

中国西北地区干旱气候学的新进展 及其主要科学问题

董安祥¹, 白虎志¹, 雷小斌²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省气象科技服务中心, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 回顾了“十五”期间中国西北地区干旱气候学的进展。就遥感监测、西北干旱形成机制、西北地区年代际的气候变化、西北干旱新的强讯号、高原干旱气候生态作物适应性和西北干旱监测预测业务服务综合系统等方面所取得重要研究进展和学术成就, 作了系统的回顾, 并对21世纪初干旱气候学的主要科学问题作了展望。

关键词: 干旱气候学; 中国西北地区; 进展; 科学问题

中图分类号: P46

文献标识码: A

引言

我国是世界上主要干旱国家之一, 干旱、半干旱面积占国土面积的1/2, 大部分集中在我国西北地区。西北地区的干旱面积占总面积的80%以上。西北地区东部位于青藏高原东北侧, 从气候上区分, 大体上属于东南季风的边缘区域。同时又受到西风带环流、高原季风和高原天气系统的影响, 夏半年有时还会受到在我国东南沿海登陆台风的间接影响, 使得该地区干旱气候问题变得极其复杂。另外, 西北地区干旱化是我国最为严重的生存环境问题之一。因此, 干旱是西北气象工作者永恒的研究主题。

“十五”期间是历史上干旱气候科研发展的最好时期之一, 科研成果丰硕。本文拟从遥感监测北方干旱化、西北干旱形成机制、年代际干旱气候变化和干旱指标5个方面回顾“十五”期间干旱气候学的创新研究成果和主要进展, 并探讨当前的科学问题。

“九五”末期, 在“西北地区干旱预测系统研究”课题的验收和鉴定会上, 陶诗言院士、丑纪范院士、

吴国雄院士等指出: 西北干旱物理机制的研究比较薄弱, 今后要加强; 对预测系统要进一步完善; 对以往的工作要全面回顾和总结。甘肃省政府根据西部大开发的战略部署, 要求扩大该干旱预测系统的应用范围, 拓宽服务领域。

“十五”期间, 中国气象局兰州干旱气象研究所等单位以3位院士等专家的意见和省政府的要求作为指导思想, 结合国际干旱气象领域(如美国、印度、以色列3国干旱研究中心)的新进展, 开展了西北干旱成因及其应用的研究。历时4a, 取得了一些成果。这些成果大致可分为3部分。第1是干旱机制研究; 第2是预测系统的完善; 第3是扩大预测系统应用范围, 拓宽服务领域, 分别在时间、空间和项目3个方向上拓宽。

1 遥感监测

要实现大范围的干旱监测, 遥感技术是可行的技术途径之一。遥感技术监测干旱, 充分利用了地物表面的光谱、时间、空间和方向信息。

收稿日期: 2006-07-10; 改回日期: 2006-08-11

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”(2004DIB5J192)和“西北农作物对气候变化的响应及其评价方法”(2005DIB3J100)及中国气象局兰州干旱气象研究所启动项目“西北地区干旱气候变化转型机理及对策研究”共同资助

作者简介: 董安祥(1944-), 男, 南京人, 研究员, 主要从事气候变化研究。E-mail: dax-2364@163.com

目前,我国在遥感监测土壤水分领域的研究主要集中在光学遥感上,常用的方法有热惯量法和利用可见光与反射红外遥感资料监测干旱和反演土壤水分。遥感监测干旱研究在西北 5 省中以陕西省进展最快,富有成效。

李星敏等利用 NOAA/AVHRR 资料计算了真实热惯量、表观热惯量、NOAA/AVHRR 通道 4 亮温差与土壤水分之间的关系模型,并讨论了陕西特殊地形、地面植被覆盖对表观热惯量与土壤水分之间关系的影响。结果表明,在实际的干旱遥感监测服务中,可以使用表观热惯量与土壤相对湿度建立的模型来监测地面旱情。考虑地形、植被和土壤类型因素时,下垫面越均一,表观热惯量与土壤相对湿度的相关性越好^[1]。

刘安麟等从能量平衡原理出发,对潜在蒸散的计算进行了简化,从而对作物缺水指数法干旱遥感监测模型进行了简化。利用该方法及 NOAA/AVHRR 资料和有关气象要素资料,对陕西省关中地区春季干旱进行了监测。结果表明,简化后的作物缺水指数法仍然充分考虑了垫面的植被覆盖状况和地面风速、水汽压等气象要素,对该区春季干旱的监测效果好于使用植被供水指数法的监测效果^[2]。

孙威等应用 NOAA/AVHRR 多时段卫星遥感数据,以陕西省关中平原为研究区域,建立了条件植被温度指数干旱监测方法,证实了冷边界和热边界确定方法的合理性以及条件植被温度指数是一种可行的、近实时的干旱监测方法^[3]。

冯蜀青等,将青海省分为东部浅山农业区、环青海湖牧业区、祁连山地牧业区、青南高原牧业区、柴达木盆地牧业及绿洲农业区 5 个区进行旱情监测。利用 EOS/MODIS 卫星资料反演的归一化植被指数 (NDVI) 和地表温度信息,通过建立温度植被旱情指数,对研究区域进行旱情实时监测,并应用 GIS 对旱情变化动态进行监测和预警,初步建立了干旱遥感监测与预警实时系统,能够快速反应各地区旱情发生发展情况,在业务和服务中有较好的应用价值^[4]。

由于干旱的长期性、区域性和复杂性,决定了干旱监测的艰巨性。遥感旱情监测虽然取得了一定的进展,但仍然不能满足气候与环境变化研究,如何定

义面上的干旱有待于进一步完善。如何选择和应用地面数据来验证面上干旱监测的结果还需进一步研究。

2 西北干旱形成机制

2.1 西北干旱的主要环流型可以用“西正东负”来概括

“西正东负”干旱流型的概念,长期以来限于 500 hPa 层次。通过研究指出:“西正东负”干旱流型的特征在 850 ~ 70 hPa 整层大气中均存在。

2.2 通常西北干旱指的是西北地面降水短缺,主要从降水量入手来分析西北干旱问题

通过研究拓展了思路,指出:西北干旱时段,不仅是地面降水量少,而且对流层整层水汽含量也少。西北干旱是一个从地面到对流层整层水汽都少的现象。20 世纪 90 年代中后期天水的重旱事件,就发生在大气可降水量明显下降之中。更重要的是,近 50 a 来,盛夏 7 月西北地区东部可降水量(代表对流层总水汽含量)明显下降,其下降幅度在全球同纬度带中最大。

2.3 500 hPa“西正东负”是典型的西北干旱流型

这里的“西正”,指的是高原东北侧出现一片正距平区。有 3 种过程对这个正距平区的形成起着重要作用。它们是:急流对上游反气旋涡度的平流输送、南侧气旋涡旋的能量频散以及高原热力强迫引起的频散生成高值系统。

2.4 西北干旱机制问题,历来只针对干旱本身

现在将此思路拓宽。认为干旱之所以持续,是因为解除旱情的大雨形势没有形成。云团(涡团)合并,可以形成一个尺度较大的云团(或涡团)。合并后的云团称之为暴雨云团。因此,云(涡)团合并的机制与干旱是否持续密切相关。这方面的动力学问题以往很少研究,目前在非轴对称双涡自组织和多涡自组织方面取得了显著进展。

3 西北地区年代际的气候变化

(1) 研究 500 a 来的干旱气候变化认为,我国东部(含西北地区东部)雨带有 7 次多雨和 7 次少雨过程,它们都最先从北方开始,然后是江淮地区,华南地区出现最迟。我国温度高时,多雨区偏南,温度偏低时,多雨区偏北。我国多雨区自北向南的位相

差异可能与 Hadley 环流的变化有关。我国东部雨带的变化可能主要受太阳活动 80 a 世纪期的制约。

(2) 分析兰州 70 a 来温度变化指出,兰州经历了 2 个暖段和 1 个冷段。第 1 暖段的增暖主要在春、夏、秋季,冬季则偏冷;第 2 暖段增暖幅度明显高于第 1 暖段,持续时间也长于第 1 暖段,并且 4 季同时增暖,冬季增幅最大。1960 年代是最冷的 10 a,以夏季降温最明显;1990 年代是最暖的 10 a,以冬季增暖最明显。其变化趋势与全国基本一致。

(3) 在西北现代气候变化的背景下,研究甘肃降水及其干旱灾害的响应。近 50 a 甘肃年降水量河西在增加,河东在减少,1990 年代处于低谷,突变出现在 1990 年代中期,新世纪初又有上升趋势。区域性连阴雨出现次数,有明显的年代际变化,1950 年代最少,1960、1970 年代最多,1980、1990 年代有所减少。地表水空间分布与降水分布相对应,也是东南多,西北少。河流径流量与流域内降水量呈显著正相关,大部分河流的径流量与气温关系并不密切,只有祁连山西部的河流径流量与气温呈显著正相关。春末夏初是农业关键需水期,各河流来水量仅占全年的 15% 左右,往往造成“卡脖子旱”,对农业生产极为不利,在这里内陆河径流量干旱指数得到了较好应用。干旱灾害有面积增大和频率加快的趋势,1995 年和 2000 年干旱成灾面积为 50 a 来最大。

(4) 研究表明,西北地区气候变暖,使农作物种植结构发生较大改变,越冬作物种植西伸北扩,多熟制向北向高海拔地区推移,喜热作物面积迅速扩大。作物生长发育发生明显变化,春播作物提早播种,越冬作物推迟播种,喜温作物生育期延长,喜热作物如棉花气候产量提高 54.3%。

4 西北干旱新的强讯号

4.1 台风梅雨与西北区东部降水的关系

20 世纪末,首先发现东南沿海台风活动对西北干旱有预测意义,台风活动作为一个强讯号已进入西北干旱预测之中。现在进一步分析了长江中下游梅雨活动与西北干旱的联系。表明,高原东北侧是与梅雨活动相关显著区域,西北地区东部年降水量与梅雨活动存在反相关。并用数值模式分析了这种联系的环流原因。指出:梅雨量多少可以作为西北

干旱的另一个强讯号。这是一个有新意的结果。

4.2 索马里低空急流与西北地区降水量的关系

研究发现:夏季,尤其是 6 月,索马里低空急流与西北地区东部降水量呈明显的正相关。并且存在 3.7 a 周期,索马里低空急流的变化超前 5~6 个月。指出:夏季索马里低空急流可以作为西北地区东部降水的一个强讯号。

4.3 干旱环流

贝加尔湖阻塞高压多发年,西北地区东部初夏降水偏少,少发年,则偏多。春季极涡偏弱(强)年,西北地区东部干旱(多雨)。极涡中心位置偏西(东)半球年,西北地区东部干旱(多雨)。相关最密切的区域是甘肃中部、青海东部和宁夏西部。

4.4 东亚夏季风

渭水流域和高原东侧是与东亚夏季风相关最显著的区域,其旱涝与之呈正相关。因此,可以认为,渭水流域和高原东侧是东亚夏季风在西北地区最主要的影响区。

4.5 高原季风

近来从高原季风、积雪、加热场等入手,研究其与降水异常的联系,提出 1 个与冬季青藏高原季风相联系的“隔季相关”气候异常模型,可对东亚夏季风雨带进行预测。

4.6 海温

西北干旱与海温联系的研究已有许多结果。通过继续深入研究指出:青藏高原东北侧夏季降水与澳大利亚东侧海温存在稳定的显著负相关,尤其与上一年 1~3 月 KEY 海区(165~175°E, 31~21°S) SSTA 及其分布型存在有较好的对应关系。

5 高原干旱气候生态作物适应性^[6]

(1) 作物种植区划指标,以往只单一考虑气象类指标。现在拓展了这个思路,首次提出高原干旱气候生态作物种植区划综合指标体系,既考虑气象类指标又考虑地理位置及经济效益等指标,使指标更接近客观实际。作物生态种植区划等级划分标准、确定的指标类型和权重系数都比较具体,因此,该区划综合指标体系,是对某一区域种植区划指标体系的提升。

(2) 利用田间试验数据、土壤水分和大面积的产量、品质资料,深入细致地研究了甘肃省 26 种作

物的气候适应性,进而确定了气候生态种植区划综合指标。根据气候生态相似原理,进行5级(最适宜、适宜、次适宜、可种植、不宜种植)划分到乡镇的细网格作物适生区划,其结果符合实际。并有针对性地对各种作物提出气候生态资源合理开发利用的途径。

(3)全面系统地研究了在气候变暖和干旱化趋势条件下,甘肃省农业种植结构的调整问题,用气候生态相似原理,综合考虑农业种植结构性调整4个原则,对4个地域,提出结构性调整的发展战略和12个农业种植区的调整具体优化方案。

(4)系统地提出了高原干旱气候区域防旱减灾技术。指出,首先要加强干旱灾害和生态环境动态监测预测,改善生态环境,优化农业结构。要大力开发空中水资源,要提高水资源的利用效率,尤其要大力推广应用集雨节灌技术。研究表明,在年降水量300~800 mm的地域具有普遍意义,在年降水量400~700 mm的地域有效性最为显著。

6 干旱监测预测业务服务系统的研制和升级

6.1 将原系统优化升级,建立了新一代“西北干旱监测预测业务服务综合系统”^[7]

“西北干旱监测预测业务服务综合系统”具有以下特点:

(1)整体性更强。一是系统以短期气候预测为核心,扩展到集资料库、监测诊断、影响评价、预测评估、产品分发和种植区划服务系统以及辅助工具于一体,信息进出都留有接口,构建更加合理。二是干旱专题预测由春末夏初、伏期2个时段扩展到包括早春旱、春旱、秋旱、年综合干旱在内的6个时段,预测内容更为全面。三是服务产品由常规类扩展到干旱气候生态和农业类,服务面更广。四是资料库由气象信息类扩展到农业生态和文献类,资料补充更为及时,种类更齐全。

(2)开放性更好。一是系统置于网络环境之中;二是系统与互联网、局域网以及其他业务系统相连接,获取丰富的最新资讯和有关产品。同时,通过网络向外延伸服务,使整体性功能更好。

(3)物理基础更充实。建立了研究成果转化机制,及时吸纳成果,如梅雨活动、索马里低空急流等

预测强讯号。研制充实了专题预测的概念模型和预测模型。充实气候动力模式产品释用成果。引进预测新方法。探索预测集成模式和概念模型。有效信息量大大增加。

(4)应用功能更完善。进一步优化提升系统工作平台。系统运转顺畅,信息进得来,可自动加工处理,出得去,可全方位提供服务。对新一代系统,边优化升级,边应用服务。经过近2 a的应用,月降水、汛期降水的预测准确率分别提高6%和3%。该系统在兰州中心气象台预测、决策服务和指导市州预报中发挥重要作用。为抗旱防汛、部队演习、黄河水调、铁路防风防洪、森林防火等提供了各种及时准确的服务。

6.2 甘肃省县级区划和内陆河流量预测系统的研制和升级^[6]

(1)首次研制了“甘肃省和县级作物生态气候适生种植区划服务系统”。建立了甘肃省75个县114个乡镇的地理信息资料库和作物气候生态、农业、作物生态遥感、作物气候生态背景资料数据库。

(2)对“内陆河流量预测服务系统”进行了升级完善。从内容到系统结构都进行了充实和完善,系统集背景概况、资料信息、实时监测、流量预测模型、产量评估模型、服务对策、产品分发于一体。资料信息从综合系统调用。实时监测增加了热带气候信号、天文要素、气象要素3项内容。流量预测模型增加了ARMA预测模型、投影寻踪模型、SVM模型。

6.3 陕西省干旱评价和预警系统^[8]

景毅刚等建成了陕西省干旱评价和预警系统。该系统以评价和预警农业干旱为主,结合相应气象水文资料、农作物发育期、50 cm深土壤相对含水量、土壤物理参数即土壤田间持水量、土壤容重、萎蔫系数和不同农作物在不同发育阶段需水分析。干旱指标有:气温、降水指标,农田缺水率指标及农田水分供需比指标等。系统结构主要由基础数据获取、干旱程度评价、预警,干旱起始日期和持续日数推算及干旱分析报告形成、输出等6大模块组成。通过获取基础数据、分析干旱的前期主要因子和未来气象要素变化,经过干旱指标判识、地面土壤墒情监测、气象条件分析等方法,评价当前的干旱程度、干旱起始日期、干旱持续时间,预测未来干旱发生的时间、范围和强度。该系统现已投入业务应用,取得

了很好的效果。

7 科学问题

“十五”期间,西北地区在干旱气象学研究取得了明显的进展,但是和国际前沿水平相比,仍有差距,在干旱气候系统研究方面差距还很大。根据新世纪国内外大气科学的发展趋势、我国西部大开发的社会经济需求,鉴于我国西北地区在干旱气象学方面的研究状况,作者建议今后应重点深入开展以下方向的研究。

(1) 加强干旱气候系统的研究

大气科学不仅是研究大气状态及其变化规律、成因的一门科学,而且是研究大气与其周围的海洋、陆面、冰雪和生物圈相互作用的动力、物理和化学过程的一门综合性科学。随着气候系统概念的提出和对气候系统中 5 大圈层相互作用复杂性的逐渐认识,国际大气科学的发展越来越走向多学科、多部门、跨地区高度合作、高度集成和广泛交叉系统化的发展趋势。要弄清不同时空尺度干旱气候变化的成因,就必须搞清楚气候系统中各“圈”相互作用的热力、动力过程。要弄清大气动力、热力驱动的气候子系统、陆—气耦合的气候子系统、海—气耦合的气候子系统等对干旱气候变化的重要作用。

(2) 加强年代际干旱气候变化的研究

随着全球气候变暖,年代际气候变化的研究成为目前气候研究的热点问题。大气科学在 21 世纪最重要的使命是科学预测 10 a 到 100 a 间的气候环境变化趋势。

中国西北地区干旱年代际变化不仅受全球气候变化的影响,同时又受东南季风、西风带环流,高原季风和高原天气系统的影响,还受到青藏高原的制约。这些使得该地区干旱年代际变化变得极其复杂。特别是其年代际变化的成因和机制还没有明确的结论,需要从不同角度,使用不同手段进行分析和研究。建议从大地形影响、海—气相互作用、太阳活动、地球自转速率和大气本身动力学结构等多方面进行深入的探讨。在目前,要深入研究年代际时间尺度的气候自然变化规律(阶段性与突变)和人类活动的影响。

(3) 开展干侵入研究^[9]

干侵入是源于对流层高层下沉至低层的高位涡

干空气,在卫星云图上表现为明显的暗带;它与湿上升气流之间存在相互作用,从细网格结构看,干侵入是由片流组成的。它在气旋的爆发性发展、暴雨的增幅、位势不稳定的增强、中气旋的产生发展等方面起着重要的促进作用,同时,它能够影响冷锋的演变及其降水特征。因此,对干侵入及其机制的研究具有较大的理论价值和实际天气预报意义。目前,西北地区还没有开展这方面工作。今后应当组织力量,进行探索。

(4) 加强全球变暖背景下干旱环境学的研究

在 21 世纪,气候和环境变化及其影响、预测和控制问题将日益为科学界所瞩目。环境变化不仅关系到人类未来的生存环境,而且对经济发展和社会进步的各个方面都具有潜在的重大影响。目前北方气候干旱化已成为环境问题研究的焦点之一。干旱环境学的提出是环境问题深入研究的必然结果。

当前,要通过干旱、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、水分和其它物质交换通量的观测资料。要研究由水、土、气、生组成的干旱生态环境形成、发展过程和演变自然规律,揭示全球变暖以及人类活动对干旱化影响的过程和机理,开展人类对干旱化适应的理论和方法的探索。

绿洲是沙漠戈壁环抱下的自然地理实体和人类改造自然的社会经济实体组成的复杂系统,是干旱环境下人类社会生存发展的物质基础。绿洲具有地缘性、维水性、脆弱性和高效性。要研究西部干旱区气候变化与绿洲形成演变的关系与干旱环境和人为作用下的绿洲环境演变过程,辨识生态环境演变过程中的自然和人为作用,分析绿洲演变的驱动力,揭示绿洲的形成机制和演变规律;定量辨识绿洲发展演化的驱动力。对西部干旱区生态环境演变趋势进行预测,提出生态系统的调控体系和管理模式,为西部开发和可持续发展服务。

综上所述,“十五”期间,在干旱气象学的研究及其应用方面,取得了一些有科学价值的创新性成果,具有较高的学术水平和实用价值,对国家实施西部大开发的战略具有重要的现实意义。随着国民经济的持续发展,对干旱气候预测和服务会提出新的要求,今后西北干旱气象的研究将不断适应这些新的要求,向深度和广度拓展,为国民经济和社会发展

服务。

参考文献：

- [1]李星敏,刘安麟,张树誉,等.热惯量法在干旱遥感监测中的应用研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):54-59.
- [2]刘安麟,李星敏,何延波,等.作物缺水指数法的简化及在干旱遥感监测中的应用[J].应用生态学报,2004,15(2):210-214.
- [3]孙威,王鹏新,韩丽娟,等.条件植被温度指数干旱监测方法的完善[J].农业工程学报,2006,22(2):22-26.
- [4]冯蜀青,肖建设,校瑞香.利用卫星遥感对干旱进行实时监测和预警[J].青海气象,2005(4):13-16.
- [5]罗哲贤.中国西北干旱气候动力学引论[M].北京:气象出版社,2005.
- [6]邓振镛.高原干旱气候作物生态适应性研究[M].北京:气象出版社,2005.
- [7]林纾,刘治国,杨苏华,等.新一代“西北干旱监测预测业务服务综合系统”[J].干旱气象,2005,23(3):74-78.
- [8]景毅刚,刘安麟,张树誉,等.陕西省干旱评价和预警系统[J].陕西气象,2004(6):20-22.
- [9]于玉斌,姚秀萍.干侵入的研究及其应用进展[J].气象学报,2003,61(6):769-778.

New Development of Arid Climate Research in Northwest China from 2001 to 2005 and Main Scientific Problems

DONG An-xiang¹, BAI Hu-zhi¹, LEI Xiao-bin²

- (1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province,
Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;
2. Gansu Meteorological Science and Technology Service Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract The new advance of arid climate research and research achievements in Northwest China from 2001 to 2005 were reviewed systematically from satellite remote sensing monitoring, the formation mechanism of drought in Northwest China, interdecadal climate variation, the new severe signals of drought forecast, the integrated system of operation and service on drought monitoring and forecasting, as well as crop adaptability to arid climate environment. Moreover, the major scientific problems on arid climate research in the early 21st century were also given out in this paper.

Key words arid climate research; Northwest China; advance; scientific problem