

中国气象局‘八五’重点课题

A Key Research Project in China Meteorological Administration During 1991~1995

——中国西北地区干旱气候的成因、预测和对策研究

Research on Cause of Formation, Prediction and Countermeasure of Arid Climate

# 中国西北干旱气候研究

The Research of Drought Climate in Northwest China

主编：孙国武

副主编：罗哲贤

李兆元 桑修诚

吴永森 许朝斋

Edited by Sun Guowu, Luo Zhexian, Li Zhaoyuan,

Sang Xiucheng, Wu Yongsen, Xu Chaozhai

气象出版社

China Meteorological Press

## 内容简介

本书是中国气象局“八五”重点课题——中国西北地区干旱气候的成因、预测和对策研究的部分重要论文汇编,内容包括西北地区近千年历史气候演变规律研究、西北地区近百年来干旱气候特征分析、数理统计方法在西北地区干旱气候研究中的应用和改进、西北地区本世纪以来严重干旱过程的成因探讨、西北地区干旱气候形成问题的数值研究、西北地区局地气候特征和大气运动可预报性研究、西北地区干旱气候预测因子的诊断分析、西北地区干旱气候资源的研究等九个方面,较为系统地总结了西北干旱气候研究的最新成果。

该书适合于气象科研人员和气象大专院校师生阅读参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

中国西北干旱气候研究/孙国武主编. —北京:气象出版社,1996.11

ISBN 7-5029-2236-9

I. 中… II. 孙… III. 干燥气候-研究-中国-西北地区 IV. P462.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 21241 号

## 中国西北干旱气候研究

主编 孙国武

副主编 罗哲贤 李兆元 桑修诚  
吴永森 许朝斋

责任编辑 成秀虎 终审 周诗健

封面设计 田春耕 责任技编 刘祥玉 责任校对 徐 明

\*

气象出版社 出版发行

(北京海淀白石桥路 46号,邮编:100081)

北京王史山胶印厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:24.625 字数:630.4千字

1997年1月第一版 1997年1月第一次印刷

印数:1—500 定价:45.00元

ISBN 7-5029-2236-9/P·0820

## 序一

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二分之一，大部分集中在我国西北地区。西北地区的干旱、半干旱面积占总面积的 80% 以上。

早在“七五”期间，我曾向西北各省（区）气象局的同志们提出有关干旱气候研究和 service 的一些问题，希望他们加强协作，立足西北，面向全国，从实际出发，以应用研究为主，长远规划和近期计划相结合。这些问题是：分析历史和近代的干旱气候演变规律及其所受人类活动的影响；诊断历史上出现过的严重干旱年和湿润年的环流背景以及中纬度干旱与热带干旱的差异；研究干旱、半干旱区大气环流的异常特征及其与全球大气环流的联系；探讨干旱与沙漠化的联系和下垫面对干旱气候的影响以及干旱、半干旱地区水分平衡、水循环的机制以及开展力所能及的干旱气候数值模拟和干旱气候形成理论等研究。

我高兴地看到事隔不久，在“八五”期间中国气象局即对西北地区干旱气候问题立项研究，课题题目为“中国西北地区干旱气候成因、预测和对策研究”。这本论文集便是这项研究的部分论文的汇编。

这是一本比较系统、有针对性且结合实际的文集，具有鲜明的地方特色和一定的理论基础。内容包含了以下 9 个方面：(1) 西北干旱问题大气环流异常的波列结构；(2) 西北干旱与世界其他地区干旱的联系和差异；(3) 极冰、地震、印度洋海温与西北干旱的诊断分析；(4) 西北干旱气候成因的数值试验研究（包括植被覆盖度、CO<sub>2</sub> 浓度变化和青藏高原地形等对西北干旱气候的影响）；(5) 西北干旱气候资源（风、水、热等）的利用和气候变化对热量资源的影响等；(6) 西北干旱历史的和现代的演变特征；(7) 西北干旱灾害对粮食和经济作物影响的评估；(8) 西北干旱预测技术；(9) 西北干旱气候资料系统。

这本文集的出版为西北干旱气候的研究打下了一个非常好的基础。我希望这是一个新起点，好开端，有助于推动和促进对西北干旱气候的深入研究。我也希望西北地区的同志，很好地利用这些研究成果，更好地开展干旱气候服务工作。我还希望在我们这个幅员辽阔，气候差异悬殊的国家，能在区域气候的研究方面蒸蒸日上。

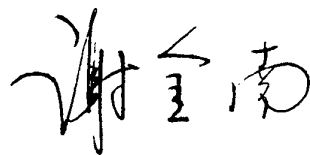
陶詩言

1996 年 8 月 30 日

## 序二

我国西北地区与青藏高原相连,面积接近全国总面积的三分之一,且位于亚欧大陆腹地,高山环绕,海洋上的暖湿气流受阻而难以直接到达,是我国也是世界最严重的干旱区之一。这里的地理特征和下垫面作用,可能会对全球变化有相当影响;这里的矿产、能源和气候资源丰富,是开发石油、煤炭和稀有金属以及建设有特色的农牧业的重要地区。因此,无论是从科学还是从经济学角度看,西北地区干旱气候的研究都具有十分重要的意义。

“八五”期间,在中国气象局的领导下,西北各省(区)气象局和南京气象学院共同承担“中国西北地区干旱气候成因、预测和对策研究”重点课题。在三年多时间里,由于各单位团结协作,相互学习,相互支持,相互帮助;课题组老专家以身作则,带头苦干,对年轻同志具体的传、帮、带;年轻科技人员事业心强,虚心学,踏实干;中国气象局科教司和各单位领导的重视以及科教处加强科学管理,所以取得了一批具有西北地区地方特色和针对西北地区服务需要以及有一定理论基础的研究成果,而且运用这些科研成果,在1995年西北地区出现的50年一遇的大旱过程的气象服务中,发挥了一定作用。本文集是这个课题部分研究论文的汇编,内容涉及干旱气候的观测事实研究;干旱气候的动力诊断研究;干旱气候的数值试验研究;干旱气候的预测方法研究;干旱气候资源利用研究;干旱气候资料系统研究等方面。任何一项科学研究课题,除了出成果,还要出人才。我高兴地看到,这个课题从一开始就特别重视培养年轻科研人才,采取了个别指导,集体会战,专题讲座,学术交流等多种方式以及把年轻人推到科研第一线,给任务,给机会,给条件,促进他们的成长、提高和进步。据统计,参加这个课题的青年科技人员,已有十余名晋升高级职称。在目前经济大潮的冲击下,有这样一批年轻科学工作者在老专家的带领下,仍默默地在科研领域里辛勤耕耘,这种奉献精神是难能可贵的,也是应该大力提倡和赞扬的。干旱气候研究任重道远。干旱气候研究的主要任务是预测干旱气候的变化,实际上是围绕着平衡状态的扰动,预测平衡状态的偏差和距平,这涉及到大气自身的变化和海洋、冰雪覆盖、陆地表面、地球上生物分布以及太阳辐射等一系列复杂的系统本身、系统间的物理过程。但无论如何,科学研究是一个逐步积累的过程,这个课题的研究和这本文集的出版将为干旱气候研究打下一个好基础,创造一个好前提。



1996年8月30日

# 前 言

众所周知,气候问题是一项具有重要社会经济意义的科学问题。因为气候变化与经济建设、社会发展和人类生存有着紧密的联系。而干旱气候,是我国也是世界最主要的气候灾害,其特征是持续时间长,发生频率高,危害程度重。

干旱问题是世界性问题,干旱气候及其对社会、经济影响的研究一直为世界各国科学家所关注。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二分之一,大部分集中在我国西北、华北和东北部分地区。西北地区的干旱、半干旱面积占总面积的 80% 以上。

气候干旱、水资源少是西北地区工、农、牧业发展的主要障碍,但该区矿产、能源和气候(光、热、风)资源丰富,是开发石油、煤炭和稀有金属,建设有特色的农牧业的重要地区。

因此,西北地区干旱气候对工农业生产‘害’‘利’同存的情况下,中国西北地区干旱气候成因、预测和对策研究’被列为中国气象局‘八五’重点课题,对西北地区改革开放、经济发展和防灾减灾有着重要的现实意义。

本课题由甘肃省气象局主持,西北各省(区)气象局和南京气象学院参加。主要遵循科研与业务结合,研究与服务并重的原则,针对我国西北地区干旱气候成因、预测和对策进行研究和服。在服务上,面向改革开放,面向市场经济,不断开拓服务新领域,为西北地区经济建设服务。在研究上,立足西北,从实际出发,不断创新,注意当前世界干旱气候研究的前沿课题,重点培养青年科研人才。

本研究设立了 7 个分课题:

1. 西北干旱资料系统的研究(宁夏回族自治区气象局主持)。
2. 西北干旱气候资源研究(新疆维吾尔自治区气象局主持)。
3. 西北干旱气候演变规律研究(陕西省气象局主持)。
4. 西北干旱的大气环流三维结构研究(甘肃省气象局主持)。
5. 影响西北干旱气候形成的物理因子及其数值试验研究(甘肃省气象局主持)。
6. 西北地区区域气候形成的数值试验研究(南京气象学院主持)。
7. 西北干旱气候预测研究(青海省气象局主持)。

本研究在以下 13 个方面取得了明显的进展,具有地方性、创新性和实用性。

(1) 西北干旱气候与世界上其他地区干旱气候的联系和差异及干旱气候形成期间亚非大陆大气环流异常的低频遥相关波列结构,地震迁移与干旱扩展、大气圈与岩石圈相互联系方面。

(2) 大尺度海气相互作用与西北干旱气候变化,特别是热带大西洋海温、印度洋海温及该二海区上空大气的滞后响应所引起的大气环流各成员如马斯克林高压、越赤道气流和印度季风与西北地区降水的联系方面。

(3) 根据历史文献资料重建西安地区近千年(990—1990 年)旱涝等级序列资料和根据陕北长城沿线树木年轮,重建陕北地区近 500 年(1515—1990 年)降水量资料以及以西北 5 省(区)13 个站点的旱涝等级值为基础,综合分析、计算而得到的西北地区 520 年(1470—1990 年)旱涝等级资料方面。

(4) 西北地区近 1000 年、500 年旱涝等级和 100 年来年、月降水量的演变事实,包括西北区和分区的趋势、跃变、周期、阶段性等特征和这些特征的局地性(其变化仅限于西北地区)和

非局地性（其变化与亚非大陆一致）方面。

（5）以观测事实（统计事实和天气学事实）和实况演变为基础的西北地区干旱气候形成因子的数值试验研究，尤以青藏高原上空大气环流异常，西北地区地表反照率异常和印度洋海温异常对西北干旱的形成和演变以及青藏高原热源变化对黄河上游径流量的影响方面。

（6）二氧化碳浓度渐增（而不是倍增）对西北气候的影响和二氧化碳浓度变化对西北地区热量资源影响的细致结果（如二氧化碳浓度倍增将会使 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 4000 度的等值线向北推移一个纬度）方面。

（7）植被覆盖度对局地气候的影响，包括用数值结果证实颜宏和 Anthes 的二维结果在三维条件仍然成立以及植被覆盖度的渐变，下垫面非均一性激发的垂直气流所显示出的流型特征方面。

（8）定量计算西北地区降水量的可预报时效，并与中国东部及北美干旱区进行比较，以及大气低频系统的可预报性方面。

（9）西北干旱区的气候资源时空分布特征和变化规律，以及农业气候生产潜力，包括热量资源、水资源、风能资源和积雪资源及其在本地区的经济作物、农作物和工业生产的计划安排、合理布局如何综合利用干旱气候资源方面。

（10）树木年轮学、气候学和水文学的结合，利用树木年轮，重建北疆 250 年（1740~1990 年）地表水资源序列，分析气候变化对大范围地表水资源的影响，以及建立塔里木河流域上、中、下游用水户水资源利用综合效益评价模型和优化分配方案方面。

（11）综合考虑气象、作物和土壤水分因素，具有较高精度，适宜于西北干旱地区推广使用的新疆梭梭林土壤水分监测模型和棉田蒸散量模型的研究方面。

（12）预报西北地区年度和季度干旱的不同时段、不同区域的印度洋和大西洋海温、北极冰雪面积，西北地区地温，青藏高原热状况等预测强信号诊断分析，以及预测农业年景的“环流气候-产量”预测模型方面。

（13）“西北干旱气候资料系统”的研究方面。该系统包括适合西北地区干旱气候研究和服务的各种资料、图表和软件系统，有原始的和加工整理的资料；常规和非常规气象资料；历史的（近千年）和近代的（近百年）长序列资料 西北全区和分区的旱涝连续资料等。这不仅为现在，也为今后深入研究干旱气候奠定了良好的资料基础，避免了大量的重复劳动。

本课题虽然经过数年的努力，在前人工作的基础上，前进了一大步，但干旱气候研究不可能在短时期的研究后就画上一个句号，这不符合科学发展的规律和实情。希望干旱气候的研究、应用与服务继续深入、提高。

这本文集是本课题上述诸方面的研究成果中的部分研究论文的汇编。大体上按相关的专题内容顺序编排，并附加小标题，以便于读者阅读参考，还望不吝指正。

借文集出版之机，对中国气象局科教司、西北各省（区）气象局和南京气象学院领导的重视、支持，以及课题成员单位科教处的科学管理，表示谢意 对参加本课题的专家、学者、教授和青年科研人员的团结、协作、互助、拼搏、奉献精神表示敬意。

中国气象局‘八五’重点课题  
“中国西北地区干旱气候成因、预测和  
对策研究”课题组组长：

孙国武

1996 年 10 月 11 日

# 目 录

序一  
序二  
前言

## 西北地区干旱气候研究的科学问题

Research on Northwest China's Arid climate is Planned ..... (1)

## 西北地区近千年历史气候演变规律研究

近 500 年旱涝等级序列分维特征的初步分析.....夏爱玲、罗哲贤 (3)  
近百年来中国西北和亚非其他地区干旱的分析和诊断.....孙国武、俞亚勋、冯建英(7)  
西安地区近千年(公元 990~1989 年)旱涝气候变化 .....李兆元等 (16)  
青海湖流域全新世以来气候变化的初步探讨 .....周陆生、汪青春 (20)  
新疆西部近 250 年干湿变化特征 .....王承义 (24)  
北疆 1950 年地表水资源变化特征及未来趋势预测.....袁玉江、桑修诚、吴素芬 (31)  
西北地区近 210 年旱涝特征分析 .....李兆元、杨文峰、郭剑侠 (37)  
甘肃省近五百年旱涝演变中的跃变现象 .....王宝灵等 (44)  
利用古松年轮资料重建陕西榆林气候 .....李兆元、杨文峰、吴素良 (48)

## 西北地区近百年来干旱气候特征分析

中国西北地区月降水量的年际变化及分区研究 .....王宝灵等 (52)  
陕、甘、宁、青干旱序列年表及其气候特征 .....吴永森、孙武林 (59)  
中国西北地区不同季节降水、气温异常的时空分布及其与西北干旱的关系 .....靳立亚、秦宁生、吴永森(66)  
中国西北地区年降水量分区及各区的干旱特征 .....杨文峰、李兆元、李星敏(75)  
陕西气候异常的研究 .....王玉玺、栗珂、侯明全(81)  
甘肃降水与干旱规律的研究 .....王玉玺、张武、胡文东(86)  
陕西省年降水量的长期变化趋势 .....李兆元等 (94)  
青海湖水位年际变化规律的分析和预测 .....周陆生、汪青春(99)  
黄河上游径流量年际变化特征的分析 .....陈彦山 (105)  
青海东部气候对流量的影响分析 .....袁玉江、桑修诚 (113)

## 数理统计方法在西北地区干旱气候研究中的应用和改进

改进典型相关分析在西北春季旱涝预测中的应用 .....卫捷、秦宁生、吴永森(118)  
奇异值分解法(SVD 法)在西北区夏季旱涝预测中的应用.....卫捷、秦宁生、吴永森(126)  
应用 CEOF 方法分析西北地区温度演变规律 .....杨文峰等 (134)  
一种新的气候跃变分析方法及其在西北地区东部的应用.....杨文峰、李兆元、李星敏(140)

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| 利用移动极大熵谱法分析陕西汛期降水的准周期振荡 ..... | 李星敏(145)        |
| 西安气温的小波分析 .....               | 戴进、杨文峰、李兆元(149) |

#### 西北地区本世纪以来严重干旱过程的成因探讨

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| 本世纪以来西北地区两次大旱的分析 .....  | 孙国武、赵红岩(153) |
| 1995 年甘肃春季初夏干旱的分析 ..... | 蔡玉琴等(159)    |
| 西北地区特大干旱成因分析 .....      | 杨月娟等(164)    |

#### 西北地区干旱气候形成问题的数值研究

|                                         |                  |
|-----------------------------------------|------------------|
| 植被覆盖度变化对干旱气候的作用 .....                   | 余晖、罗哲贤(169)      |
| 植被区面积对局地气候影响的数值研究 .....                 | 罗哲贤、余晖(176)      |
| CO <sub>2</sub> 浓度渐增对气温影响的敏感性试验 .....   | 邹立尧、罗哲贤(181)     |
| 青藏高原环流异常和西北地区地面反照率变化对降水影响的数值试验 .....    | 孙国武、俞亚勋、王宝灵(187) |
| 印度洋海温和北极海冰异常对中国西北地区夏季降水影响的数值试验 .....    | 俞亚勋、孙国武、冯建英(195) |
| 一个用于研究 CO <sub>2</sub> 问题的辐射-对流模式 ..... | 邹立尧、罗哲贤(203)     |
| 局域阻塞流型的数值试验 .....                       | 蔡蕃、罗哲贤(210)      |

#### 西北地区局地气候特征和大气运动可预报性研究

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 干旱、半干旱区域降水趋势可预报期限的初步研究 ..... | 马镜娴、罗哲贤(216) |
| 低频大气可预报性的初步研究 .....          | 俞亚勋、孙国武(220) |
| 马宗山区低层大气运动特征的若干研究 .....      | 王陆东、罗哲贤(225) |
| 近地层污染大气中湍流热量传输 .....         | 吴林馥、罗哲贤(231) |
| 气温长期演变趋势中城市化的可能影响 .....      | 余晖、罗哲贤(236)  |
| 地球大气属性平衡关系 .....             | 吴林馥、罗哲贤(240) |

#### 西北地区干旱气候预测因子的诊断分析

|                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| 西北区逐季 3.2m 地温场和降水场相关分析 .....          | 卫捷、汤懋苍(244)      |
| 西北区秋季旱涝与前期印度洋海温奇异值分解分析 .....          | 卫捷、吴永森、秦宁生(250)  |
| 冬季北极海冰对大气环流的影响及其与西北地区降水气候预测的研究 .....  | 吴永森、秦宁生、卫捷(259)  |
| 大尺度海气相互作用与中国西北干旱气候变化的联系 .....         | 孙国武等(266)        |
| 热带太平洋海温与我国西北地区降水及 500hPa 环流场的分析 ..... | 冯建英、孙国武、俞亚勋(272) |
| 青藏高原热状况与青海东部春季降水 .....                | 孙武林(278)         |
| 印度洋海温与西北汛期旱涝气候预测研究 .....              | 秦宁生、卫捷、吴永森(283)  |
| 强火山爆发、厄尼诺事件与西北地区夏季降水 .....            | 杨文峰、李兆元、李星敏(290) |
| 西北地区旱涝规律及其预报 .....                    | 杨文峰等(295)        |



## 西北地区干旱气候资源的研究

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| 气候变化对我国西北地区热量资源的影响 .....           | 方丽娟、罗哲贤 (299)     |
| 新疆棉花生产气候条件研究 .....                 | 黄敬峰 (305)         |
| 西北地区热量资源分布特征——农业气候界限温度及其积温 .....   | 袁春琼 (311)         |
| 新疆风能资源分区和开发利用建议 .....              | 桑修诚 (320)         |
| 西北地区一些界限温度期间的降水量 .....             | 袁春琼 (330)         |
| 梭梭柴林地土壤水分动态监测的研究 .....             | 刘绍民、李银芳、傅玮东 (337) |
| 新疆北部地区棉田蒸散量预测模型的研究 .....           | 刘绍民、桑修诚、傅玮东 (342) |
| 北疆气候场与地表水资源场间的相关性研究 .....          | 袁玉江、桑修诚 (348)     |
| 利用卫星遥感资料对新疆积雪变化的初步分析 .....         | 周毅 (353)          |
| 西北地区大气环流、气候和气象产量的关系及其农业年景的预测 ..... | 汪青春 (358)         |
| 甘肃省玉米产量与降水及其环流背景的研究 .....          | 韩永翔、万信、张平兰 (365)  |

## 附 录

|                  |            |
|------------------|------------|
| 西北干旱气候资料系统 ..... | 尚永先等 (371) |
|------------------|------------|

## Research on Northwest China's Arid Climate is Planned

Sun Guowu   Chen Baode   Wan Ludong

(Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730020)

The arid and semiarid region of China makes up about half of the country's total land area. In the northwestern area of China, arid and semiarid land makes up more than 80% of the land area. This region recorded 1056 severe droughts and 1029 floods during the 2155 year period from 206 B. C. to 1949 A. D. In accordance with the principle of combining basic and applied scientific research, and placing equal emphasis on research and service, scientists will conduct research on the causes, prediction, and mitigation of aridization in northwest China. This project will be supported by the China Meteorological Administration during 1993-1995. Researchers from the provinces and regions of northwest China will participate in the work. This project will be important for economic development and disaster reduction and prevention.

Northwest China has features typical of arid and semiarid regions, so research on the area will relate to corresponding research for other arid and semiarid regions of the world. These regions account for about one-third of the area of the earth. The project will establish an arid climate database for northwest China and also the Open Laboratory of Arid Climate in the Lanzhou Regional Meteorological Center. The data system will involve the collection and processing of data on arid climate (both conventional and nonconventional data), retrieval and storage of data, and construction of a graphics bank. To improve the level of research in northwest China and promote international cooperation and education of young researchers, the laboratory will accept, invite, and exchange domestic and foreign scientists.

Project objectives are as follows:

1. The analysis of the evolution of northwest China's arid climate and the three-dimensional structure of its general circulation.
  - a. The analysis of historical droughts in northwest China.
  - b. A comparison of the similarities and differences between aridity in northwest China and other arid zones.
  - c. The analysis of changes in northwest China's climate.
  - d. The analysis of the atmospheric circulation associated with northwest China's arid climate.
  - e. The analysis of general circulation anomalies and three-dimensional teleconnections of northwest China's arid climate.
  - f. The diagnostic analysis of meridional and zonal circulation and subsidence between central Asia and northwest China.
  - g. A study of the diagnostics of coupling and feedback between large-scale and small-scale meteorological conditions and relationships between their formative circulations.

2. Research into physical factors influencing northwest China's arid climate using numerical experimentation techniques.
  - a. Influence of the Tibetan Plateau, Tian Shan Mountain, and East Asia sea-land distribution on northwest China's arid climate.
  - b. Relationship of the Tibetan Plateau with abrupt changes in northwest China's arid climate and general circulation patterns.
  - c. The influence of northwest China's land -surface processes on the production of its arid climate(albedo, soil humidity, roughness, vegetation, and so forth).
  - d. Research on physical processes underlying aridity in northwest China.
  - e. Physical mechanisms of the relationship between the jet stream to the north of the Tibetan Plateau, its abrupt changes, and trends in northwest China's aridity.
  - f. The influence of solar activity and CO<sub>2</sub> and other trace gases on northwest China's aridity.
  - g. Interactions between human activity and northwest China's arid climate.
  - h. Research on land-water circulation processes and feedback with northwest China's arid climate.
3. Research on climate prediction techniques(with emphasis on annual time scales and objective prediction).
  - a. Short-term climate prediction for northwest China.
  - b. Composite prediction model for "Climate-Circulation- Agricultural Harvest Years. "
  - c. Other irregular meteorological prediction (e. g. , river flows).
4. Research on agricultural drought strategies in arid zones. Project researchers plan to develop an ecological crop model to assist with this project. Existing drought management methods will be reviewed. This research will concentrate on the following.
  - a. Temporal and spatial relationships between soil humidity and precipitation, as well as an understanding of drought severity.
  - b. Water requirements of principal agricultural plants(including crops, grasses, trees, etc. ) and the investigation of drought-resistant plant varieties.
  - c. Determining agroclimatic production potential.
  - d. Using optimization theory to determine crop potential in various agroclimatic zones for northwest China.

Northwest China is connected to the Tibetan Plateau and located at the hinterland of the Asian continent. The arid climate of this region and the Tibetan Plateau plays an important part in global climatic change.

# 近 500 年旱涝等级序列分维特征的初步分析

夏爱玲 罗哲 贤

(南京气象学院,南京 210044)

## 提 要

用我国西北部和东南部近 500 年旱涝等级区域平均值的 8 个序列,计算了它们的分维数,并讨论了序列中无记录年代的长度及旱涝文字记载数字化的方法对分维数结果的影响。

关键词:旱涝等级 分维数 序列

## 一、引 言

分析降水量时间序列的统计规律,是旱涝长期预报的基础性工作。长期以来,人们把降水量等气象要素的时间序列视为很多个规则分量的线性叠加,用周期图分析、方差分析、谱分析等方法提取出显著的若干个分量,据此外推未来趋势。这可以归于线性范畴。

80 年代以来,在观测资料时间序列的分析方面有一些新的思路。如分析时间序列的动力学结构,将观测资料的数字处理与非线性动力学的概念结合起来。大意如下:不是将观测资料的时间序列视为规则分量的叠加,而是视为非线性动力系统的一个特解,或者说视为相应于该系统的相空间中的一条轨迹。既然是有限空间内的轨迹,无非可以分为三类。第一,经过一段位移后静止下来不再移动;第二,经过一段时间间隔后,重复原先的轨道,而后周而复始,一遍一遍地循环往复;第三,不论经过多长时间,过去轨道的形态都不会重复出现。这三类轨道分别相应于平衡解,周期态和非周期流。

平衡解的情况在实际大气降水量的观测序列中一般不会出现,这里不去讨论。对于周期态的研究,一系列的分析方法已经比较成熟,包括上述的周期图分析等。在线性范畴内,若某些序列全部试验周期全部不能通过显著检验,则认为这些序列无显著周期,对它们的分析即告终止。但是,在非线性的框架内,我们可以继续分析这些‘非周期流’序列的动力学结构,分析它们非规则的程度,分析它们可以被预测的时间尺度。具体做法是,根据原观测序列重建相空间,然后计算分维数和  $K_2$  熵。大略说来,分维数是描述序列中要素演变复杂性和非规则性的一个量度,分维数的取值愈大,演变形态愈复杂。分维数又与  $K_2$  熵之间有密切联系, $K_2$  熵的倒数即为可预测的时间尺度,一旦超出这个尺度,未来状态的预测就很困难。关于分维数和  $K_2$  熵的计算方法等可见文献[1]。

注意到分维数的计算对序列的长度有一定要求(序列样本数一般至少要  $> 250$ ),本文中,我们用我国西北部及东南部站点近五百年旱涝等级资料计算分维数,并做一些初步的讨论。

## 二、资 料

资料取自文献[2]。计选取 32 个站,其中西北地区 17 个站,东南部 15 个站(表 1)。根据这些台站历年旱涝等级资料,按表 1 中所列 8 个区域,求出各个区域近 500 年旱涝等级的平均值的序列(序列长度 510 年)。这些区域平均值序列是本文计算和分析的基础。

表 1 资料站点一览表

| 省(区)名       | 新疆                | 甘肃          | 青海     | 宁夏 | 陕西             | 山东             | 安徽             | 江苏<br>(含上海市)   |
|-------------|-------------------|-------------|--------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 站点数         | 5                 | 4           | 2      | 1  | 5              | 5              | 5              | 5              |
| 站名          | 乌鲁木齐、阿勒泰、伊宁、哈密、喀什 | 兰州、张掖、天水、平凉 | 西宁、格尔木 | 银川 | 西安、延安、榆林、汉中、安康 | 济南、德州、莱阳、临沂、菏泽 | 合肥、蚌埠、阜阳、安庆、屯溪 | 南京、上海、徐州、扬州、苏州 |
| 无记录年代百分率(%) | 93                | 26          | 73     | 21 | 0              | 1              | 0              | 12             |

表 1 中,无记录年代百分率  $A = N/M_0$  这里  $N$  为某个区域内所有站点无旱涝等级记载年份的总和,  $M$  等于该区域内站点数乘以 510。

实际计算时,对无记录的年份,一律以正常(即 3 级)代入。这自然会引进一些误差,对此下文会进一步讨论。

### 三、初步计算结果

用每个区域旱涝等级的平均值序列计算分维数时,先要重建相空间。需要对指定的嵌入空间维数  $M$ , 对不同的距离阈值  $\epsilon_i(M) (i = 1, 2, \dots, N)$  计算关联函数  $C_D(M)$ 。在  $L_N(C_D(M)) - L_N(\epsilon(M))$  图上,  $L_N(C_D(M))$  随  $L_N(\epsilon(M))$  变化的曲线有一段准线性区。在这个

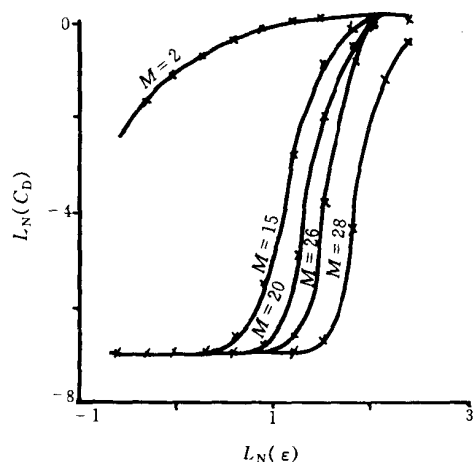


图 1 山东旱涝等级平均值序列的  $L_N(C_D) - L_N(\epsilon)$  图

线性区内,线段的斜率即为  $D(M)$ 。函数  $D(M)$  随着嵌入空间维数  $M$  的增大先是加大,而后不论  $M$  如何增大,  $D(M)$  不再增大,达到一个渐近值。这个渐近值记为  $D$ , 即为该序列的分维数。实际计算时,要确定嵌入空间维数  $M$  的最大值。经试算,令  $M = 28$ 。图 1 给出山东旱涝等级平均值序列的  $L_N(C_D(M)) - L_N(\epsilon(M))$  图。可见  $M = 15$  时与  $M = 2$  时相比,准线性区直线的斜率增大了。但是,  $M = 28$  与  $M = 26$  时相比,准线性区直线的斜率不再增大,两者几乎相同,说明这时线段的斜率即为该序列的分维数。

近 500 年旱涝等级资料系根据文史记载转化而来,其中有不少无记载的年份,造成无旱涝等级的时段。这个问题对西北地区比较突出。如新疆、青海,无记录年份百分率分别高达 93% 和 73%。

如上所述,对于无旱涝等级记录的年份,实际计算时用正常级即 3 级插补。下面我们先来分析这种插补可能引起的误差。

#### (一) 无记录年份百分率对分维数计算结果的影响

我们考虑,在缺记录的不连续序列中,大段大段地插入正常级,会人为地增大序列的规则

程度,使序列变得比较“平滑”,结果导致分维数计算值的人为减小。实际计算结果表明 随着无记录年份百分率的增加,分维数的数值确实是变小了,而且这种人为引进的误差可能会使计算结果相差一倍以上。新疆的无记录年份更多,计算出的分维数更小,几乎没有意义(表 2 中未列入)。

表 2 无记录年份百分率对分维数计算结果的影响

| 区 域             | 青 海 | 甘 肃 | 宁 夏  | 陕 西  |
|-----------------|-----|-----|------|------|
| 无记录年份<br>百分率(%) | 73  | 26  | 21   | 0    |
| 分 维 数           | 4.1 | 8.8 | 10.7 | 10.0 |

从这里的结果可以推测,在近 500年旱涝等级序列中,若无记录年份的百分率不大于 1/4,分维数的计算结果尚可参考,否则意义就不大了。

(二) 不同的文字记载数字化方法及其对分维数计算结果的影响

近 500 年旱涝等级序列是通过将文字记载转化为数字的途径得到的。在这个转化过程中,也引进了人为性。因为旱涝等级用 1,2,3,4,5 表示,这 5 个数字不同顺序排列所构成的序列与年降水量构成的序列不同。这里,旱涝等级仅代表该年份的旱涝程度,并没有大旱(5 级)与大涝(1 级)之间降水量相差 5 倍的意思。但是,在年降水量的观测序列中,数字即代表年降水量,不同年份之间降水量的差别即由这些数字之间的差别表示。因此,用旱涝等级序列计算的分维数结果,同其它实测气象要素序列的计算结果之间,不宜做直接的对比。为了进一步讨论这个问题,我们用三种不同的数字化方法进行计算。(1)直接用文献中旱涝等级,用 1,2,3,4,5 代表 5 个旱涝等级;(2)将大涝(1 级),涝(2 级)合并为涝,将大旱(5 级),旱(4 级)合并为旱,正常级不变,涝、正常、旱 3 个等级分别用数字 2,3,4 表示;(3)如第二种方法确定涝、正常、旱三级,但这 3 个等级分别用数字 2.5,3.0,3.5 表示。我们用这 3 种数字化方法计算了山东、江苏、安徽 3 个区域旱涝等级平均值序列的分维数。

因为这里主要关心不同区域不同数字化方法分维数的相对大小而不是它们的绝对数值,故引进相对比值  $K_j$ ,这里  $K_j = D_j/D_1, (j = 1, 2, 3)$ 。 $D_j$  为第  $j$  种数字化方法计算得到的分维数。结果:不同的数字化方法可以使分维数的计算结果相差 20% ~ 30%,差值最多可大于 40%(表 3)。

表 3 不同数字化方法的  $K$  值

| 区 域 | 第一种方法 | 第二种方法 | 第三种方法 |
|-----|-------|-------|-------|
| 山 东 | 1.00  | 0.81  | 0.72  |
| 江 苏 | 1.00  | 0.76  | 0.53  |
| 安 徽 | 1.00  | 0.83  | 0.74  |

(三) 我国西北部与东南部分维数计算结果的对比

对安徽、江苏、山东、陕西、宁夏、甘肃 6 个区域旱涝等级平均值序列计算分维数。结果分别为 12.7(安徽),12.1(江苏),11.0(山东),10.0(陕西),10.7(宁夏),8.8(甘肃)。宁夏和甘肃分维数数值较小,可能与无记录年份较多有关。总的看来,西北部与东南部之间旱涝序列的分维数比较接近。

四 、 讨 论

1. 无论是我国东南部湿润 - 半湿润区域,还是我国西北部干旱 - 半干旱区域,近 500 年以

来旱涝等级的区域平均量序列具有分维数结构,说明旱涝演变可能具有复杂的非规则特征。

2. 分维数计算结果与旱涝等级序列中无记录年份的多少有密切的关系。在旱涝等级序列中,对无记录年份一般用“正常”等级来补全。这种插补方法使旱涝演变的复杂程度减少了,分维数数值减小。这在今后类似的研究中值得注意。

3. 我国东南部和西北部旱涝等级平均值序列的分维数大致相近,意味着东南部和西北部旱涝随时间演变的不规则程度相近。这似乎说明,在我国东南部和西北部旱涝的形成过程中,大尺度的气候因子起主要作用;区域性气候因子的作用是次要的。

#### 参 考 文 献

- [1] 罗哲贤、马镜娴,台风运动的内在随机性,气象学报,1,18~26(1994)。
- [2] 国家气象局气象科学研究院,我国近 500 年旱涝分布图集,气象出版社,(1982)。

## A PRELIMINARY ANALYSIS OF THE FRACTAL DIMENSION CHARACTERISTICS OF THE RECENT 500-YEAR FLOOD/DROUGHT RANK SEQUENCE

Xia Ailing      Luo Zhexian

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

#### Abstract

The fractal dimension of 8 sequences of area-averaged values of the recent 500-year flood/drought rank in Northwest and Southeast China is calculated in this paper, and the influence of the length of the norecord-year in the sequences and the method transforming the flood/drought literal record into numbers on the result of fractal dimension are also discussed.

**Key words:** Flood/Drought rank, Fractal dimension, Sequence.

# 近百年来中国西北和亚非其他地区干旱的分析和诊断

孙国武 俞亚勋 冯建英

(兰州干旱气象研究所, 兰州 730020)

## 提 要

本文分析了近百年来中国西北地区与亚非其他地区(北非、中东和中亚)干旱的演变特征及其相互联系与差异,指出从北非到中东到中亚到中国西北地区,干旱有依次向东扩展的趋势。同时,还研究了这些地区干旱发生的大气环流异常的低频遥相关型及其相应的低频波列。这种波列一方面表明,干旱出现与大气环流异常有关;另一方面也表明各地区大气环流异常是相互联系的。

关键词:中国西北地区 北非 中东 中亚 干旱

中国西北地区是典型的干旱、半干旱地区,干旱、半干旱地区面积占 80%以上,在世界干旱、半干旱地区中有其代表性;中国西北地区发生的干旱,次数频繁,程度严重,持续期长,在世界其它地区发生的干旱中,也有其代表性,正因为如此,中国西北地区的干旱研究,引起国内学者极大的关注<sup>[1-3]</sup>。

干旱是大范围区域气候异常的最主要的表现形式之一,而气候异常实际上是大气环流异常的结果。地球大气是一个整体,一个区域大气环流的异常可以引起另一个区域大气环流的异常。故本文的研究不局限在西北地区的范围内研究西北地区的干旱,而是把西北的干旱与亚非其它地区的干旱联系在一起,着重讨论中国西北地区干旱与亚非其它地区干旱的联系及其区域性环流异常引起的遥相关水平波列结构的差异。

## 一、资料分析和干旱标准

### (一)资料分析

本文根据美国NCAR地面气候资料和每月世界气候资料<sup>[4]</sup>,挑选北非萨赫勒(Sahel)和撒哈拉(Sahara),中东和中亚地区有 100 余年(1870~1990)降水资料序列而又在地理上、气候上有一定代表性的气象测站的降水资料进行重点分析(图1)。它们是(区站号):北非地区有 61600(16°03'N,16°27'W),61415(21°06'N,15°57'W),61024(16°58'N,7°59'E),61090(13°47'N,8°59'E),62721(15°36'N,32°33'E);中东地区有 40184(31°47'N,35°13'E),40650(33°20'N,44°24'E),40754(35°41'N,51°19'E),中亚地区有 38507(40°02'N,52°59'E),38457(41°16'N,69°16'E),35121(51°45'N,55°01'E)。为叙述简便起见,北非、中东和中亚地区分别以 A、B 和 C 区表示。先计算各区每个站的年雨量标准化距平和距平累积,然后平均并绘成 A、B、C 区的年雨量标准化距平曲线和距平累积曲线(图 2~图 4)。在图 2~图 4 中,同时给出与 A、B、C 区相对应的区域内  $\geq 6.0$  级地震次数图。

中国西北地区(陕西、甘肃、青海省和宁夏、新疆自治区)器测雨量资料最早是从 30 年



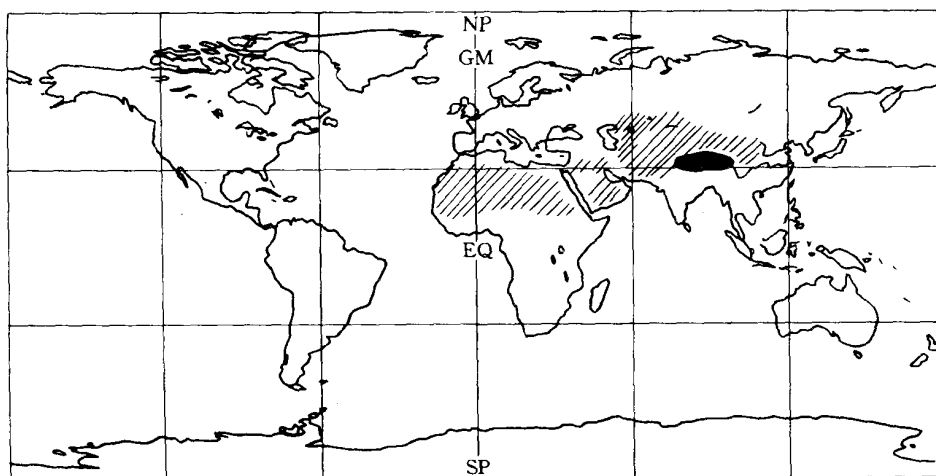


图 1 干旱地区(斜线区)示意图  
黑色区为青藏高原

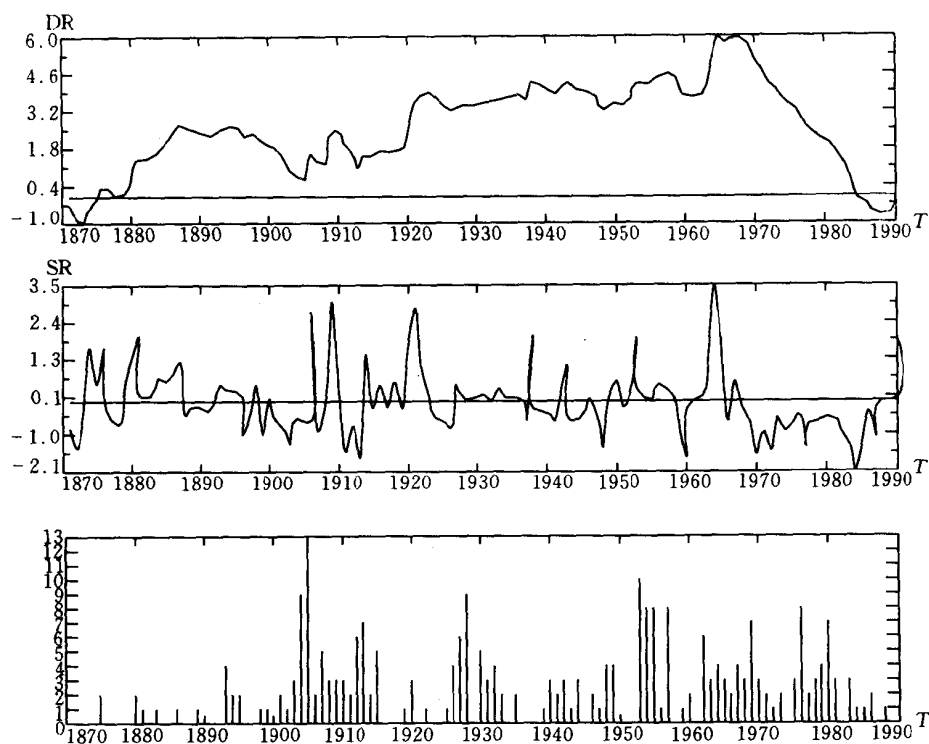


图 2 A 区年雨量距平累积曲线(上图)和标准化  
距平曲线(中图),地震次数(下图)

代开始的,只有西安、兰州、西宁等 15 个站点,年雨量序列长度不过 60 年左右。但西北地区历史文献丰富,各省、自治区都有 2000 年的旱涝历史资料和经过整理的 500 年旱涝等级连