佳播种期和收割期, 制定或调整灌溉和施肥计划, 最佳施肥时间和农药喷撒时间的选定等) 提供科学依据, 在某种程度上开始“计算机模拟科学种田”试验。

2. 卫星遥感和计算机技术的引进与开发

卫星遥感和计算机技术的引进与开发不仅大大地改进了农业气象的动态监测手段和分析方法, 发展了新的农业产量预测估产模式和方法, 更使农业气象科学的面貌大为改观, 变得更加朝气蓬勃, 更富有生命力, 一跃跻身于世界先进科学行列, 进入科技现代化的新阶段, 它是近年来农业气象科学的另一个重大发展。70年代后期以来, 美国连续实施了两个规模宏大的世界性研究计划: “大面积作物调查试验”(简称 LACIE 计划) 和“空间遥感监测农业资源”(简称 AgRISTARS 计划), 不仅开创了农业生产卫星遥感动态监测、分析和估产的新纪元, 还展现了动态监测各种自然(农业)灾害, 诸如病虫害、霜冻和冻害、森林火灾、洪涝和干旱等等的可能性和潜在效益。近年来, 气象卫星遥感动态监测和综合估产方法的研究和开发应用, 发挥了气象卫星遥感信息时间分辨率高、空间覆盖面广和资料易于获取等优点, 必将进一步推动气象部门利用实时资料估测大面积(不受国界限制)作物生长和产量形成趋势途径的发展, 进而有助于逐步建立全球粮食生产的实时动态监测和早期警报预报系统^[1, 6, 7]。

不难预料, 其发展趋势将是:

(1) 加强遥感监测的基础理论研究, 为遥感信息的加工处理和反演解释提供坚实的科学基础, 包括地物辐射和反射波谱特性、其时空变化特性及偏振特性等。

(2) 以空间遥感为主, 大力开展遥感估产的技术原理和测算方法的研究。包括有各种估产模式—光谱植被指数的研究、地面监测信息的匹配与综合应用、绿度数字图像的解釋技术、卫星遥感信息的各种校正(如大气校正、几何校正等)和加工处理技术、作物识别和长势监测以及如何与气象模式相结合的综合估产方法等等。

(3) 鉴于气象卫星与陆地卫星相比, 具有探测周期短、覆盖面积大、资料实时性强、经济和易于获取, 能捕获可用于监测作物和估产的光谱信息, 且其分辨率可以满足大面积估产的需要等优点, 故其遥感监测和估产技术将会有更快的发展, 并优先投入业务应用。估产的作物种类将由目前的以冬小麦为主扩展为包括水稻、玉米、大豆以及牧草等更多的作物。

(4) 此外, 在与农业生产密切相关的气象、农业气象条件以及灾害的宏观动态监测技术和应用服务, 如地温、土壤湿度、洪涝、干旱、霜冻、森林火灾和大面积病虫害等, 也将有进一步的开拓与发展, 从而为减灾十年计划发挥重要的作用。

3. 气候变化对农业和生态环境影响的研究

这是当前尤为引人注目的、且意义深远的—个新兴研究领域。因为人类活动产生的微量气体将引起明显的气候变化, 进而对整个社会、经济、农业和生态环境产生严重的影响和后果。研究表明, 人类活动将使大气中的温室气体浓度显著增加, 这将导致全球气候变暖。虽然, 其对农业和生态环境的影响有有利的一面, 也有不利的一面, 但不利的影响将是严重的, 甚至超过有利的影响; 尤其是对一些气候影响敏感的地区(如旱涝频发地区和水资源短缺地区等), 现有的生态环境、动植物群落、农业布局与耕作系统均有可能因来不及适应这种气候变化而受到严重的干扰和破坏, 其后果更令

人不安⁽⁵⁾***。

从目前的研究态势和人们的严重关注来看,其发展趋势将是:

(1) 全面深入地研究各种温室气体(尤以二氧化碳、甲烷、氯氟烃、臭氧和一氧化二氮为主)对农业和生态环境的各个方面的影响,包括直接影响和间接影响;当前更着重于研究气候变暖将引起的多方面的影响及其影响机理。

(2) 研制以作物生长模拟模式为主的多种影响评估模式,包括能同时评估直接影响和间接影响的综合评估模式,通过与 GCM 气候模式(细网格)相嵌套,用以定量模拟和评估气候变化对农业和生态环境的综合影响和相应的经济损益,为保护大气—生态环境不进一步恶化,制定相应的调控措施和保护公约提供客观的科学依据。

(3) 研究其它排放气体对农业和生态环境的影响及其影响机理。

(4) 在科学评估分析的基础上,研究制定大气和环境保护对策和调控措施以及所需的相应投入。

4. 土壤—植被—大气系统(简称 SPAS)的研究

这项研究也取得了比较明显的进展,主要表现为冠层微气候的模拟研究和设施环境的自动测量、控制和反馈调节技术的实施。后者的重要基础是 SPAS 系统的模式化(缩写为 SPAM)、计算机及相应的专家系统;而作物生长模拟、冠层微气候模拟、土壤的生化—物理过程以及大气和土壤的边界层湍流过程等构成了 SPAM 的核心^(8,9)。

其发展趋势将是:

(1) 进一步开展 SPAS 系统的微气候模拟研究,逐步完善高阶闭合模型的新构思及其理论基础。

(2) 研制各种应用专家系统,对设施环境进行实时控制和管理,包括对病虫害发生蔓延的诊断及相应农技措施(喷药、施肥、喷灌等)的调节。

(3) 逐步发展植物工厂化生产的可控环境工程技术。

5. 农业气候资源的开发利用等方面的进展

此外,在农业气候资源的开发利用(尤其是以区域农业气候资源的开发利用、气候生产潜力的动态估测与最佳利用和山区气候资源的合理开发为主),监测仪器的改进更新(包括观测站网分布的改进与完善)以及多种微机应用服务系统的开发和研制(以畜牧气象和病虫害气象服务为主)等方面也都有不少的进展。最大的特点是:它们均直接面向农业生产,为第一线生产者的决策服务,因此社会和经济效益是十分明显的。显然,这类研究,尤其是各种微机应用服务系统必将获得进一步的改进和发展^(10, 11)。

三、讨 论

虽然我国的农业气象科学具有自己的特色,且进展较快,但与上述世界先进水平相比,仍有不小的差距。除个别领域已接近或达到先进水平外,总体上估计仍相差近 10

*IPCC 第 II 工作组为政府间气候变化专门委员会准备的报告,气候变化的可能影响, WMO/UNEP, 1990。

**中国科学技术协会,气候变化与环境问题全国学术讨论会论文汇编,北京,1991。

—20年。其部分原因是限于我国的科技和工业水平,而在不少研究领域内我国起步较晚,缺乏基础、经验和国力不能不说也是重要原因之一。

鉴此,可大致构想如下,抛砖引玉供讨论。

1. 加强农业气象模拟与模式的研究与简化

这不仅是由于它能改进和提高现已投入产量预报业务使用的各种数理统计模式的应用效果,研制新一代的实时统计—动力(态)模式,实现产量预报模式的更新换代。更重要的是,以生长模拟为主的动力(态)模式研究是整个农业气象科学发展的关键、核心和基础。事实是,几乎各领域的进展都离不开模式的应用与参与。考虑到我国当前的科技发展水平与国力,尤应以简化模式的研究与应用为主。实际上,这一研究也是目前农业气象这一边缘学科的前沿性研究与应用开拓领域,是世界农业气象研究的众矢之的。

2. 进一步开发和应用卫星遥感和计算机技术

研究和发晨气象卫星遥感的实时动态监测技术和作物估产方法,扩增新的监测对象和估产品种,逐步建立与完善我国粮食生产的卫星遥感实时动态监测、估产和早期警报预报系统,宏观动态监测各种灾情及其对资源利用的影响。它不仅可以保障我国农业生产的稳步增长,为防灾决策、救灾抗灾提供重要的实时信息,还可推动我国农业气象科学的现代化进程。

3. 客观和正确地评估人类活动的排放气体对我国农业生产和生态环境的影响

它是当前迫切需要解决的一个意义深远和影响重大的问题。我国在这方面的研究起步已晚,因此加强和促进各种评估模式的研究,开展相应的影响评估和适应性对策研究(调整耕作制度和农技措施等)是当前摆在我国农业气象科学面前的一个涉及国计民生的重大研究课题。

4. 完善农业气象情报和产量预报业务系统

结合我国的国情和实际,现已初具规模的农业气象情报和产量预报业务系统应进一步改进、充实和完善,逐步使之软件化、规范化、网络化和现代化,具有自身不断更新的能力。此外,农业气候资源的进一步开发利用和保护问题对我国来说是一个具有特殊意义的重要任务,必须继续不懈的努力,研制与开发各种可利用的途径和技术(包括各种农业气象应用技术),以充分合理的开发和利用我国丰富多样的农业气候资源,提高资源的利用效率。

5. 加强基础理论研究和常规监测仪器的更新研制

限于我国的工业、科技文化水平和国力,虽然在设施环境的自控管理技术、植物工厂化生产技术和环境调控工程方面还无法加快步伐,缩小与世界先进水平的差距,但其基本系统—土壤—冠层植被—大气系统微气候模拟的基础理论研究以及常规监测仪器的更新研制,仍应给以必要的支持和重视。

6. 加强国际交流与合作

国内外的大量农业气象科学发展事例充分说明,广泛开展国际交流与合作具有十分重要的意义。它不但可以引进和借鉴国外的最新成果和经验,促进我国农业气象科学的发展,缩小与世界先进水平的差距,还可以使我国农业气象科学发挥更大的社会和经济

效益, 为人类社会的发展作出应有的贡献。*

参 考 文 献

- [1] 王馥棠等, 农业产量气象模拟与模型引论, 科学出版社, 1990。
- [2] Penning de Vries 等 (王馥棠等译), 植物生长与作物生产的模拟, 科学出版社, 1988。
- [3] Keulen, H. van, et al. (eds.), Modelling of agricultural production: weather, soil and crops, Pudoc, Netherlands, 1986。
- [4] Сиротенко О. Д. (裘碧梧译), 农业生态系统的水—热状况和产量的数学模拟, 气象出版社, 1985。
- [5] 气候异常对农业影响的试验研究课题组, 中国气候变化对农业影响的试验与研究, 气象出版社, 1991。
- [6] 程纯枢主编, 中国的气候与农业, 气象出版社, 1991。
- [7] 张宏铭等, 农作物遥感监测与估产, 北京农业大学出版社, 1989。
- [8] Wilson N.R. and R.H. Shaw, A higher order closure model for canopy flow, *J. Appl. Meteor.* 16, 12, 1197—1205, 1977。
- [9] 王修兰, 设施环境的自动测量控制和管理的新进展, 国外农学: 农业气象, 2, 1—2, 3, 1—4, 1989。
- [10] 李世奎等, 中国农业气候资源和农业气候区划, 科学出版社, 1988。
- [11] 亚热带东部丘陵山区农业气候资源及其合理利用研究课题协作组, 中国亚热带东部丘陵山区农业气候资源研究, 科学出版社, 1989。

THE STATUS AND PROSPECT OF AGROMETEOROLOGICAL SCIENCE

Wang Futang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

In this paper, the historical development of agricultural meteorology in the past half century is briefly reviewed. It is found that there is a close relationship between the development of agrometeorology and the man's productive activities as well as struggle against the natural disaster. Then the possible development of agrometeorological science in the near future is also shown on the basis of analysis for the current status of its five major aspects. Finally, the several suggestions are presented for discussion.

*National Progress Reports in Agricultural Meteorology, (Vol.1) (1987—1990), WMO Secretariat, 1991。

区域气候变化数值模拟的进展*

戴晓苏

丁一汇

(中国科学院生态环境研究中心 北京 100081) (中国气象科学研究院 北京 100081)

提 要

区域气候变化的数值模拟是目前气候模拟的一个重要问题。根据这种模拟可以预测未来区域气候变化的状况,尤其是人类活动(如 CO_2 浓度增加)对气候变化的影响。区域气候变化模拟主要使用两种方法:一是有限区域中尺度模式与全球模式嵌套;二是用缩小水平网格距并改变其物理过程的全球模式研究特定区域的气候变化。本文评述了目前模拟区域性气候变化的这两种方法和模拟结果,并初步分析了造成区域气候模拟的不确定性的原因。

关键词 区域气候模式 气候变化 二氧化碳浓度 数值模拟

一、 引 言

地球气候是指包括大气、海洋、低温层(海冰、雪被等)、岩石圈和生物圈在内的整个气候系统物理状态的统计集合。它是一个动力系统,受所有时间尺度(数年至数千年)的自然变化的制约和人类活动的影响^[1]。

当前,引起全世界广泛关注的问题是,由于人类活动引起的大气中各种温室气体(以 CO_2 为代表,其它诸如 CH_4 、 O_3 、 CFC_s 、 N_2O 等)浓度的稳定增长,正在影响全球气候,从而将对农业、生态系统、社会经济等各个方面产生影响^[2-4]。由于 CO_2 浓度增加所引起的全球性增暖是显著的,因此,预测 CO_2 可能引起的气候变化以及这种变化对人类活动范围所产生的潜在影响是相当重要的^[5]。

研究温室气体气候效应的主要结果目前是利用全球三维海洋和大气环流模式对 CO_2 浓度加倍引起的平衡气候变化进行计算机模拟取得的^[6-10]。自从Phillips创立世界上第一个大气环流模式(GCM)30多年以来,GCM已有了很大的改进。现在利用GCM进行数值模拟已经成为研究气候变化的一种重要手段。

目前,应用GCM来估算气候对大气 CO_2 浓度加倍的敏感性的各种平衡模拟在趋势上是一致的,全球年平均地面气温将增加2.8—5.2 K,相应的降水变化为 $1 \times \text{CO}_2$ 时

*本文1991年10月9日收到,11月30日收到修改稿。

的7.1—15%^[11]。可是, 尽管在预报全球年平均气候变化时, 各种模式的结果比较一致, 为气候影响和政策分析的探索性研究提供了一定的科学依据, 但对区域性气候变化的预报结果并不十分理想, 对于较小的区域尺度, 用各种计算机模式预测的温度和降水的变化范围要大得多^[12]。然而, 由于气候变化的影响主要是出现在一种特定的技术、社会组织或生物物理环境中, 例如气候变化对农业、森林和水资源的影响, 所有这些都具有地区性的特征^[13], 因而了解区域尺度的气候变化是非常重要的。

在当前 GCM 的发展水平下, 仅仅能提供有关区域气候变化预测的有限资料。这部分是由于模式物理学的缺陷, 特别是对海洋、云和地面水文学的表征; 部分则是由于较低的水平分辨率(500 km 或更大)滤去了地面边界条件中重要的空间不连续特征, 因而描述海岸和地形影响以及较小尺度的气象事件, 例如对热带气旋等的描述并不合理^[14]。所以, 为了得到可靠的未来区域性气候条件的预测, 一方面, 必须进一步改进 GCM, 以便更好地反映决定区域气候变化的物理机制, 特别是试图克服相当低的水平分辨率所造成的限制; 另一方面, 则是应用耦合 GCM 的中尺度数值模拟方法来模拟区域气候, 即把一高分辨率的有限区域模式嵌套在一低分辨率的全球 GCM 中, 从而得到感兴趣地区的区域气候变化的详细特征。

本文在近年来国内外工作的基础上, 对模拟区域性气候变化的方法和模拟结果进行了综述, 并简述了造成模式模拟不确定性的原因。

二、 模拟区域气候变化的方法及模拟结果

1. 应用 GCM 预报区域性气候变化

Karl 等^[15]在如何把 GCM 的模拟气候和观测的当地气候联系起来的研究中指出: 10 年 GCM 控制试验输出和地面观测之间的差异通常小于两个 10 年观测之间的差异。这表明 GCM 结果可能已包含了能够用来推断当地气候的气候学信息。Pittock 提出了一种预测澳大利亚区域性气候变化的方法^[14], 即通过比较现有各种 GCM 对澳大利亚地区模拟结果, 选择一种最适合该地区的模式来模拟澳大利亚地区的气候变化。并且他进一步指出: 尽管利用 GCM 进行计算机模拟已取得重大进展, 但是它们所作的气候变化预测, 特别是区域尺度上的气候变化预测仍然不太可靠, 所以, 应该利用古气候类比和历史气候资料等各种证据去补充和检验 GCM 结果。

为了了解现有 GCM 对当前区域气候进行模拟的能力, Grotch 和 MacCracken^[16]应用四个主要特征十分类似的 GCM, 即 CCM、GFDL、GISS 和 OSU 模式, 对 12—2 月 (DJF) 和 6—8 月 (JJA) 两个季节的地面气温和降水在不同区域尺度上的分布和变化进行了模拟, 并与观测资料进行了比较。他们的研究表明: 尽管从全球来说, 所有的 GCM 都显示出类似的变化, 即所有模式都能合理地模拟出全球大气环流型式、经向和季节的温度变化、纬向降水分布、副热带沙漠地区的干燥条件、季节尺度的温度周期变化、极地的冰雪覆盖等一般气候特征, 但是随着区域尺度的变小, 模式模拟的控制气候的地面气温和降水分布与观测值之间的差异增大。例如, 全球的平均地面气温的网格点差异(模拟值与观测值之差的绝对值)在两个季节平均小于 0.9 K; 如果仅考虑

陆地网格点, 则此差异在 DJF 增为 3.1—5.9 K, 在 JJA 为 2.3—5.1 K; 如果只考虑整个美国的网格点, 则此差异在 DJF 为 2.3—4.5 K, 在 JJA 为 4.1—8.4 K。此外, 对于降水也可得到类似的结果。

Grotch 和 MacCracken 还模拟了 CO_2 倍增条件下不同区域尺度的地面气温和降水的变化。为了检验 CO_2 倍增对地面温度的影响 (ΔT) 在区域范围的影响, 他们在北半球 7 个逐个缩小的区域上比较了模式对季节平均的 ΔT 所得的结果。所考虑的 7 个地区是: (1) 北半球 (1584 个网格点); (2) 北半球陆地 (625 个网格点); (3) 北美洲 (188 个网格点); (4) 美国 (48 个网格点); (5) 美国中部 (15 个网格点); (6) 美国东部 (14 个网格点); (7) 美国西部 (11 个网格点)。研究结果指出: 虽然在最大的区域范围内, 各种模拟的 ΔT 分布存在相当大的重迭部分, 但是在美国的范围内, CCM 和 GFDL 模式预报的 ΔT 值完全不存在重迭, 在美国中部、东部和西部三个地区的一致性则变得更差, 四个模式中的两个模式与其他两个模式的 ΔT 预报值不存在重迭 (详见文献 [16] 中的图 13 和 14)。他们还给出了四个 GCM 在全球、北半球、美国、西欧和非洲等五个地理区域的预报年降水百分比变化的分布。从全球来说, 所有的 GCM 都显示出类似的变化, 每个模式中 75% 以上的网格点都显示出降水的正变化, 变化范围为 11—18%; 当区域减小时, 各模式计算结果的差异通常变得明显, 例如, 在非洲百分比增加范围为 7—22%, 在西欧则为 8—33%。此外, 在所有模式中, 降水年变化最大的区域间只是大致相符, 通常赤道和高纬度带的最大降水是增加的; 而在特定的次大陆地区, 模式之间的一致性变得更差, 例如, CCM 模式显示出从得克萨斯到诺瓦斯科夏有一条横穿美国的很宽的最大降水增加带, OSU 模式也显示出这种类似的带, 但却移到美国东海岸东部, 而 GFDL 和 GISS 模式却均未显示出这样的降水带 (详见文献 [16] 中的图 17 和 18)。

显然, 上述 Grotch 和 MacCracken 的研究既可作为我们考虑 GCM 在区域气候模拟中应用可能性的基础, 也可作为在哪些领域需要作进一步改进的依据。

发展高分辨率的 GCM 可能是改进模式模拟区域气候能力的一种途径。但是, Dickinson 等^[17]指出: 为了更真实地进行未来气候的区域性预测, 可能需要把目前 GCM 的水平分辨率增加 10 倍或更多倍。如果不提高数值计算的效率, 这样的分辨率至少需要增加 1000 倍的计算机资源。预计在 20 年以后应用新的计算机技术才可能达到, 或者通过在未来几年内在几种巨型计算机上应用平行运算方法来达到上述所需的计算能力。目前的计算机容量和运行速度则在很大程度上限制了这种高分辨率 GCM 的发展。

另一个改进模拟区域气候能力的途径是更准确地处理一些关键性的重要气候过程, 特别是云、海平面温度和陆面水文学过程的参数化方案。Gutowski 等^[18]指出: 较大空间尺度 (如全球) 上的模式差异具有控制较小空间尺度 (如区域) 上的模式差异的倾向。所以, 如果不减小较大尺度上的差异 (这些差异通常是由模式物理学方面的缺陷所造成的), 那么水平分辨率的增加并不能改进区域尺度的气候模式模拟的一致性。因此, 改进区域尺度模拟的努力首先应该集中在全球尺度的模拟上。

综上所述, 全球 GCM 能够在一定程度上模拟区域气候, 但通常与实际相差较大;

而当前的计算机资源又限制了高分辨率的全球 GCM 的发展。因此, 目前所寻找的另一种模拟区域气候的方法是耦合 GCM 的区域气候模式, 即所谓的嵌套模式。

2. 区域气候模式

考虑到计算机资源的限制, 提高气候模式分辨率的一种方法是只在比全球小几个数量级的区域内增加分辨率。这是通过把一个高分辨率的区域气候模式嵌套在 GCM 中来的完成的, GCM 的输出提供了该模式启动所需的边界条件。当应用区域模式进行气候模拟时, 不需要模式准确地预报个别天气事件, 而主要要求模式在许多天气事件的集合上产生正确的气候变量分布。

Dickinson 等^[17]描述了应用这种方法模拟多山的美国西部区域的降水气候。首先用 GCM 作全球气候的多年模拟, 根据这一模拟, 选择一个有代表性的天气型集合来用于详细的区域模式的模拟, GCM 提供了启动区域模式所必须的初始条件和边界条件。对于典型的天气型, 在区域模式产生的气候变量和有关的 GCM 天气预报因子之间建立统计关系, 然后把这些关系应用于长期的 GCM 模拟来描述区域气候的特性。他们应用了 NCAR 的全球 CCM1 和 PSU/NCAR 的 MM4 模式, 前者为全球气候模式, 水平分辨率为 500 km, 后者为中尺度模式, 水平分辨率为 60 km。CCM1 独自不能研究区域尺度的气候, 因为模式分辨率低以及随之而产生的不实际地形造成模拟气候和观测气候间有许多差异; 而具有更高水平分辨率的 MM4 独自不能确定区域的边界条件。但是通过耦合的方式, 可以把 MM4 作为一个空间内插函数。利用较低分辨率的 CCM1 场, 可以选定一有意义的小范围和较短时段内相应的高分辨率场。对于每一个 CCM1 网格点, 约对应 100 个 MM4 网格点。根据 CCM1 模拟, 可以确定象美国西部这样的任何区域的模式降水和天气型的长期统计量。由 CCM1 事件表示的各种天气系统被用来进行 MM4 模拟, 从而使 MM4 产生的结果和 CCM1 统计量联系起来。因此, 对于各种边界条件, 都能够确定有限区域的长期气候统计量。

他们的研究表明: CCM1 模拟显示了美国西部的许多气候特征, 但也存在一些不实际的方面。选择 5 个出现在美国西部的总持续时间为 20 天的 1 月 CCM1 风暴用于 MM4 模拟, 证明中尺度模式可得到大大改进的冬季降水型式。比较 CCM1 和 MM4 的模拟结果, 可以明显看出地形对美国西部降水空间分布的影响。MM4 不仅能更好地分辨出山脉, 而且能模拟出山脉的降雨屏障效应。

研究还指出: 根据 MM4 模拟, 可以估算实际的平均降水分布, 即

$$\overline{M} = \overline{CM} / C$$

其中, $\overline{M}$ 为 MM4 模拟的一月平均降水的估算值, $\overline{C}$ 为根据三年 CCM1 模拟计算并内插到 MM4 网格上的一月平均 CCM1 降水, M 为 MM4 模拟产生的 20 天平均降水, C 为同一时期内 CCM1 的结果内插到 MM4 网格上的平均降水。下面, 图 1—3 分别给出美国西部 1 月平均降水的观测值和模拟值。在图 1 中, 观测值显示出地形对美国西部降水的强烈影响。最大降水在加利福尼亚、俄勒冈和华盛顿的沿海地区及内华达山脉; 次大值出现在爱达荷、蒙大拿、怀俄明和科罗拉多的落基山脉; 干燥区包括内华达和加利

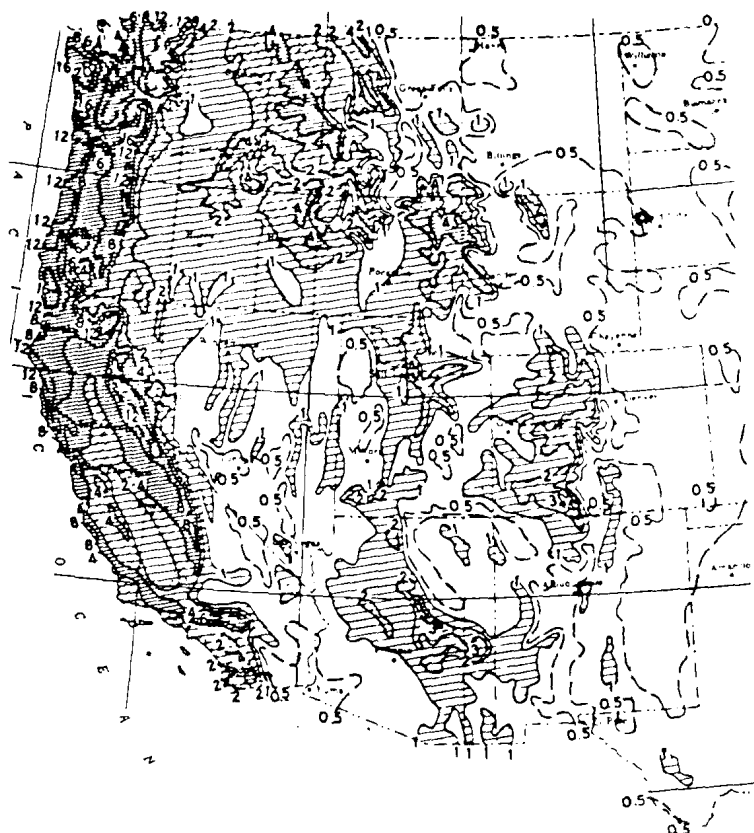


图 1 美国西部 1 月平均降水的观测值 (单位: 英寸*)

福尼亚南部的部分沙漠地区及大平原的大部分地区。从图 2 中可以看到: CCM1 的低分辨率不能模拟出观测值的大部分细节。在图 3 中, MM4 给出了更实际的降水气候分布, 它与观测值非常相符。极大值在加利福尼亚、俄勒冈和华盛顿州的沿海地区, 次大值在爱达荷、蒙大拿和科罗拉多的落基山脉。区域东南角的高值和那里不真实的 CCM1 的高降水相一致。在大盆地的大部分地区, MM4 降水比 CCM1 降水要小得多。显然, 和单独用全球模式计算结果相比, CCM1—MM4 的耦合系统可以更准确地模拟大盆地和整个西部的降水。

此外, 对于 MM4 的 20 个模拟日, 可以得到 MM4 和 CCM1 日降水之间的回归关系

$$M = 0.35C + 0.04$$

结果表明: 即使利用少量的风暴样本及 CCM1 和 MM4 变量之间的相关, 用耦合系统所得到的降水也比单独用 CCM1 更真实。并且, 这些估算值的可靠性将随着样本的增大而增加。因此, 只要有足够的样本和精确的方法, 利用 CCM1—MM4 的耦合系统就有可能得到比较接近实际的平均降水分布。

*1 英寸 = 2.54 cm

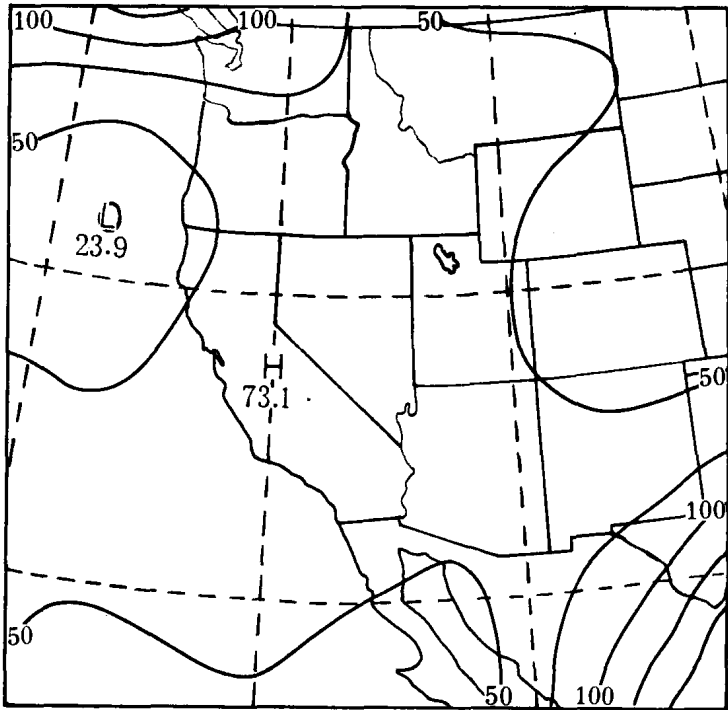


图 2 CCM1 三年模拟的平均 1 月降水 (单位: mm)

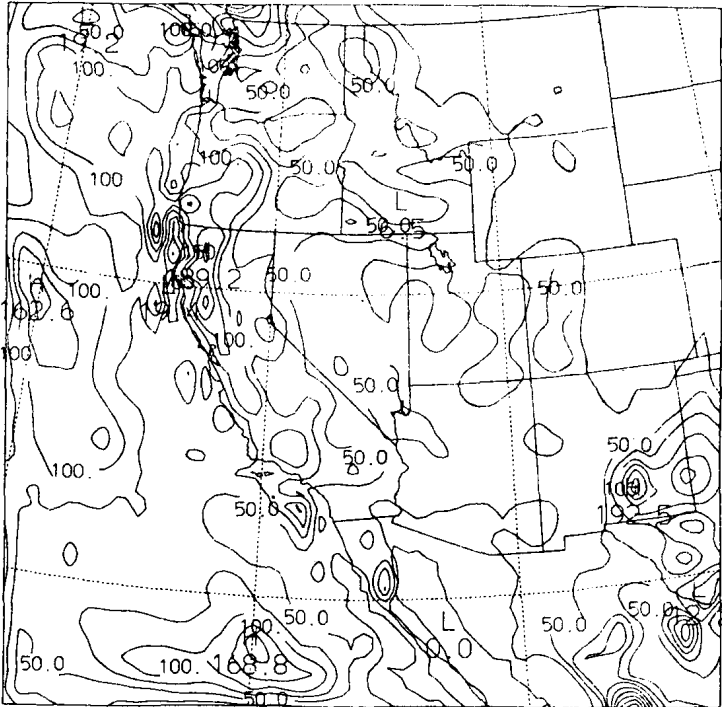


图 3 根据 $\bar{M} = \bar{C}M / C$ 计算的 MM4 平均 1 月降水 (单位: mm)

作为上述模式系统检验分析的一部分, Giorgi 和 Bates^[19] 研究了 PSU/NCAR

MM4 的系统偏差。研究表明: 模式一般能很好地模拟美国西部地形引起的山地强迫降水的大部分区域特征, 但与观测资料相比, 模式往往高估了陆地上的降水量。他们发现, 边界条件对区域内部的解具有强烈的控制作用。因此, 为了得到良好的有限区域模拟气候, 必须应用一系列良好的大尺度气候变量来提供启动所需的边界条件。Anthes 等^[20]用由观测的初始和边界条件启动的许多不同的 MM4 版本研究了美国东部 12 个不同的天气个例。研究结果指出: 虽然对于不同的个例, 模式模拟的差异较大, 但在全体个例的集合上, 模式能够产生相当正确的气候分布。他们得到的另一个重要结果是: 比起初始条件和物理参数化, 边界条件对误差增长起着更大的控制作用。

综上所述, 只要有良好的大尺度分析场或 GCM 提供的边界条件, 用一中尺度气候模式进行区域气候的长期模拟是可行的, 也是比较经济的。

三、 区域气候模式中不确定性的分析

由于区域气候模式可以和 GCM 一起用来估算过去、现在和未来的区域气候特性, 所以区域模式正在得到广泛应用。但是, 区域模式包括物理过程参数化、垂直和水平分辨率、数值技巧(包括边界条件的处理、分析和初始化方案)等许多方面的问题。通常, 有两种原因可以导致模式误差: (1) 模式的数值和物理近似与参数化产生的误差; (2) 模式初始条件和边界条件引起的误差^[20]。即使能够发展出一个完善的模式(即在数值计算或模式物理学中没有误差), 但由于模式初始条件和边界条件的误差, 对任何一个区域模拟仍存在固有的误差使模拟结果含有不确定性。下面, 对这些问题作一些分析。

1、 边界条件引起的不确定性

MM4 是依靠 GCM 的输出来提供所需的边界条件。研究表明: 使用观测边界条件对于 $3600 \times 4800 \text{ km}^2$ 范围内的误差增长起着强烈的控制作用。误差的增长分析表明: 36 小时以后误差几乎不再增长。所以 72 小时的误差几乎和 36 小时的误差一样。在这些时、空尺度上, 边界条件的质量比造成模式误差的其他任何因子(包括初始条件、水平分辨率和物理参数化)更重要, 这一结果说明了应用准确的大尺度分析提供边界条件的重要性。这些结果从理论上表明: 大尺度大气运动对模式中的小尺度特征的演变具有较大的甚至支配性的影响。

2、 初始条件引起的不确定性

如果应用相同的边界条件, 那么初始条件的微小变化在 12—24 小时以后对模拟几乎没有影响。在被检验的所有因子中^[20], 初始条件的小的不确定性或误差在 12 小时以后对模式模拟的影响最小。这一结果表明: 至少在大多数个例中, 模式初始条件中的随机不确定性将不会影响模拟结果。

3、 物理参数化引起的不确定性

如果略去与凝结和降水有关的潜热加热效应以及来自地面的感热和潜热通量, 则会在模式模拟中产生大的偏差, 这证实了这些过程对模拟具有统计意义上的重要影响, 因

此, 模式必须包括这些过程, 另一方面, 检验结果也表明, 物理过程的比较简单的参数化方案与复杂的参数化方案在模拟中平均而言产生的误差相近。这表明: 对于许多研究和业务应用工作, 可以使用较简单的和更经济的物理参数化方案。

四、结 束 语

为了分析和评价未来气候变化所产生的可能影响, 我们既需要模拟全球气候变化, 也需要模拟区域气候变化, 尤其是在评价气候变化对区域性资源例如农业、林业和水资源的影响时, 有关区域气候变化的资料更重要。尽管目前的模式模拟还存在不少问题和不少不确定性, 但是可以预计: 区域模式的应用前景是十分广阔的。在不久的将来, 应用有限区域模式进行区域气候研究可能会越来越受到注意, 它将成为一种进行区域气候模拟的有效工具。

参 考 文 献

- (1) 韩起, 全球气候变化, 气象科技, 5, 39—44, 1990。
- (2) 丁一汇, 气候变化对生态系统和农业的影响, 气象, 5, 3—8, 1989。
- (3) 王绍武, 温室气体增长对气候和社会的影响, 气象科技, 1, 1—6, 1989。
- (4) Potential Impacts of Climate Change, Report from Working Group II to Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1990。
- (5) 赵宗慈, 五个全球大气海洋环流模式模拟二氧化碳增加对气候变化的影响, 大气科学, 1, 118—127, 1990。
- (6) Hansen, J., G.Russel, D.Rind, P.Stone, A.Lacis, S.Lebedeff, R.Ruedy and L.Tyavis, Efficient Three-Dimensional Global Models for Climate Studies: Models I and II, Mon.Wea.Rev., 111, 609—662, 1983。
- (7) Hansen, J., I.Fung, A.Lacis, D.Rind, S.Lebedeff, R.Ruedy, G.Russel and P.Stone, Global Climate Changes as Forecast by Goddard Institute for Space Studies Three-Dimensional Model, J.Geophys.Res., 93, 9341—9364, 1988。
- (8) Kellogg, W.W. and Z.-C. Zhao, Sensitivity of Soil Moisture to Doubling of Carbon Dioxide in Climate Model Experiments. Part I: North America, J.Climate, 1, 348—366, 1988。
- (9) Manabe, S. and R.Wetherald, Large-Scale Changes of Soil Wetness Induced by an Increase in Atmospheric Carbon Dioxide, J.Atmos. Sci., 44, 1211—1236, 1987。
- (10) Wilson, C.A. and J.F.B. Mitchell, A Doubled CO₂ Climate Sensitivity Experiment with a Global Climate Model Including a Simple Ocean, J.Geophys.Res., 92, 13315—13343, 1987。
- (11) Schlesinger, M.E. and Z.-C. Zhao, Seasonal Climatic Changes Induced by Doubled CO₂ as Simulated by the OSU Atmospheric GCM/Mixed-Layer Ocean Model, J.Climate, 2, 459—495, 1989。
- (12) 赵宗慈, 全球三维环流模式模拟短期气候变化的能力, 气象科技, 2, 14—25, 1989。
- (13) Cushman, R.M. and M.P. Farrell, Climate and Regional Resource Analysis: The Effect of Scale on Re-