

《国家重点基础研究发展规划》项目

我国生存环境演变及北方干旱化趋势预测研究(G1999043400)(五)



人类对北方干旱化的有序适应

——观测、虚拟试验和实验研究

董文杰 江 静 等编



气象出版社

《国家重点基础研究发展规划》项目

我国生存环境演变及北方干旱化趋势预测研究(G1999043400)

(五)

人类对北方干旱化的有序适应 ——观测、虚拟试验和实验研究

董文杰 江 静 等编

气象出版社

内容提要

本集是《国家重点基础研究发展规划》“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究”项目论文集的第五集。它集中反映了本项目在北方干旱/半干旱地区有序人类活动的环境效应的综合分析和对策建议等方面的研究内容。本集共收入有关论文十九篇,主要包括了以下几部分的研究成果:

- (1) “有序人类活动”的概念及其理论框架;
- (2) “干旱化和有序人类活动”外场试验及观测研究;
- (3) 人类活动对气候和环境影响的数值试验研究;
- (4) 典型生态建设示范区的建立。

本书可供从事大气科学、环境科学、生态保护、农业科学的有关科研、管理部门和有关院校师生参考,并可供防灾减灾部门和从事全球变化研究的科研人员参考。

Renlei dui Beifang Ganhanhua de Youxu Shiying——Guance、Xunishiyan he Shiyanyanjiu 人类对北方干旱化的有序适应——观测、虚拟试验和实验研究

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: 010-62175925

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

责任编辑: 李太宇 袁信轩 终审: 周诗健

封面设计: 张建永 版式设计: 安红霞

*

北京市北中印刷厂

气象出版社发行

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 11.25 字数: 288 千字

2004 年 10 月第一版 2004 年 10 月第一次印刷

印数: 1~610 定价: 30.00 元

统一书号: 135029-5342

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

项目论文集总编辑委员会

主 编：符淙斌 安芷生

编 委：刘新仁 林而达 丁仲礼

 赵士洞 董文杰

执行编委：郭维栋

序

北方干旱化是我国最严峻的生存环境问题之一。20世纪90年代中期以来,这一问题进一步加剧,其中1999~2001年的干旱面积超过了北方地区总面积的40%。近5年(1999~2003年)干旱所造成灾害的面积占有气象灾害面积的60%以上,比前10年平均增长了10个百分点。科学地认识北方干旱化的形成机理及其发展规律、预测其未来发展趋势(继续加剧还是缓解、甚至逆转)并评估其社会经济影响,进而提出合理的适应对策是国家在战略决策层面上的迫切需要。

在国家科学技术部的《国家重点基础研究发展规划》“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(G1999043400)”的资助下,来自中国科学院有关研究所、教育部有关院校、中国农业科学院和中国气象局等十九个单位的九十多位专家组成的项目研究队伍针对国家对北方干旱化趋势预测、影响评估和对策问题上的重大需求,围绕“干旱化的发展规律和形成机理”的关键科学问题,以全球变化科学理论为指导,运用多学科交叉的集成分析、生态系统的观测实验和数值模拟方法,重点研究由水、土、气、生组成的生存环境变化的自然规律,揭示全球增暖以及人类活动对干旱化影响的过程和机理。在此基础上发展干旱化趋势预测和影响评估的理论和方法,以及组织有序人类活动、适应和缓解干旱化的科学途径。

5年来,项目组成员围绕以上关键科学问题,通过野外考察和取样、实验室分析、数据的处理和计算分析、生态系统的观测实验、数值模拟等,重建了我国北方生存环境干旱化长期演变历史,为认识干旱化的发展规律和形成机理提供了重要的自然背景;系统地分析了北方干湿变化的规律,检测全球增暖对干旱化的可能影响;发展了区域环境系统集成模式并应用于项目研究,为干旱化趋势预测和有序人类活动的虚拟试验提供了工具;系统分析了土地和水资源利用与干旱化的关系,建立了干旱化对水、土、农影响评估模拟模型,并对未来50年的干旱化影响做出了系统评估,给出了地理分布;系统地开展了北方典型生态系统对干旱化的响应和适应的观测实验和模拟研究(包括植株、种群和生态系统三个层次)并提出了相应的适应对策;开展了人类对干旱化有序适应的观测、数值虚拟试验和生态示范区的建设。另外,围绕项目的科学目标,分别就干旱指数的建立和比较、干旱化发展趋势集成预测、综合影响评估和形成机理进行了项目层次上的跨课题的集成研究,取得了明显效果。

项目执行 5 年来，科研人员取得了一批重要的研究成果，在国内外产生了重大影响，提高了我国科学家在国际全球变化研究领域的学术地位。为了集中总结和交流本项目的研究成果，项目专家组编辑了这套论文集：

第一集：中国北方干旱化的历史证据和成因研究

第二集：北方干旱化的趋势分析和预测研究

第三集：区域环境系统集成模式的发展和应用研究

第四集：北方干旱化对农业、水资源和自然生态系统影响的研究

第五集：人类对北方干旱化的有序适应——观测、虚拟试验和实验研究

《国家重点基础研究发展规划》项目（G1999043400）
我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究

项目首席科学家 符淙斌 安芷生

2004 年 9 月 15 日

前 言

本集是《国家重点基础研究发展规划》“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究”项目论文集的第五集。它集中反映了本项目在北方干旱/半干旱地区有序人类活动的环境效应的综合分析和对策建议等方面的研究内容。本集共收入有关论文十九篇,主要包括了以下几部分的研究成果:

- (1) “有序人类活动”的概念及其理论框架;
- (2) “干旱化和有序人类活动”外场试验及观测研究;
- (3) 人类活动对气候和环境影响的数值试验研究;
- (4) 典型生态建设示范区的建立。

董文杰 江 静

2004 年 10 月 10 日

目 录

序

前言

全球变化科学领域的若干研究进展	叶笃正 符淙斌 董文杰等(1)
有序人类活动与生存环境	叶笃正 符淙斌 季劲钧等(16)
我国北方干旱化研究——面向国家需求的全球变化科学问题	符淙斌 安芷生(28)
半干旱地区吉林通榆“干旱化和有序人类活动”长期观测实验	 刘辉志 董文杰 符淙斌等(34)
中国北方干旱化的几个问题	符淙斌 温 刚(46)
恢复自然植被对东亚夏季气候和环境影响的一个虚拟试验	符淙斌 袁慧玲(54)
我国干旱半干旱地区的退耕还林还草与高效生态农牧业建设	王汉杰 任荣荣(60)
我国北方地区植被类型变化气候效应的虚拟数值试验	张耀存(64)
中国北方干旱区感热及潜热的异常特征	惠小英 王澄海 董文杰(71)
中国东北西部气候变化与荒漠化发展及某些对策建议	廉 毅 任红玲 高松亭等(79)
中国干旱半干旱地区防护林气候效应的分析	胡海波 王汉杰 鲁小珍等(86)
宁夏平罗西大滩人类有序活动的环境效应及发展对策	刘茂松 鲁小珍 王汉杰等(95)
南水北调对华北地区区域水分平衡影响的初步研究——以北京地区为例	 陈 星 郑 雪 陆渝蓉(103)
利用变分法计算西北典型干旱区地表通量的研究	任宏利 王澄海 邱崇践等(115)
中国东北西部地区荒漠化发展前沿区域的遥感研究	任红玲 廉 毅 高松亭等(123)
A Simulation Study on the Eco-Environmental Effects of 3N Shelterbelt in North China	 WANG Hanjie and ZHOU Hao (130)
The Influence of Vegetation Cover on Summer Precipitation in China: a Statistical Analysis of NDVI and Climate Data	 ZHANG Jingyong, DONG Wenjie, FU Congbin et al. (146)
The Turbulent Characteristic in the Surface Layer over Dune at Naiman in Inner Mongolia	 LIU Huizhi, HONG Zhongxiang, ZHANG Hongsheng et al. (152)
On a Simple Dynamics Model of Interaction between Oasis and Climate	 WU Lingyun, CHAO Jiping, FU Congbin et al. (162)

全球变化科学领域的若干研究进展

叶笃正 符淙斌 董文杰 温 刚 延晓冬

中国科学院大气物理研究所区域气候环境重点实验室国际 START 东亚区域中心, 北京 100029

摘要 本文介绍了中国科学院大气物理研究所东亚中心在全球变化科学研究方面的一些进展。主要包括:(1)参与了国际和国内全球变化科学的开拓工作;(2)提出了区域水平上的全球变化研究新方向;(3)气候突变和全球增暖的区域响应研究;(4)东亚季风区植被-大气相互作用研究;(5)区域环境系统模式的发展和亚洲区域模式的国际比较研究活动;(6)提出了对全球变化的人类有序适应的概念、试验观测、理论和方法;(7)面向国家需求的全球变化问题——北方干旱化研究;(8)陆地生态系统碳循环研究等。

关键词: 全球变化科学; 区域模式; 东亚季风

1 引言

全球变化科学(Global Change Science)是 20 世纪后期最活跃、发展最快的新兴科学领域之一。近 20 年来,中国科学院大气物理研究所(简称大气物理所)积极参与了国际上这一领域早期的开拓工作,并在努力推动国内这一领域的建立和发展,提出了一系列重要的科学思想,取得了一批在国际、国内学术界有重要影响的研究成果,但限于篇幅,本文着重介绍大气物理所全球变化东亚区域研究中心的相关研究工作。

2 参与国际全球变化科学领域的开拓工作

全球变化是 20 世纪 80 年代初开始酝酿的一门科学领域。1984 年 7 月,国际科联(International Council of Scientific Unions, ICSU)在加拿大的渥太华召开第一次全球变化大会,组织全球变化国际计划的可行性研究,数百名科学家参加了这次大会。叶笃正和符淙斌应邀在会上发表了题为“Climatic Change—a global and multidisciplinary theme”的论文^[1]。这篇论文第一次指出了 10~100 年应当是全球变化研究集中关注的时间尺度问题,讨论了气候变化与全球变化的联系和区别。在这次大会上,符淙斌还就气候与生态系统过渡带在全球变化中的敏感性问题的评论,受到与会生态学家的高度重视^[2]。随后应 SCOPE (Scientific Committee on Problem of the Environment) 的邀请在巴黎召开的国际会议上,作了题为“Transitional zones and biome boundaries—a case study from China”的报告,并在 SCOPE 系列专著《Ecological studies 92, Landscape boundaries》发表了相关论文(Fu, 1992)^[3],进一步阐述了气候和生态系统过渡带对全球变化中的自然扰动和人为影响的响应特征。

1986 年国际科联正式批准建立国际地圈-生物圈计划(简称 IGBP),标志着全球变化科学新领域的诞生。叶笃正担任该计划的特别委员会成员。1990 年 IGBP 正式开始执行,建立了

科学委员会。符淙斌被国际科联任命为该委员会的成员,直到 1996 年。在委员会工作期间,他们的一系列重要科学思想对 IGBP 科学计划的形成和发展作出了重要贡献。

1989 年,叶笃正和符淙斌在《Climatic Change》上发表了全球变化可预报性的讨论文章,提出了地球系统的记忆能力和系统各组分变化之间的相互适应问题^[4]。

3 推动中国 IGBP 国家研究计划的制定和发展

20 世纪 80 年代中后期,叶笃正、符淙斌和陈泮勤等在中国科学院和所属资源环境局的领导和支持下,组织了中国全球变化的预研究^[5],并且提出了中国全球变化研究的指导思想,将面向国家重大需求又有全球意义的科学问题作为我国全球变化研究的重点。1988 年,在中国科协、国家科委、中国科学院和国家自然科学基金委等部门的支持下,发起成立了 IGBP 中国委员会,并着手制定 IGBP 中国国家研究计划,在这个计划中提出了两个方面的科学问题:

(1)全球变化对东亚和我国生存环境变化和可持续发展的影响,其中包括,全球增暖对东亚季风的影响;对水资源和气候灾害出现的频率和强度的影响;对农业的影响以及海平面高度变化等;

(2)具有全球意义的区域性生存环境问题,其中包括,季风气候-生态系统相互作用、人类活动(主要是土地利用在生存环境中的作用)、生存环境的敏感带和变化的突变性等。

根据 IGBP 中国国家研究计划,我们又积极组织力量申请国家项目的立项工作。1991 年,全球变化和我国未来(20~50 年)生存环境变化趋势的预测研究被列为国家攀登计划首批项目——中国十大基础科学研究之一,叶笃正和符淙斌为该项目的首席科学家^[6]。在这个项目的六个研究课题中,有三个是大气物理所主持的,其中包括大气微量气体生物源的测定和识别方法研究,气候与生态系统相互作用的模拟和理论研究以及生存环境变化趋势宏观特征的预测研究。与此同时,在中国科学院、国家科委、国家自然科学基金委等部门的支持下,一批与全球变化有关的研究项目相继立项实施,有力地推动了中国全球变化的研究。

4 提出区域水平上全球变化研究的方向,建立全球变化东亚区域研究中心

为了促进全球变化研究领域的区域合作,特别是加大发展中国家在全球变化研究中的贡献,IGBP, WCRP (World Climate Research Programme) 和 IHDP (International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change) 联合于 1992 年建立全球变化区域网络系统,即全球变化分析、研究和培训系统,简称 START (Global Change System for Analysis, Research and Training)。1993 年,在中国科学院领导下,大气物理所起草了建立东亚全球变化区域研究网络的建议书。1993 年在周光召院长的亲自主持下,在北京召开了由中国科学院、蒙古科学院、蒙古自然和环境部、俄罗斯科学院远东分院,韩国环境和技术研究院,朝鲜科学院和日本 IGBP 国家委员会参加的第一次全球变化东亚区域会议,会议修改和通过了中国起草的建议书。这个建议书提出了在东亚开展全球变化研究的意义和建议研究的核心科学问题,把区域水平上的全球变化问题,包括全球变化对区域可持续发展的影响和具有全球意义东亚

区域生存环境问题,作为优先领域,同时,还就区域合作的运行方式,包括区域合作委员会,区域中心等问题达成了一致意见。会议决定在中国科学院大气物理所建立东亚区域合作委员会秘书处。

紧接着,大气物理所在中国科学院领导下制定了区域合作研究的执行计划^[7],开展建立 START 东亚中心的筹备工作。经过几年的努力,终于在 1995 年 9 月,经 START 国际科学委员会批准,在区域各国的支持下,正式在中国科学院成立 START 东亚区域研究中心,挂靠大气物理研究所,符淙斌为东亚中心主任。

东亚中心是 START 全球网络中建立的一个区域研究中心,经过多年来的工作,东亚中心在全球变化的区域研究领域,做出了出色的工作,其中关于季风驱动生态系统的动力学和土地利用对区域环境变化的影响的两个概念模型发展成为东亚区域的两个区域合作研究项目,取得了重要进展,受到多个国际组织的称赞。东亚中心还作为 START 全球网络的唯一代表在日内瓦召开的 WCRP 总结大会上介绍了研究和能力建设相结合的经验^[8]。

5 气候突变和全球增暖区域响应的研究

气候和环境变化的突变是一个重要的科学问题,它对于预测未来的环境变化有重要意义。大气物理研究所东亚中心对亚洲季风和区域气候的突变有系统的研究,从突变的定义、检测方法和突变事件的时空特征和发生机理等方面开展了许多工作。符淙斌等最早揭示了亚洲季风区域气候变化的强信号,指出了气候从一种稳定状态向另一种稳定状态转变中的突变性^[9],严中伟等对 20 世纪 60 年代的北半球气候突变事件进行仔细分析,指出了突变的行星尺度带状结构^[10]。

符淙斌等在对 20 世纪 20 年代的气候突变的全球特征研究中,指出南亚季风和东亚季风气候突变与全球增暖的突变有一致性。研究还发现,几乎与此同时,全球,主要是北半球的大气环流也发生了突变,其中包括北大西洋和北太平洋的副热带高压的位置北移、北大西洋飓风和西北太平洋台风频数增加,相应赤道辐合带位置也偏北。此外,低层信风和西风减弱,南亚季风槽加深,印度季风活跃^[11,12]。在东亚地区,与 20 世纪 20 年代迅速增暖相联系的是中国东部从一个相对湿润期进入比较干旱期,表现出全球气候变暖下印度季风和东亚季风的反相振荡特征(图 1)^[13]。符淙斌等^[14]还进一步分析了发生在 1976 年前后的全球气候突变,这次突变表现在南方涛动指数、热带地区陆面温度、赤道暖池和北太平洋副热带高压强度等一系列重要的海洋和大气现象的变量上,并指出了 ENSO 现象与全球增暖之间可能的相互关系。

6 东亚季风区植被-大气相互作用的研究

大气圈和生物圈的相互作用是连接地球系统中生命世界和无生命世界的重要过程之一,也是地球环境变化中一个最基本的过程。符淙斌等通过卫星遥感植被和地表覆盖信息与气候要素关系的诊断分析以及生态和气候模式的数值模拟,对东亚季风区气候和生态系统相互作用进行了比较系统的研究,揭示了季风气候变化(季节、年际和长期)对生态系统的影响以及大范围植被覆盖状况变化对季风区域气候的作用。研究发现,受季风气候季节跳跃特征的影响,

植被的生长状况也呈现出突变征状,图 2 给出中国东部地区规一化的植被指数(NDVI)、温度和降水的 EOF 第一特征向量的时间系数,可以看到植被对温度变化的响应几乎是同时的,而对降水变化的响应来说要滞后 2~3 旬。这种波型与世界其它气候区植被季节变化的波型有明显不同。在年际或更长的时间尺度,季风气候的大的变率也强烈地影响着生态系统的变化。由温度和降水组成的湿润指数与植被指数和植被类型之间的定量关系建立起来的简单生态系

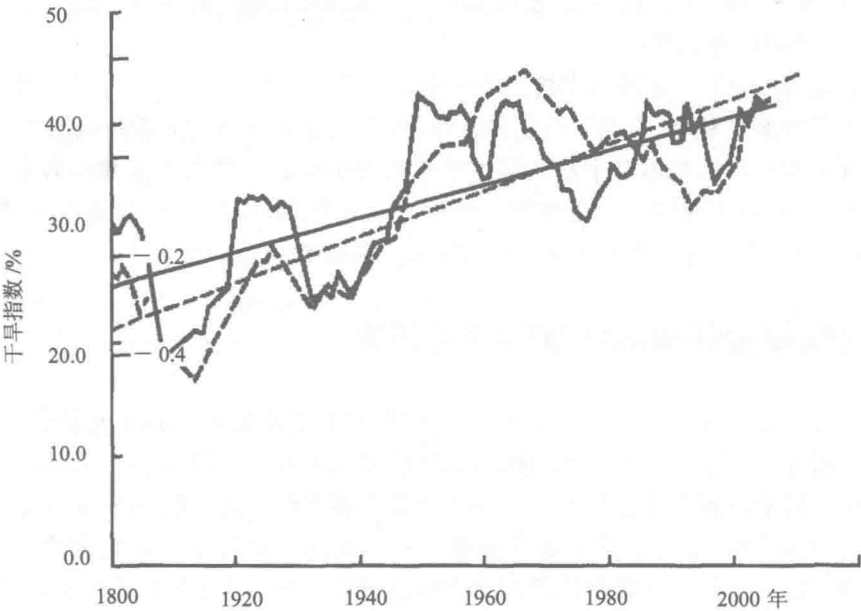


图 1 中国东部干旱指数及其与全球温度变化的关系(Fu,2000)

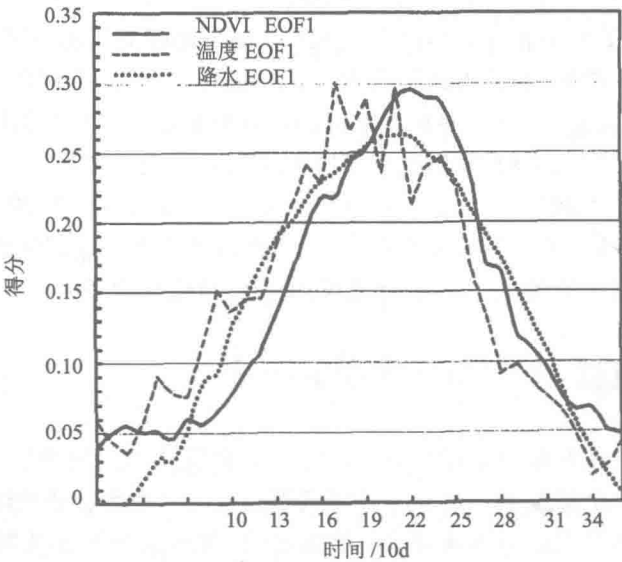


图 2 中国东部地区植被指数、温度和降水第一特征向量的时间系数(Fu and Wen,1999)

统模式可以很好地描写东亚地区的植被分布特征。在此基础上提出了季风驱动生态系统的概念^[15~17]。

另一方面,研究发现大范围地表植被覆盖状况的变化可以对季风区域气候产生显著的反馈影响。它们是叠加在季风系统自然变率之上的一种重要变化。东亚地区历史上从自然植被向现今植被分布的主要变化情况是,大约 80% 以上的地区发生了显著的变化,其中包括西北地区原来的草原变为如今的沙漠和半沙漠、半沙漠变化为如今沙漠,东部地区森林变为农田,西南地区常绿阔叶林变为混合林和灌木等,由此产生了地表动力参数的明显变化,如反照率增大、地表粗糙度和叶面积指数的减小等,这些地表动力参数的变化将显著影响地表和大气之间的能量和水分交换,从而影响区域气候和环流,使夏季风减弱和冬季风加强,有利于干旱气候的发展(图略)。由于自然植被破坏而引起了大气湿度、降水量、地表径流和根部土壤含水量的变化。由于东部地区异常的北来气流和增强的下沉运动显著地抑制了水汽的向北输送和对流活动的发展,导致了干旱的大气状况。同时,地面水分循环的主要分量,如降水、地表径流和土壤含水量都明显减少。这一模拟结果与东亚地区古气候研究的结果是一致的(图略)。这一重要研究结果,在 2001 年 Amsterdam 召开的全球变化开放大会上作为特邀报告,并被收在 IGBP 的集成研究专著和发表在《Global and Planetay Change》上^[18,19]。

同时,我们还利用 1981~2000 年 NOAA/AVHRR NDVI 和中国 160 个站的气温和降水资料作相关分析,并随同卫星观测上的证据指出,在中国的多数地区前期 NDVI 与夏季降水存在正的相关,同时也证实东部干旱/半干旱区(过渡带)可能是植被覆盖变化对夏季降水的最敏感地区(图 3)^[20,21]。利用东亚区域环境系统集成模式(RIEMS)对过渡带(36°~44°N, 106°

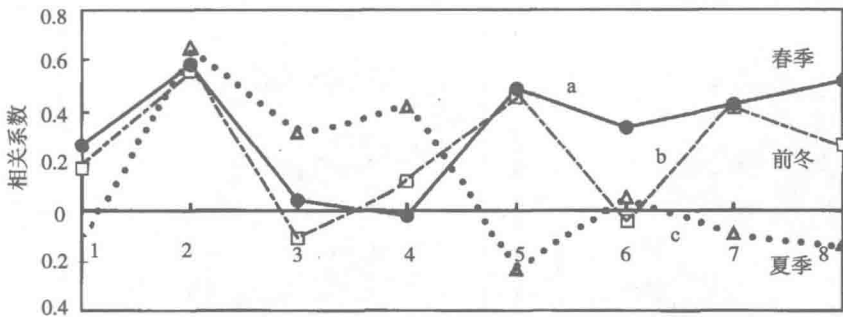


图 3 春季(a)、前冬(b)和夏季(c)NDVI 与夏季降水的相关系数,NDVI 和降水都对每个地区做了平均。

$r=0.3887, 0.4555$ 和 0.5751 分别为达到 90%、95% 和 99% 的信度检验。1. 东北, 2. 东部干旱-半干旱区, 3. 西部干旱-半干旱区, 4. 华北, 5. 华中, 6. 华南, 7. 西南, 8. 青藏高原

~112°E 和 40°~44°N, 112°~122°E)土地覆盖变化对夏季气候的影响作了进一步研究,表明如过渡带半沙漠和农田被混合林替代以后,局地 and 区域夏季降水量都会有明显的增加,但部分地区降水也发生了明显的减少。这一模拟降水变化的分布与上面的事实分析的结果较为一致。模拟还显示其它分量和东亚季风环流也有显著影响(图 4)。进一步将研究全球变暖背景下的东亚区域土地覆盖和利用变化对气候和河川径流的影响。

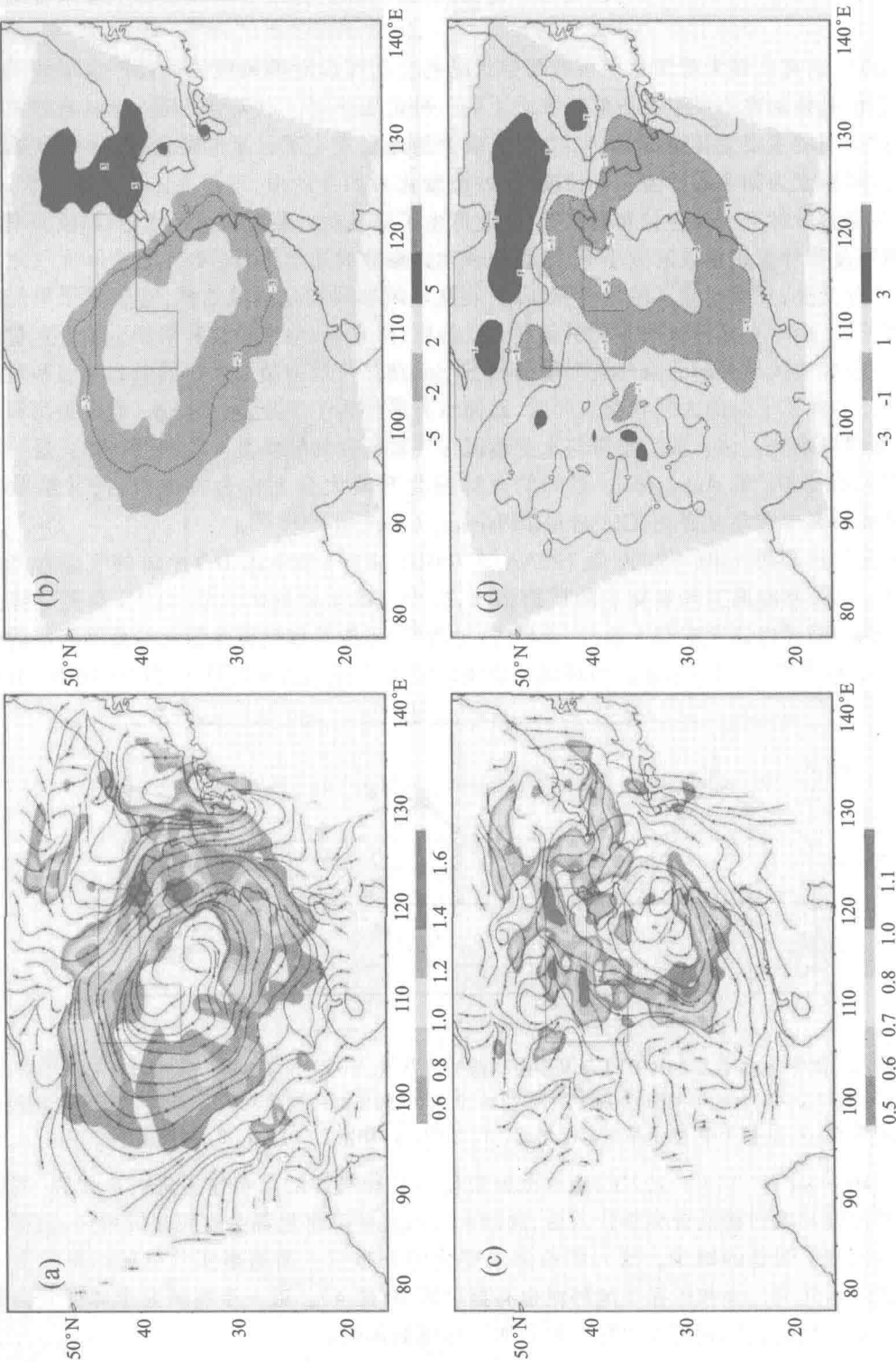


图 4 过渡带半沙漠和农田被混合林替代以后的变化
(a) 200 hPa 风场; (b) 200 hPa 位势高度; (c) 850 hPa 风场; (d) 850 hPa 位势高度; (a)、(c) 的单位: $m \cdot s^{-1}$; (b)、(d) 的单位: m

7 区域环境系统模式的发展和亚洲区域模式比较计划

区域气候变化的模拟是气候研究的优先领域之一,它为气候变化影响的评估提供区域气候的信息^[22]。迄今为止,关于东亚区域气候未来变化的信息主要来自全球模式的输出结果,但全球模式对东亚季风的模拟能力,特别是地面气候的模拟能力尚需大大提高。其原因除了模式的分辨率比较粗,不能很好地描写地形和地表的中尺度特征的影响之外,它们对区域气候有重要影响的区域尺度的人类活动的贡献,如工业气溶胶的排放和土地利用引起的地表覆盖变化等因子没有能够考虑进去。东亚地区正是这类区域强迫最为明显的地区。因此,大气物理所东亚中心提出了“人类影响下亚洲季风系统变化的区域模拟”的研究计划,在国家攀登计划和 973 计划的支持下,与南京大学大气科学系合作开展了适合东亚季风区的区域气候模式的研究。这个模式系统的框架如图 5 所示。它的主体部分是一个中尺度的大气动力模式,它通过两个子模式:陆面过程模式和大气辐射模式的连接,实现“气候化”的目的。它一方面通过大尺度模式引进大尺度的强迫因子(如太阳辐射、海陆分布和大地形,全球 CO_2 含量变等),另一方面引入区域尺度的人为活动的强迫。人类活动引起的地表覆盖的变化通过陆面过程影响大气动力过程;人类活动引起的气溶胶和温室气体排放,通过辐射过程影响大气动力过程。在这个框架的基础上东亚中心建立了一个区域环境系统模式,简称 RIEMS^[23]。

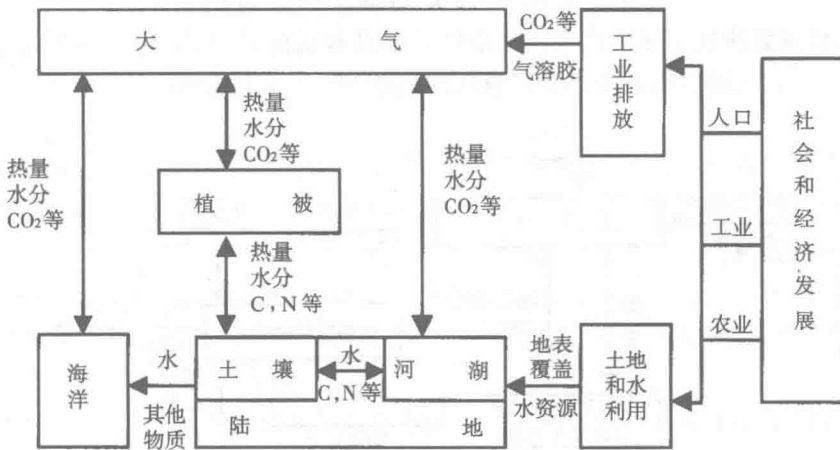


图 5 区域环境系统集成模式(RIEMS)框架

在区域模式系统发展中,有两个最关键的相互作用过程:(1) 植被-大气相互作用过程;(2)气溶胶-气候相互作用过程。

季劲钧等^[24]将陆表物理过程和植被生物学过程相耦合,使大气对植被的影响和植被对大气的作用处于一个动态的相互作用过程中(AVIM,图 6),通过同气候模式的耦合不仅能较好地模拟东亚季风的气候特征,而且可以模拟植被与大气之间碳的交换,其中对初级生产力的模拟有良好的结果。这个模式参与国际生态系统模式与数据比较计划(EMDI),在 10 个模式中处于上游。钱云^[25]将一个描写气溶胶的输送和沉降过程的模式与气候模式和辐射模式相耦

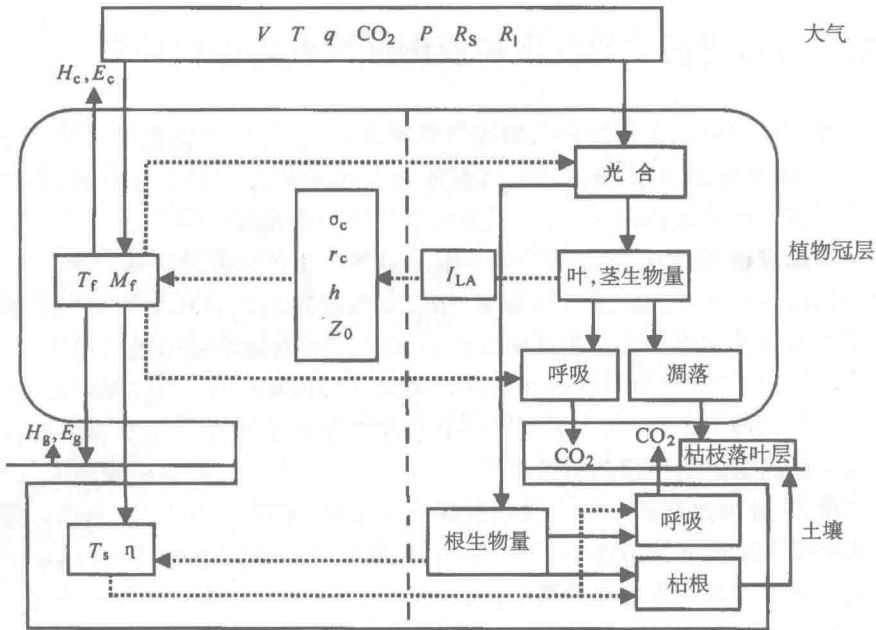


图6 植被-大气相互作用模块(AVIM)^[24]

合,一方面气候要素决定了区域范围内气溶胶的输送和沉降过程,得到气溶胶的分布。同时,这个分布又通过大气辐射模式来影响区域气候的进一步变化(图7)。

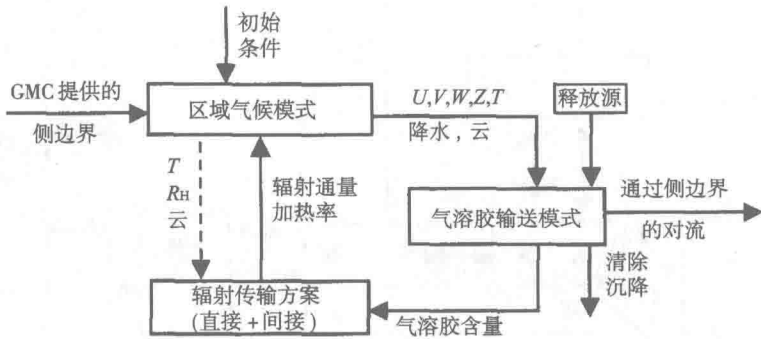


图7 区域气候-气溶胶相互作用模块^[25](Qian,1999)

目前东亚中心还与南京大学大气科学系合作,将改进的水文过程模式和简化化学模式放进区域模式,完成了新版本的区域环境系统模式(RIEMS V2)。

为了进一步改进区域环境系统模式,东亚中心提出并主持了由中、美、韩、日、澳大利亚等五个国家的10个研究组参加的亚洲区域模式比较计划,简称RMIP,在亚太全球变化研究网络(APN)、START和中国科技部、韩国环境部、日本气象厅等的联合支持下从1999年开始实施^[26](表1)。

表 1 参加亚洲区域模式比较计划的模式

模式	负责科学家	所在国家	模式	负责科学家	所在国家
RIEMS	符淙斌	中国	MRI/JMA	Y. Sato	日本
RegCM3	H. Kato	日本	MM5/LSM	W. Gutovski	美国
DARLAM	J. McGregor	澳大利亚	MM5/LSM	D. Lee	韩国
NIES/CCSR	S. Emori	日本	RegCM	J. Kim	韩国
NJU RCM	苏炳凯	中国	RegCM2	M. Suh	韩国

这个比较计划的目的是通过考察不同模式在亚洲地区的模拟能力,进一步改进区域模式,并应用这些区域模式进行的集合模拟研究亚洲地区未来气候变化情景。该计划已经完成了第一阶段 18 个月积分结果的比较研究,正在进行第二阶段的 10 年连续积分的统计行为的比较研究。这项研究计划已列入 WCRP 和 IGBP 模式比较计划序列之一。

东亚中心的这些研究得到了国际的高度评价。WMO 秘书长 Obasi 教授在意大利举行的全球变化国际会议的报告中称“人类影响下亚洲广义季风系统变化的区域模拟是全球变化区域研究的一个特别好的例子。这项研究不仅具有全球意义,而且在区域尺度上把三大国际计划的问题结合起来……”^[27]。国际 START 全球变化系统还出版特刊介绍过这一方面的研究成果^[28]。

8 人类有序活动:概念、方法和观测试验

人们在不断深化对地球系统自然规律的认识的同时,也越来越多地认识到人类活动已成为推动地球系统变化的另一个强迫力,这种强迫力在十到百年尺度上产生的影响已和自然力的作用相当或过之。通过农业、工业、社会和经济等彼此关联的活动,人类活动的影响散布到地球各子系统中,地球各个子系统及其相互作用产生的反馈又进一步影响人类的生存。近年来,科学界就人类活动对地球系统的作用和两者关系提出了一系列新概念,如“人类圈”^[29]、人类纪^[30]和“可持续性科学”^[31]等。

针对中国生存环境和社会经济发展的区域特征,东亚中心科学家提出了“有序人类活动”的概念^[32],对适应未来变化的影响有了“有序人类适应”的概念,提出了“人类有序活动”的研究框架,推动合理地组织“有序人类活动”,改善环境条件,适应全球变化的区域影响。“有序人类活动”和“有序人类适应”发展了上述概念,并进一步强调人类活动对其生存环境的能动作用(图 8)。

有序人类适应研究的一个主要方法,是发展人类活动-生存环境模式和应用模式进行虚拟试验。例如,东亚中心的科学家在一项关于退耕还林还草的虚拟试验中,即利用了包含气候、水文、生态等过程的区域环境系统集成模式,考虑人类活动对其中过程的改变,研究和评价植被恢复可能达到的状态^[33]。虽然研究结果是初步的,但表明了开展虚拟试验进行有序人类活动研究的潜力。有序人类适应研究的另一个主要方法,是有序人类活动示范区建设和长期监测研究。示范区可以把虚拟试验的过程和结果物质化,担当丰富和完善人类活动-生存环境模