

# 北方干旱化与人类适应

## ——以地球系统科学观回答面向国家重大需求的全球变化的区域响应和适应问题\*

符淙斌 延晓冬 郭维栋\*\*

中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029

**摘要** 介绍了“九七三”项目 G19990434 对北方干旱化研究的主要结果, 提出了该领域未来研究的若干关键科学问题, 特别是人类活动与干旱化的相互作用. 包括: (1) 干旱/半干旱区大气过程、地表过程及其与人类活动的相互作用; (2) 干旱化进程的阶段性转折和突变的规律、机理和可预测性研究; (3) 干旱化及其转折对我国粮食、水和土地资源安全的影响及适应对策; (4) 地球系统亚洲区域模式的发展及其在干旱化趋势和转折预测、影响评估和人类适应对策研究中的应用. 上述问题作为即将启动的“九七三”延续项目的主要内容, 其研究对于回答区域环境系统形成及其对全球变化响应的机理、人类活动和自然因子在环境变化, 特别是阶段性转折和突变中的相对贡献等基础科学命题的挑战, 以及满足国民经济建设的重大决策需求, 具有重要的科学意义.

**关键词** 北方干旱化 人类适应 地球系统科学

北方地区气候和环境的干旱化, 是我国最为严峻的生存环境问题之一, 制约着东北商品粮基地发展和老工业基地振兴、华北能源基地建设和“西部大开发”战略的实施. 近年来, 该地区人口总量及密度迅速增加、工业发展、城市扩张、消费水平不断提高以及对土地资源和水资源的过度和不合理的利用, 又进一步加剧了干旱化的发展趋势<sup>[1]</sup>. 据不完全统计, 20世纪90年代以来, 北方干旱化造成的直接经济损失每年在1000亿元以上. 科学地认识其形成机理, 预测其发展趋势, 评估其社会经济影响并提出合理的适应对策, 是国家在战略层面上决策的重大需求.

北方干旱化的发展是环境系统整体的异常变化, 很可能是全球变化, 特别是全球增暖, 对区域生存环境影响的综合表现, 其中包括温度升高、蒸发加大、降雨量减少、河网干枯、湖泊萎缩、雪线

抬升、土地荒漠化和生态系统退化等. 因此, 北方干旱化是一个典型的交叉科学问题<sup>[2]</sup>.

国家重点基础研究发展规划(“九七三”计划)项目“我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(G19990434)”以全球变化科学理论为指导, 运用多学科交叉的集成研究方法, 实施对水、土、气、生组成的生存环境系统的综合集成研究, 从季风环境系统的整体变异的角度揭示全球增暖影响下季风环境系统整体的变异规律, 认识干旱化形成的机理, 建立干旱化发展趋势的预测方法. 同时, 研究组织有序的人类活动, 保护和改善生态环境, 提出了缓解干旱化的科学途径. 这是干旱化研究的一种全新的思路和方法.

该项目过去5年来的研究系统地揭示了北方干湿变化的规律及其主要影响因子(自然和人类活动), 并为干旱化发展趋势的预测, 对农业、水资

2005-11-15 收稿, 2006-03-10 收修改稿

\* 国家重点基础研究发展规划资助项目(批准号: 2006CB400500)

\*\* 通讯作者, E-mail: guowd@tea.ac.cn

源和生态系统的影响及适应对策提供了初步的结果,为满足国家重大需求做出了实质性贡献,同时也取得了一批有国际影响的创新成果。

## 1 北方干旱化研究的主要进展

### 1.1 我国北方生存环境历史演变研究

利用我国丰富的环境信息资源和先进的分析仪器和研究方法开展的区域环境演变研究,建立了过去数百万年—数百年以来,不同时间尺度的东亚季风气候和环境变化序列,阐明了它的阶段性、周期性、突发性和不稳定性特征,并初步建立了它们与全球变化的联系。

通过对研究区地质环境记录、历史记载、考古等文化遗存的整理和分析,基本查明了研究区百年尺度的旱、涝和冷、暖变化历史,主要原创性发现有:通过青藏高原分阶段隆升,于距今 2.6 Ma 前亚洲季风演化为目前格局,形成了亚洲内陆干旱化的背景<sup>[3]</sup>;最后两个冰期旋回期间气候变化具有明显的 20ka 周期,并且间冰期呈潮湿状态,冰期呈干旱状态。在没有人类活动干预的背景下,今后气候变化在千年尺度的趋势上有可能向干旱方向演化<sup>[4]</sup>;全新世存在千年级的的气候波动,从 4000—3000 年前起,气候向干旱方向发展<sup>[5]</sup>。利用石笋重建了北京过去 2650 年温度记录,证实世纪尺度快速变暖是过去数千年旋回的气候模式,至少为北半球大空间尺度事件<sup>[6]</sup>;近代黄土是历史时期人类活动导致的沙漠扩张的产物等<sup>[7]</sup>;对南海等海区的古海洋学观测研究,取得了东亚古季风变化的海洋信息<sup>[8]</sup>;基于内蒙古树轮宽度重建的该区过去 160 多年来 4—7 月上旬降水显示 20 世纪 20 年代该地区 4—7 月上旬降水由多向少出现快速转变,50 年代以后降水持续减少<sup>[9]</sup>。

有关研究在国际权威学术刊物(包括 Nature, Science)上发表 40 余篇论文,在国际上具有很高的学术地位。

### 1.2 全球增暖对亚洲季风环境系统影响的研究

应用我们提出的气候突变的检测方法和指标,系统地分析了 10—100 年时间尺度的气候和环境变化,首次揭示了中国北方干旱化、季风气候突变与全球增暖的关系。主要原创性发现有:上世纪 20 年

代南亚季风突变与那时全球迅速增暖几乎是同步发生的<sup>[10]</sup>;东亚季风环境状况与全球气温变化密切相关,随着北半球陆面温度的升高,我国以突变方式从湿润期转入干早期,产生了明显的干旱化趋势。

这些发现是全球变化区域响应研究的一个范例,也为研究全球增暖对干旱化影响提供了线索。部分成果在国际上 SCI 刊物和国际重要专著发表,并被 IPCC 和其他国际刊物广泛引用,有关研究结果获得了 2004 年度国家自然科学奖二等奖。

### 1.3 近代我国北方干湿规律及预测研究

根据近 120 年的中国东部气温、降水、土壤湿度和干旱指数的综合分析发现:我国东部各个区域的气温和降水存在准 20 年和准 70 年振荡,近 50 年来北方大部分地区少雨和增暖加剧了整个北方地区向干旱化发展的趋势<sup>[11,12]</sup>;干旱化趋势主要发生在北方的东部地区,华北和西北东部干旱化趋势最为显著<sup>[13]</sup>;从降水、蒸发、气温变化的角度讨论了区域降水和增暖等对径流变化的可能影响,客观地给出了我国北方干湿变化的强度和速率。在 SCI 刊物上发表论文 30 余篇,得到了国际学术界的高度重视。同时也为进一步分析干旱化进程中的转折和突变规律及机理奠定了基础。

### 1.4 陆地生态系统对全球变化的响应研究

基于中国科学院和有关部委几十个陆地生态系统研究站点上的实验观测,特别是中国东北陆地生态系统样带(NECT)的观测实验,综合分析、动态模拟分析等,取得了一系列创新成果:例如,在景观尺度上,景观的破碎具有双重作用,即:环境恶化时,破碎度能加速景观的退化,但环境改善时,破碎度能加速景观的恢复<sup>[14]</sup>;气候变化和干旱化会对植物个体形态特征、生态系统结构、组成和生产产生重大影响,并对此提出了相应的适应对策<sup>[15,16]</sup>。这些研究成果在国际生态学核心刊物上发表了 30 余篇论文。

### 1.5 区域环境系统的集成分析和模拟研究

在全球变化科学的整体思想指导下,对我国生存环境的区域特征进行了深入系统的研究,特别是揭示了物理气候与生态系统的相互作用和区域尺度人类活动(主要是土地利用和工业排放)对生存环境

的影响,提出东亚区域的生态环境系统具有明显的“季风驱动的特性”<sup>[17]</sup>,并且不只是一个物理系统,而是一个物理-生物-化学-社会过程的耦合系统,进而提出了“广义季风系统”科学概念<sup>[18]</sup>.这一科学思想为我国区域环境系统的集成分析和模拟建立了理论基础.上述科学概念已发展成为国际地球系统科学联盟(ESSP)核心项目“季风亚洲区域集成研究(MAIRS)”的整体科学框架.

在“九七三”计划G19990434执行期间,以“广义季风系统”科学概念为指导,发展了新版本的区域环境系统集成模式(RIEMS).它改善了通常意义上的区域气候模式对于水、土、气、生相互作用过程的描写,建立并耦合了能与RIEMS双向耦合的包括36个物种的对流层大气化学输送模块,该模块能考虑输送、扩散、干湿沉降、液气相化学反应等物理化学过程,并实现与辐射、云模块耦合,计算硫酸盐、沙尘、炭黑气溶胶和有关温室气体的辐射效应<sup>[19,20]</sup>;其次,建立并耦合了水文过程模块VXM<sup>[21]</sup>,该模块考虑到干旱区和湿润区径流产生的不同机制,包含有蓄满产流和超渗产流两种径流产生过程,并计算降水和入渗的非均匀性的影响,改善了地表水分过程的模拟;第三,考虑到土壤湿度时空演变对区域气候模拟的重要性,研制了新的土壤湿度初始化方案(MRSM)并显著改善了模式的模拟效果<sup>1)</sup>.

该模式能够提供可信度较高、区域特征较为细致的,全球增暖影响下我国北方干旱/半干旱区的空间格局以及环境湿润状况变化的定量信息,并已用于模拟炭黑气溶胶和硫酸盐气溶胶的直接和间接气候效应,研究土壤水分异常对区域气候的影响.

应用上述模型发现,历史时期土地利用变化可能是中国北方干旱化的一个重要原因<sup>[22]</sup>.这个重要结论在国际上产生了重大影响,成为IGBP总结性专著的封面结论之一.

以这个模式为主体,发起开展了有十个国际优秀区域气候模式参加的“亚洲区域模式国际比较计划”<sup>[23]</sup>.研究发现:RIEMS是一个优秀的模式;多模式集合模拟结果远优于任何单一模式的模拟结果.这个计划已列入了国际模式比较计划.

## 1.6 土地利用和水资源利用与干旱化的关系

依据历史水文实测数据,在综合分析了近50年(1950—2000)我国北方13个省份水利用状况变化过程的基础上,根据当地人口、经济结构状况构建了水利用驱动模型;在分析过去50年北方13省土地利用变化特征和驱动机制的基础上,将自上而下的经济学宏观模型和自下而上的空间模型相结合,发展了区域土地利用变化情景模型LUSD;建立了高分辨率北方干旱化对农业影响评估模型;模拟预测了未来黄河中上游受干旱化和人类活动(土地利用变化)影响的水资源量,并进行量化评价.

利用区域土地利用变化情景模型LUSD,从数量和空间格局、驱动机制、生态效应等角度进行了比较系统的研究,模拟了我国北方13省未来50年土地利用变化在A2(全球经济快速发展)和B2(区域经济可持续发展)情景下干旱化对北方小麦、玉米和牧草的影响.

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.综合评价和预测了全球变化与土地退化对我国农业旱涝灾害及农业生产的影响<sup>[24]</sup>,首次给出我国北方13省市(自治区)未来50年土地利用变化格局数据库<sup>[25]</sup>.

## 1.7 区域生存环境预测和影响评估的试验研究

根据国家的需要,“八五”攀登和“九七三”计划项目在总结有关课题的研究成果的基础上,综合分析了自然演变和全球增暖的影响,对我国北方地区生存环境变化趋势进行了预测试验,预测内容包括气候(温度和降水)变化以及水资源、生态系统(农业、林业、草原)、土地覆盖和土地利用对气候变化的响应等,提供了华北地区的未来10—50年的可能变化情景,如环境干湿状况、旱涝频率、主要河川径流量、干旱区的移动、水资源供给和需求以及主要农作物产量的变化等.

## 1.8 北方干旱化发展趋势集成预测方法及其应用

对多种集成预测方法进行了分析比较研究,通过对历史相似外推,非线性动力学,物理因子概念

1) 王淑瑜. 东亚区域气候模拟和土壤湿度初始化问题研究. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 北京, 2003

模型,数值模式预测等方法的预测结果进行集成分析,发展了年代际尺度上集成预测的理论和方法,建立了集成预测的工作体系,开展了我国北方地区未来10—50年干旱化发展趋势预测的试验研究.实现了12类数据源、17种预测意见的综合集成,得到了项目集成预测结果<sup>[26]</sup>.这些工作为满足国家的战略需求做出了贡献.例如向中央提交了“未来北方干旱化发展趋势的预测意见”等报告.

## 2 北方干旱化研究面临的主要问题

我国北方干旱化是一个复杂的生存环境问题,它既受到全球环境变化的影响,又与生存环境系统的各个组成部分(水、土、气、生)有密切的关系,同时还受到北方地区人类活动,如土地利用和水资源利用等的影响.因此,它的形成机理和变化趋势预测的研究需要一个长期的过程.

经过5年的研究,G19990434项目虽然在干旱化发展规律和形成机理方面取得了重要成果,在预测理论和方法上也有新的进展,但是还有一系列重要科学问题有待进一步研究.例如:

### 2.1 北方干旱化发展规律的定量研究

目前用于描写北方干旱化在不同时间尺度上变化规律的多种载体(如黄土、冰芯、湖泊沉积、树轮、花粉等)具有不同的时间和空间分辨率,如何把这些信息统一起来,建立一个均匀的干旱化演变的序列,并且对它们的变化规律进行客观定量的描写,如它们的变率大小、分布函数、极值分布等,是一个难度较大的科学研究问题,其中包括对各种载体信息的质量控制、数据处理和同化、数据的定量分析等内容.

### 2.2 北方干旱化形成机理的数值模拟研究

G19990434项目已经分别从干湿变化的自然规律、全球增温的影响以及区域尺度土地和水的利用方面研究了干旱化形成的机理.但是,如何综合这些影响,或者说区分这些主要过程的相对贡献?例如,如何检测人类活动在干旱化中的贡献,特别是给予量化仍然是一个非常意义的科学问题,需要发展科学理论和研究工具,其中进一步完善区域环境系统模式可能是主要任务之一.这个模式有可能用于环境系统的综合集成研究,分别考察不同过

程对干旱化的影响以及它们之间的相互作用.这个模式系统也将成为定量预测干旱化及其对水、土、气和植被变化影响的有效工具.

### 2.3 人类对干旱化的适应的理论和研究方法研究

G19990434项目关于人类对干旱化有序适应的思想和初步结果尚待深化.为了深入理解干旱化形成的机理,还必须通过干旱/半干旱区陆地表面过程及其与大气相互作用的实际观测取得第一手资料,特别是地表和大气之间能量、水分和其他物质交换通量的观测资料.这些资料还将用于模式的检验和发展模式中物理过程的参数化方案.

项目已经建立的半干旱区的干旱化与人类活动观测试验站已经取得连续24个月的观测资料,这些资料尚待进一步分析,如能同遥感信息和模式工具结合起来,将能取得原始创新的研究成果.这些观测站如能继续实施长期连续观测,将可以提供十分宝贵的第一手资料,并在国际合作中发挥作用.

上述问题表明,对干旱化形成机理的认识尚待深化.迄今,我们还不能定量地区分自然振荡、全球增暖和区域尺度人类活动在干旱化中的相对贡献.因此,还不能确切地回答以下的紧迫问题:在全球增暖和自然干湿振荡的共同影响下,未来几十年干旱/半干旱区的范围是否有进一步扩展的可能?未来几十年内北方干旱化的趋势是否有发生转折或突变的可能?因为,这种情况一旦发生,对国家可持续发展战略的实施将是一个严重的挑战,必须有充分的战略准备.

要满足这些更深层次的需求,将面临诸如区域环境系统形成及其对全球变化响应的机理、人类活动和自然因子在环境变化,特别是阶段性转折和突变中的相对贡献等基础科学命题的挑战,具有重要的科学意义.

## 3 北方干旱化与人类适应——干旱化研究的地球系统科学观

我国北方干旱化不是一个孤立的现象,它具有明显的全球联系.最近的一些研究表明,20世纪70年代以来,全球极端干旱区域的面积扩大了一倍以上,这种趋势在80年代以后尤为显著<sup>[27]</sup>.干旱化作为全球变化科学的焦点问题之一,已列入一系列

全球变化大型国际研究计划,如全球陆地研究计划(GLP),全球水系统计划(GWSP),陆地生态和大气相互作用研究计划(iLEAPS)等。

过去二十多年全球变化科学研究取得了显著的进展,导致了地球系统科学的诞生,从而使干旱化的研究进入了一个全新的阶段。与此相关的研究进展主要体现在以下4个方面:

(1)发现地球系统在许多方面的变化已完全超越了过去50万年自然变化的范围。自然变化和人为引起的变化在地球系统中同时发生,它们变化的累积效应现在无法预测。

(2)认识到地球系统是由物理、化学、生物和人类共同组成的独立的自调节系统。这些组成部分之间的相互作用和反馈非常复杂,不能理解为简单的因果关系,且在不同时间和空间尺度上具有明显差异。对自然强迫的认识,已经取得了显著的进展,为评估人为因素变化产生的影响提供了坚实的基础。在干旱化研究方面,人们发现地球系统的自然振荡构成了干旱化的主要自然背景。例如,撒哈拉地区的干旱化,是6000年前地球轨道参数渐变越过某个临界值后的结果<sup>[28, 29]</sup>。

(3)发现人类活动在许多方面(包括温室气体排放及其导致的气候变暖、土地利用等)严重地影响着地球环境,人类对地球陆地表面、生物多样性、生物地球化学循环和水循环等的改变已超过了自然变化的影响。例如,已经发现全球气候变暖与中国北方干旱化具有密切的联系,大范围的土地利用的变化可能是中国北方干旱化的重要驱动因素之一<sup>[30]</sup>。

(4)地球系统的动态以突变及其阈值为特征,人类活动可能会触发使地球环境产生严重后果的突变。人为因素驱动的地球环境产生突变的概率虽未量化,但不容忽视。例如,上世纪30年代,北美地区的突发性持续干旱,在非器测时代非常罕见,显示出可能与人类活动导致的气候变化有关<sup>[31]</sup>。更重要的是,人们发现由于人类活动的累积效应可能逐渐超过某个阈值,导致气候的突变,从而使干旱化过程发生突变性加剧<sup>[32]</sup>。

同时,在对全球变化研究的能力建设方面也取得了显著进展。特别是与干旱化研究有关,先后组建了GCOS(全球气候观测系统),GTOS(全球陆地

生态系统观测系统),BAHC(全球水循环的生物圈方面),GEWEX(全球能量水分交换实验计划)等科学试验和观测计划,为全球和区域环境变化监测、分析、预测和影响评估打下了坚实的基础。

中国的北方干旱化,由于长期的人类活动历史,使得短期效应和长期累积效应并存,全球尺度影响和区域尺度影响并存。例如,全球增暖及相应的冰川融化引起的地表径流和地下水变化与干湿的自然振荡的共同作用;地下水的开采,水土流失等构成了长期累积效应;沙尘气溶胶、土地利用和灌溉等构成了区域影响,这使得中国北方干旱化问题成为全球变化科学中独特的难题。研究还发现,干旱化表现最剧烈的是位于华北和东北西部的半干旱区,在距今3000年以来的干旱化趋势上叠加着干湿的自然振荡、全球气候变暖和土地利用变化等人类活动的影响,近几十年那里的干旱化有加强的趋势,近5年平均的干旱造成的灾害面积比前十年平均增长了10个百分点。这种趋势还有可能继续。据此提出,半干旱区应该是北方干旱化研究和治理工作的重点。我们提出的全球半干旱区陆地-大气相互作用过程研究已经成为世界气候研究计划的协同强化观测计划(CEOP)的一个主要内容。

综上所述,以地球系统科学整体观的思想开展对于我国北方干旱化问题的研究不仅是必需的,而且是行之有效的。该领域的研究必须涉及区域环境系统的性质和变化机理,区域环境系统突变与全球变化的关系,人类活动和自然因子在区域环境系统阶段性转折和突变中的作用等一系列基础科学命题,具有重要的科学意义。“九七三”项目G19990434的后续研究项目“北方干旱化与人类适应”(2006CB400500)正是以上思想为指导,该项目的研究成果将在全球变化的区域集成研究、人类活动与季风-干旱环境系统的相互作用以及地球系统的区域模式等前沿领域作出贡献。

#### 4 “北方干旱化与人类适应”的关键科学问题和主要研究内容

将于2006年启动的“九七三”项目“北方干旱化与人类适应”(2006CB400500)拟解决的关键科学问题是:人类活动与干旱化的相互作用。这是认识干旱化形成和发展机理的核心。

提出这个问题的实质是要深入研究干旱化形成和发展的机理,定量地区分自然过程和人类活动(包括温室效应引起的全球增暖和区域尺度土地利用引起的地表生物地球物理/化学过程的变化等)在干旱化形成和发展中的作用,为干旱化趋势预测,特别是阶段性转折或突变的预测、影响评估和适应对策研究提供科学基础。

围绕上述关键科学问题,拟开展的主要研究内容是:

(1) 干旱/半干旱区大气过程、地表过程及其与人类活动相互作用的研究。其任务是通过干旱/半干旱不同土地覆盖/利用条件下,大气和地表过程的强化观测试验以及相关遥感信息和模拟的综合集成分析,揭示北方干旱/半干旱区环境系统的基本性质。它包括了作为整体的环境系统中水、土、气、生各组成部分之间的相互作用,能量、水分及其他物质的交换,以及发生在该系统中物理、生物和化学过程之间的相互关系和人类活动(包括土地利用和水资源利用)与区域环境系统相互关系的研究,这是认识干旱化形成机理的基础性研究;

(2) 干旱化进程中阶段性转折和突变的规律、机理和可预测性研究。进一步研究这一特定地区生存环境变化的规律,重点研究转折和突变信号的检测,突变和转折发生的时空规律及其驱动因子,包括自然因子、全球增暖和区域尺度人为因子的可能触发作用以及探讨这一类突变或转折的可预报性,它们是未来干旱化趋势及转折或突变预测的理论基础;

(3) 干旱化及其进程中的转折和突变对我国粮食、水和土地资源安全的影响及适应对策研究。未来干旱化的发展方向,包括继续干旱化的趋势或可能发生阶段性转折或突变将会产生什么影响,人类又应采取何种应对战略措施呢?将重点研究各种可能变化情景及转折和突变条件下粮食产量、水资源供需能力和土地资源利用格局的综合影响评估以及从调整社会经济结构、政策和法律等方面的综合措施来适应或减缓干旱化带来的不利影响的对策研究,它们是本项目为国家目标服务的更直接的知识基础;

(4) 地球系统亚洲区域模式的发展及其在干旱化趋势和阶段性转折或突变预测、影响评估和

人类适应对策中应用的研究。为了对干旱/半干旱区的区域环境系统及其与全球变化的联系进行综合集成研究,提供客观、定量研究的工具,将在《G19990434》项目已经建立起来的区域环境系统模式的基础上发展成为一个地球系统亚洲区域模式,这个模式将包括环境系统的各个主要组分和主要的物理、化学和生物过程以及描写人类活动的社会经济发展模式等,逐步实现这些组分和过程的耦合。同时还将发展一种基于系统动力学的中等复杂程度的地球系统区域模式,探索地球系统模拟的新途径。通过这些模式系统的发展、检验和数值模拟试验,将用于干旱化机理、趋势预测、影响评估和适应对策的综合集成研究。

根据项目的总体目标和研究内容、本项目的总体学术思路是,把北方干旱化与人类适应问题作为全球变化的区域响应和适应问题研究的一部分。

项目将在前期工作的基础上,加强原始创新研究的力度,把研究工作的重点从以干旱化发展规律研究为主转入以干旱化形成机理研究为主的新阶段,集中优势力量强化对干旱/半干旱区大气过程、地表过程、生态过程及其与人类活动相互作用的长期连续观测实验和理论研究;在干旱化规律研究中,着重对阶段性转折和突变规律的研究。同时,发展能综合描写物理、化学、生物和人文过程及其相互作用的地球系统亚洲区域模式,进行干旱化机理、预测、影响评估的综合集成研究,在更坚实的基础上,为国家重大需求作出贡献。

根据地球系统科学的综合和集成思想,首先在科学上重点探索人类活动对于干旱化的影响机理,以不同地区和不同人类活动(土地利用)条件下的地气交换通量的强化连续观测实验为基础,结合卫星遥感和其他环境信息资料、比较全球 CEOP 观测网半干旱区站点的通量实验资料和气候模式模拟,从地气物质、水、能量交换等方面揭示人类活动影响北方干旱化的机理;以典型区域的生态水文观测实验为基础,结合遥感信息和生态-水文模式模拟,揭示人类活动影响北方干旱化的生态-水文机制;通过高分辨率代用和器测资料的分析、比较和综合集成,探讨北方干旱化转折和突变的可预报性。根据以上机理及有关可预测性研究,提出北方干旱化发生转折和突变的可预测性理论,对干旱化对我国粮食安全

全、水安全和土地资源安全的影响作出客观评估并提出相应的社会经济适应对策。最后,以已经建成的区域环境系统模式为基础,综合集成上述认识,建成地球系统亚洲区域模式,为干旱化预测、影响评估和适应对策研究提供有效的数值试验工具,并为地球系统科学研究作出贡献。

与国内外同类研究相比较,本项目完全不同于目前仍然存在的单学科的干旱化研究,如气候学对降雨量的研究、水文学对径流和水资源的研究以及农业干旱的研究等,而是采用地球系统科学的学科交叉、集成的思路,组织大气科学、地理学、地球环境科学、生态学、经济学和水文学等自然科学和社会科学研究队伍进行多学科交叉研究,将高分辨率古环境信息与现代器测信息相结合,将定点地气通量实验和生态水文实验分析、遥感信息及与全球范围内多站对比相结合,将统计分析和数值模拟技术相结合,实现对人类活动影响下的北方干旱化变化规律和机理的综合集成研究。

拟采取以下主要技术途径:

(1) 通过在我国半干旱区开展的不同土地利用条件下地气物质、水分和能量交换通量观测实验,生态水文实验,获得高质量的长期连续观测资料,结合遥感信息和其他器测资料、应用大气动力模式和生态水文模式探索人类活动对北方干旱化影响的机理,并为地球系统区域模式的建立提供关键参数、初始场和相关过程模块;

(2) 充分利用我国丰富的高分辨率环境信息资源,发展高精度的定年技术、信息提取技术和非线性数据分析技术,结合器测气象和其他环境资料,通过数值模拟试验,研究北方干旱化的转折和突变的机理和可预测性;

(3) 充分利用我国主持的季风亚洲区域集成研究国际计划(MAIRS)和参加国际协同强化观测计划(CEOP)的机会,通过数据交换,获得大量的国外半干旱区地气通量强化观测资料,结合当地人类活动和自然环境状况,通过比较分析探索干旱化与人类活动关系的格局、机理和发展趋势;

(4) 通过发展现有的水分驱动的土地利用模式、作物模式等数值模型,在项目对北方干旱化趋势预测情景下,研究社会经济、土地利用和作物产量所受到的影响,提出区域产业结构调整、土地利用格

局、粮食生产的适应对策;

(5) 以区域环境系统模式 RIEMS 为基础,发展新的模块耦合技术,实现区域模式与生态、水文、气溶胶、冻土、雪盖、土地利用、社会经济、人口、影响评估等模块的耦合,建成高分辨率的地球系统亚洲区域模式,为北方干旱化的预测、影响评估和适应对策的研究提供数值试验平台。

## 参 考 文 献

- 1 符淙斌,温 刚. 中国北方干旱化的几个问题. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 22-29
- 2 符淙斌,安芷生. 我国北方干旱化研究-面向国家需求的全球化科学问题. 地学前缘, 2002, 9(2): 271-275
- 3 An Z S, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 2001, 411: 62-66
- 4 Yang S L, Ding Z L. Color reflectance of Chinese loess and its implications for climate gradient changes during the last two glacial-interglacial cycles. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30: 61-64
- 5 Ding Z L, Yu Z W, Yang S L, et al. Coeval changes in grain size and sedimentation rate of eolian loess, the Chinese Loess Plateau. *Geophysical Letters*, 2000, 28: 2097-2100
- 6 Tan M, Liu T S, Hou J Z, et al. Cyclic rapid warming on centennial-scale revealed by a 2650-year stalagmite record of warm season temperature. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30: 19-1-19-4
- 7 Li X Q, Zhou J, Dodson J. The vegetation characteristics of the "Yuan" area at Yaoxian on the Loess Plateau in China over the last 12000 years. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 2003, 124: 1-7
- 8 Peng Z C, Chen T G, Nie B F, et al. Coral  $\delta^{18}O$  records as an indicator of winter monsoon intensity in the South China Sea. *Quaternary Research*, 2003, 59: 285-292
- 9 刘 禹, Won-Kyu Park, 蔡秋芳, 等. 公元 1840 年以来东亚夏季季风降水变化——以中国和韩国的树轮记录为例. *中国科学*, D 辑, 2003, 33(6): 543-549
- 10 Fu C B, Diaz H, Dong D F, et al. The changes of atmospheric circulation over Northern Hemispheric oceans associated with the global rapid warming of the 1920s. *International J of Climatology*, 1999, 19: 581-606
- 11 Qian W H, Hu Q, Zhu Y F, et al. Centennial-scale dry-wet variations in East Asia. *Climate Dynamics*, 2003, 21: 77-89
- 12 Zhai P M, Pan X H. Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30: 9-1-9-4
- 13 Ma Z G, Fu C B. Interannual characteristics of the surface

- hydrological variables over the arid and semi-arid areas of northern China. *Global and Planetary Change*, 2003, 37: 189—200
- 14 Zhou G S, Wang Y H, Wang S P. Responses of grassland ecosystems to precipitation and land use along the Northeast China Transect. *Journal of Vegetation Science*, 2002, 13: 361—368
- 15 王玉辉,周广胜. 内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响应. *生态学报*, 2004, 24(6): 1140—1145
- 16 Chen X W, Zhou G S. Multi-scale ecological adaptation of a young mixed broadleaved and coniferous Korean pine forest community to drought. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2004, 3(3): 353—362
- 17 Fu C B, Wen G. Variation of ecosystems in East Asia in association with the seasonal, interannual and decadal monsoon climate variability. *Climatic Change*, 1999, 43: 477—494
- 18 Fu C B. Monsoon Asia; Climate, humans and the environment, IGBP Newsletter, 2005, 62: 4—7
- 19 刘红年,蒋维楣. 沙尘表面非均相化学过程的气候效应的初步模拟研究. *地球物理学报*, 2004, 47(3), 417—422
- 20 吴 澗, 蒋维楣, 刘红年, 等. 区域气候模式和大气化学模式对中国地区气候变化和对流层臭氧分布的模拟. *南京大学学报(自然科学)*, 2002, 38(4): 570—582
- 21 Zeng X M, Zhao M, Su B K, et al. Simulations of a hydrological model as coupled to a regional climate model. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20: 227—236
- 22 Fu C B. Potential impacts of human-induced land cover change on East Asia monsoon. *Global and Planetary Change*, 2003, 37: 219—229
- 23 Fu C B, Wang S Y, Xiong Z, et al. Regional climate model inter-comparison project for Asia. *Bulletin of American Meteorological Society*, 2005, 86(2): 257—266
- 24 Tao F L, Masayuki Yokozawa, Yousay Hayashi, et al. Changes in soil moisture in China over the last half-century and their effects on agricultural production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 118: 251—261
- 25 Shi P J, Yi Y, He C Y, et al. Land use pattern adjustment under ecological security: Look for secure land use pattern in China. *Geographical Review of Japan*, 2004, 77(12): 282—298
- 26 Guo W D, Fu C B, Su B K, et al. An integrated predictive study on the evolution of aridification over northern China in early 21 century. Abstracts of IAMAS Assembly 2005 (Session C2), Aug. 2—11, Beijing, China
- 27 Dai A G, Kevin E T, Qian T T. A Global dataset of palmer drought severity index for 1870—2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 2004, 5(6): 1117—1130
- 28 Steffen W, A. Sanderson, P. D. Tyson, et al. *Global Change and The Earth System: A Planet under Pressure*. Berlin: Springer-Verlag, 2004, 638
- 29 deMenocal P B, Ortiz J, Guiderson T, et al. Abrupt onset and termination of the Africa Humid period: Rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Reviews*, 2000, 19: 347—361
- 30 Fu C B, Yuan H L. An virtual numerical experiment to understand the impacts of recovering natural vegetation on the summer climate and environmental conditions in East Asia. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(14): 1199—1203
- 31 Nicholson S E, Tucker C J, Ba M B. Desertification, drought and surface vegetation, *Bull Am Meteorol Soc*, 1998, 79: 818—829
- 32 Alley R B, Marotzke J, Nordhaus W D, et al. Abrupt climate change. *Science*, 2003, 299: 2005—2010