

国家科技支撑计划课题“近百年来我国极端天气气候事件
变化特征及其影响” (2007BAC29B02)

中国区域

极端天气气候事件变化研究

On Variations of Weather and Climate Extremes in China

管兆勇 任国玉 主编

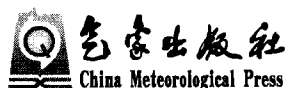
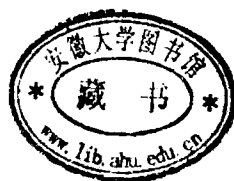


国家科技支撑计划课题“近百年来我国极端天气
气候事件变化特征及其影响”(2007BAC29B02)

中国区域极端天气气候事件变化研究

主 编：管兆勇 任国玉

副主编：龚道溢 高 歌 邵雪梅



内 容 简 介

本书基于国家科技支撑计划课题“近百年来我国极端天气气候事件变化特征及其影响”的研究成果编撰而成。针对干旱、强降水、高温热浪和低温冷害以及台风等极端天气气候事件,系统详细地介绍了历史时期气候序列的重建与极端气候事件、观测资料误差和方法评价、近 100 年极端天气气候事件发生频率与趋势变化、极端天气气候事件的年代际变化、极端天气气候事件与大气和海洋状态异常、中国西部极端气候事件和极端天气气候事件的灾害性影响评估研究中取得的最新成果及进展。

本书可供气象科技工作者和有关院校研究生使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国区域极端天气气候事件变化研究 / 管兆勇, 任国玉主编. —北京: 气象出版社, 2011.10

ISBN 978-7-5029-5323-2

I. ①中… II. ①管…②任… III. ①气候变化—研究—中国 IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 217011 号

Zhongguo Quyu Jiduan Tianqi Qihou Shijian Bianhua Yanjiu

中国区域极端天气气候事件变化研究

管兆勇 任国玉 主编

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码: 100081

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

电 话: 总编室: 010-68407112, 发行部: 010-68409198

责任编辑: 王萃萃

终 审: 周诗健

封面设计: 博雅思企划

责任技编: 吴庭芳

印 刷 者: 北京中新伟业印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 22.5

字 数: 576 千字

版 次: 2012 年 12 月第 1 版

印 次: 2012 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1~1000 册

定 价: 78.00 元

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

序

气候变化与极端天气气候事件发生频率具有密切关系。政府间气候变化专门委员会(IPCC)公布的评估报告表明,过去 50 年中,全球许多地区极端天气事件特别是强降雨、高温热浪等事件频率呈现不断增多增强的趋势;而寒潮和低温等事件频率则出现减少趋势。在全球气候变化的背景下,未来的极端天气气候事件频率和强度还会发生不同程度的变化。

由于复杂的地形条件和显著的季风气候影响,中国的极端天气气候事件发生频率远高于其他国家。近 20 年来,中国气候变暖趋势也日益明显,部分地区极端强降水事件呈现趋多、趋强的趋势,北方特别是华北和东北地区极端气象干旱事件亦频繁发生。1998 年,中国的长江流域和松花江流域发生特大洪涝灾害;1997—2002 年间,华北地区和东北南部发生大范围严重干旱,其中 1999—2002 年连续发生异常干旱;2008 年 1 月,中国南方雨雪冰冻事件异常严重,造成重大社会和经济影响;2006 年盛夏,四川、重庆由于持续少雨,同期遭受罕见的高温热浪袭击,发生了 1951 年以来最严重的伏旱。据统计,中国每年因极端天气气候事件引发的各种气象灾害造成农作物受灾面积达 5000 万 hm^2 ,受暴雨、干旱、高温热浪、低温冷害、台风等重大气象灾害影响的人口达 4 亿人次。最近 20 年,每年旱涝等气象灾害所造成的经济损失约占国民经济总产值的 2.37%。因此,深入理解全球气候变化背景下我国气候转折和极端天气气候事件的变化特征、规律,进而利用各种技术对未来极端天气气候事件可能变化趋势做出科学预测和评价,对减缓和降低极端天气气候事件的负面影响具有十分重要的意义。

在科技部“十一五”科技支撑计划项目“我国主要极端天气气候事件及重大气象灾害的监测、检测和预测关键技术研究”中,设立了 02 课题“近百年来我国极端天气气候事件变化特征及其影响(2007BAC29B02)”,来自南京信息工程大学、国家气候中心等单位的近 60 位专家组成的研究队伍经过 4 年的辛勤努力,在“仪器记录前时期极端天气气候事件特征分析”、“极端天气气候事件的年代际转折特征及其信号识别”、“气候变暖背景下我国极端天气气候事件的变化趋势”、“极端天气气候事件变化的大气环流背景分析”、“重大极端天气气候事件的经济社会影响分析”等方面取得了一系列研究成果。

为了及时总结和交流本课题取得的研究成果,进一步推动我国在极端天气气候事件变化领域的研究,推动极端天气气候事件变化特征及其影响研究成果在业

务中的推广应用,课题专家组带领全体课题组成员编撰了这本专著。

作为项目首席专家,我对 02 课题组全体研究人员在 4 年中的辛勤工作表示赞赏和感谢,对各位编写人员为本专著编辑所做出的努力表示敬意。希望 02 课题组全体同事在今后的工作中,继续关注相关领域新的科学和技术问题,并为“十一五”研究成果的推广应用作出新的贡献。

科技部“十一五”科技支撑计划项目
“我国主要极端天气气候事件及重大气象灾害的
监测、检测和预测关键技术研究”

项目首席专家 宋连春

2011 年 10 月 26 日

前 言

极端天气气候事件是指发生概率非常小的天气气候事件。极端天气气候事件虽然是小概率事件,但对人类社会经济、自然生态系统影响很大。研究证实,人类活动导致了近 50 年来的全球普遍增温,气候系统自然波动也十分明显,一些极端天气气候事件发生的频率可能随着气候变化出现明显改变,其中一些可能会进一步增强,对地球环境、自然资源,特别是水资源、食物生产和人类自身安全构成重大威胁。因此,深入理解全球气候变化背景下气候转折和极端天气气候事件的变化特征、规律,进而利用各种技术对未来极端天气气候事件可能变化趋势做出科学预测和评价,对适应和减缓极端天气气候事件的负面影响具有十分重要的意义。

国内外对极端天气气候事件的时间变化特点进行了许多分析研究。这些包括采用过去 50 年左右气候资料和统计技术对主要极端天气气候事件年代变化特点和长期趋势的分析,以及采用气候模式模拟技术对未来可能气候极端事件发生频率变化的分析等。研究证实,在全球变暖背景下,20 世纪 60 年代以后,全球中高纬陆地地区极端冷事件(如降温、霜冻)逐渐减少,而极端暖事件(如高温、热浪)发生频率明显增加;20 世纪北半球大陆中高纬度大部分地区降水增加了 5%~10%,近 50 年暴雨的发生频率增加了 2%~4%;低纬度地区和中低纬度地区夏季的极端干旱事件增多;台风和热带气旋的强度显著加强,风暴路径有向极区移动的趋势;与海平面升高有关的极端事件(不含海啸)增多。

研究也发现,在各种温室气体排放情景下,未来 30 年的增温速率可能达到 $0.2^{\circ}\text{C}/(10\text{a})$,全球海平面将继续上升,许多极端天气气候事件发生的频率及强度将继续增多。在几乎所有的陆地,出现酷热日数和热浪增多的可能性极大,而寒冷日数和霜冻日数减少;极端降水量等级和频率在许多地区极可能上升,而且极端降水事件的间歇期也将会缩短,受干旱影响的地区可能增加,强台风的数量可能增加。

除了全球变暖对极端天气气候事件有直接影响之外,气候系统的年代际自然变化也可能对其有相当的贡献。研究表明,东亚夏季风降水存在比较明显的年代际变率。在此时间尺度上,20 世纪五六十年代我国华北地区夏季降水较多,江淮地区偏少;随后八九十年代华北降水显著减少,雨带集中于江淮流域。东亚夏季风降水的年代际变率肯定会影响极端天气气候事件的发生规律。

但是,目前对在全球气候变化背景下极端天气气候事件变化的很多科学问题了解得还很少。例如,人们对有些极端天气气候事件的变化趋势还不了解,对极端事件年代尺度的变化重视不够,对若干重大极端天气气候事件随气候态转折可能发生的变化缺乏研究,对极端天气气候事件的环流背景分析比较薄弱。目前对东亚夏季风年代际模态的形成机理还不十分清楚,而这类气候年代际自然变率位相转折对气候极端事件影响的研究更少,尤其是年代际模态的转折过渡时期,时间尺度为3~5年,气候极端事件有何种表现形式,目前基本上还不清楚。因此,过去的研究仍集中于对过去极端事件本身及其统计规律的描述和探讨,而对其发生、发展的气候背景、成因和机理研究还较少,难以系统、深入地认识极端事件的变化规律,以及全球变暖和气候自然变率对极端天气气候事件的分别的影响。

对极端天气气候事件引发的气象灾害,国内外灾害学界在灾害发生机理和灾情评估方面已经有了很多的研究成果。充分搜集、挖掘已有研究成果将是开展本课题的很大优势。我国民政、水利、农业、国土资源等部门近年来对气象灾害造成的灾情影响很重视,借鉴国外的研究思想和理论,开展了部分专项研究工作,为本课题提供了科研基础,但已有研究成果普遍是基于单一灾种对单一承灾体的影响为研究对象,尚未涉及多灾种对多种承灾体的综合影响研究。同时,今后还需要把气象灾害的灾情分析理论和技术全面引入农业、交通和水利等各领域,使气象灾害影响的评估技术逐步走向定量化、动态化,实现灾害影响评价由定性描述向定量表达的突破。

因此,深入研究过去100~50多年来我国极端天气气候事件发生规律,重点检测识别年代际尺度气候变率的转折变化信息和特征及影响;了解过去50多年来全球变暖对极端天气气候事件发生的影响,探究全球变暖背景下极端天气气候事件出现频率和强度发生变化的气候与环流背景,掌握多种极端天气气候事件引发的复合气象灾害灾情特点等,仍然是今后进一步开展极端天气气候事件及其影响的诊断、预测和评价业务的重要前提条件,需要联合攻关,增强科学研究和技术开发力度。

在科技部“十一五”科技支撑计划项目“我国主要极端天气气候事件及重大气象灾害的监测、检测和预测关键技术研究”中,设立了课题“近百年来我国极端天气气候事件变化特征及其影响(2007BAC29B02)”,目的就是了解在全球变暖背景下我国极端天气气候事件及其灾害发展形势与时空分布特征,着重理解过去年代尺度上极端天气气候事件的异常和变化规律,认识重大极端天气气候事件频率和强度发生转折的气候与环流背景,了解重大极端天气气候事件引发的气象灾害时空变化特征。该课题包括五方面研究内容:(1)仪器记录前时期极端天气气候事件特征分析;(2)极端天气气候事件的年代际转折特征及其信号识别;(3)气候变暖背景下我国极端天气气候事件的变化趋势;(4)极端天气气候事件变化的大气

环流背景分析;(5)重大极端天气气候事件的社会影响分析。

在4年时间里,课题组开展了大量工作,取得了一系列研究成果。课题组完成了对前器测时期极端天气气候事件特征的分析,获得了西部地区近300年来的干旱年表;完成了极端天气气候事件的年代际转折特征及其信号识别;获得了气候变暖背景下我国极端天气气候事件的发生频率与变化趋势的认识;完成了极端气候事件出现的环流背景分析,获得了极端降水事件包括洪涝/干旱、极端气温事件包括高温/低温的环流异常图像;获得了洪涝、干旱、高温、低温、台风等重大极端天气气候事件的社会影响分析结论。目前,相关研究成果在气候变化国家评估报告、中国气候变化适应战略研究报告、全国流域水资源规划修编、中国气候变化与水资源蓝皮书等报告编写中,得到较广泛应用。课题相关研究成果将对促进公共服务能力的提高发挥重要作用。

本书汇集了课题组的部分研究成果编撰而成。全书共分七章。第一章:历史时期极端气候事件与气候序列的重建(编写者:邵雪梅、黄磊、张永、张自银);第二章:观测资料误差和方法评价(编写者:郭军、任国玉、任玉玉、张爱英、高庆九);第三章:现代极端天气气候事件趋势变化(编写者:任国玉、任玉玉、张雷);第四章:极端天气气候事件的年代际变化(编写者:龚道溢、钱代丽、李明刚、钱云、杨静、蔡佳熙);第五章:夏季极端天气气候事件与大气环流和海洋状态异常(编写者:管兆勇、王黎娟、雷杨娜、蔡佳熙、金大超、韩洁、何洁琳);第六章:中国西部极端气候事件分析(编写者:徐海明、陈洪武、王传辉、杨霞、辛渝、李兰、左敏、刘银峰、张焕);第七章:极端天气气候事件的灾害性影响评估概述(编写者:高歌、陈云峰、景元书、赵珊珊、李丽华、赵海燕、高俊灵、邢开瑜、张娇艳)。全书由管兆勇、任国玉负责编辑和统稿。

全体课题组成员都对本书出版作出了贡献。各章主笔作者付出了大量心血和劳动,使得本书得以顺利完成。南京信息工程大学大气科学学院的王黎娟教授、李明刚博士、金大超博士等协助收集整理资料和统稿工作。科技部“十一五”科技支撑计划项目,“我国主要极端天气气候事件及重大气象灾害的监测、检测和预测关键技术研究”项目首席专家宋连春欣然为本书作序。气象出版社的责任编辑王萃萃对书稿进行了认真审阅和编辑。本书由科技部“十一五”科技支撑计划项目第二课题“近百年来我国极端天气气候事件变化特征及其影响”(2007BAC29B02)资助出版,还得到了江苏省优势学科建设工程的部分资助。

编者

2011年10月

目 录

序

前言

第一章 历史时期极端气候事件与气候序列的重建	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 资料与方法	(3)
1.3 柴达木盆地东部 2800 a 来干旱事件研究的结果与分析	(13)
1.4 祁连山地区过去 300 a 极端干旱事件研究的结果和讨论	(18)
1.5 西太平洋海温序列的重建与近 300 a 中国降水异常分析结果	(29)
1.6 南极涛动指数的重建及变率分析结果	(34)
1.7 结论	(40)
参考文献.....	(42)
第二章 观测资料误差和方法评价	(50)
2.1 引言	(50)
2.2 资料和方法	(52)
2.3 地面气温参考站点遴选依据与方法	(52)
2.4 测站资料与再分析资料的比较	(65)
2.5 总结	(78)
参考文献.....	(79)
第三章 现代极端天气气候事件趋势变化	(84)
3.1 极端气温事件	(84)
3.2 极端强降水事件	(97)
3.3 极端干旱事件	(101)
3.4 热带气旋和台风	(104)
3.5 综合极端气候指数	(110)
参考文献.....	(116)
第四章 极端天气气候事件的年代际变化	(121)
4.1 引言	(121)
4.2 资料和方法	(124)
4.3 夏季西北太平洋副高面积的年代际振荡特征与中国降水	(128)
4.4 华东地区夏季极端降水事件的年代际变化	(134)
4.5 1973—2009 年北美、欧洲和亚洲地区的小雨事件变化研究	(143)

4.6	夏季中国东部山区小雨的加剧减少	(148)
4.7	长江流域夏季气温变化型及其成因:年代际变化	(153)
4.8	结论	(162)
	参考文献	(165)
第五章	夏季极端天气气候事件与大气环流和海洋状态异常	(172)
5.1	引言	(172)
5.2	资料和方法	(177)
5.3	夏季高温/低温变化与环流异常	(177)
5.4	极端降水事件与环流异常	(192)
5.5	环流变化与台风事件	(224)
5.6	结论	(237)
	参考文献	(240)
第六章	中国西部极端气候事件分析	(250)
6.1	引言	(250)
6.2	资料和方法	(253)
6.3	青藏高原区域极端事件	(255)
6.4	新疆地区极端事件	(264)
6.5	西南地区极端事件	(284)
6.6	结论	(296)
	参考文献	(299)
第七章	极端天气气候事件的灾害性影响评估概述	(304)
7.1	引言	(304)
7.2	资料和方法	(305)
7.3	气象灾害损失分析	(310)
7.4	极端事件影响评估	(322)
7.5	总结	(343)
	参考文献	(344)

第一章 历史时期极端气候事件与气候序列的重建



历史时期气候变化的序列与特征分析对揭示长期气候变化的规律,了解气候变化的归因,认识当前气候变暖及极端事件的强度在历史上的位置,以及预测气候的未来变化至关重要。但由于历史时期观测资料的缺乏,研究人员便利用气候的代用资料进行研究。常用的高分辨率代用资料包括树木年轮、历史文献、冰芯、石笋、珊瑚等。本章介绍利用树木年轮、珊瑚和冰芯等代用资料,进行的三个方面过去气候变化重建与分析工作,即利用树轮资料重建青海柴达木盆地东部过去 2800 a 来的极端干旱事件和研究祁连山地区过去 300 a 极端干旱事件时空分布;利用珊瑚骨骼氧同位素和珊瑚荧光度资料重建西太平洋海温序列,并研究其与过去 300 a 中国东部降水的关系;以及利用南半球的树轮、珊瑚、冰芯等资料重建了南极涛动指数并分析了其变化特征。上述研究对了解我国西北东部地区极端干旱事件的发生强度和频率,我国东部降水异常的原因,以及南半球和东亚地区气候变化和异常的部分原因提供了基础资料,也为决策者在气候变化的前提下制定应对措施提供了背景。

1.1 引言

干旱具有影响范围广、持续时间长、经济社会损失大等特点,是我国影响面较大、较为严重的自然灾害。近年来我国频繁出现严重的干旱事件,如 2008 年秋到 2009 年春,我国华北、黄淮、西北东北部及四川西部、西藏等地均遭遇了大范围的严重干旱(陈洪滨和范学花,2009)特别是对于我国西部干旱、半干旱区而言,大范围、持续性的严重极端干旱灾害会给经济社会、生态与环境造成严重影响,对极端干旱事件的发生特征进行研究有助于预测和评价将来可能发生的极端气候事件,可以为区域经济社会发展提供科学决策的依据,因此,对极端干旱事件发生特征的研究具有重要意义。

由于我国的气象记录只有百年左右的长度,难以满足对极端干旱事件、特别是对几十年一遇或百年一遇的严重极端干旱事件研究的需要。树木年轮是研究干旱事件的良好代用资料,如在美国(Woodhouse 和 Overpeck, 1998; Cook 等, 2004)和加拿大(George 等, 2009)已经被成功地用于重建过去几百年到上千年干旱事件的历史。研究表明,在干旱、半干旱区,树木生长对干旱事件具有较好的响应,特别是当干旱发生的范围较大时,树轮宽度变化特征在空间上的相关性可以延伸很远;如在 99% 的置信度下,北美西部 65 个样点的树轮宽度年表间显著相关的平均距离达 992 km(Cropper 和 Fritts, 1982)。在青藏高原东北部的干旱半干旱区,柴达木盆地祁连圆柏的一些窄轮在祁连山和阿尼玛卿山的祁连圆柏年表上也都有所体现(邵雪梅

等,2007;Liang 等,2009)。20 世纪 20 年代我国北方地区的严重干旱在柴达木盆地、内蒙古、陕西华山的树木年轮上都有反映,青藏高原东北部和内蒙古中部树轮年表之间也存在着显著的相关关系(Liang 等,2006)。因此,利用干旱、半干旱区的树木年轮资料能够揭示大范围严重极端干旱事件的历史。

青海柴达木盆地的东缘山地分布有大量千年树龄的祁连圆柏,根据柴达木盆地祁连圆柏的树木年轮资料,已经重建了过去上千年以来的降水和土壤湿度的变化(Zhang 等,2003;Sheppard 等,2004;邵雪梅等,2004,2006;刘禹等,2006;Yin 等,2007)。柴达木盆地祁连圆柏年轮的宽窄变化对降水的多寡有明显的响应,特别是年轮中的窄轮对于干旱环境响应的可靠性要大于宽轮的(邵雪梅等,2007)。最近的研究指出(张德二,2010),根据柴达木盆地树轮资料重建的德令哈千年降水量序列(邵雪梅等,2004)在公元 1400—1950 年间共有 44 个极端低值年(干旱年),其中 30 例极端低值年有历史文献记录可供验证,其他的 14 例可以用来补充西部地区历史文献记录的缺失。该研究所采用的历史文献记录来自青海及其邻近的甘肃、宁夏等地,表明德令哈千年降水量序列中出现的极端低值不是局地现象,而是在相当大的范围内有重大干旱事件发生。因此,通过对柴达木盆地年轮宽度序列中极端窄轮的分析可以揭示大范围极端干旱事件的出现特征。最近,作者(Shao 等,2009)建立了柴达木盆地从公元前 1580 年到公元 2006 年共 3586 a 的祁连圆柏树轮宽度指数年表,是研究过去两三千年来极端干旱事件变化的良好资料。由于轮宽年表中在公元前 9 世纪中叶之前的样本量少于 10 个,年表的可靠性不如公元前 8 世纪以后的时段,因此,本章的第一部分是利用这一年表分析自公元前 800 年以来树轮所记录的青海柴达木盆地过去 2800 a 来的极端干旱事件的特征。

本章的第二部分是在青藏高原东北部祁连山地区建立一个由 12 个水分敏感的树轮序列组成的新的树轮网络,以此调查研究区内 1700—2005 年间极端干旱事件的发生频率、严重程度及时空演变特征,以及检查研究区极端干旱年份中全国范围内湿度状况的空间格局,以加深我们对研究区发生极端干旱事件的认识和理解。

本章的第三部分是研究西太平洋海温与我国东部降水异常的关系。热带西太平洋是全球海洋温度最高的海域,集中了全球最多的暖水体,称之为西太平洋暖池(简称暖池)。暖池的热状况对东亚季风、ENSO 系统有着重要的影响,是理解东亚气候变率需要重点考虑的一个因子(黄荣辉和李维京,1987;Nitta,1987;赵振国,1999)。由于海温观测资料的短缺,限制了对过去数百年暖池 SST(海面温度)变率(特别是其低频变率)及其对中国气候影响的研究。自 Knutson 等(1972)尝试利用珊瑚研究过去海洋气候环境以来,珊瑚应用取得了蓬勃的发展(Cole 等,1993;Evans 等,1998;Isdale 等,1998;Quinn 等,1998;Guilderson 和 Schrag,1999;Urban 等,2000;Cobb 等,2001;Tudhope 等,2001;McCulloch 等,2003;Fleitmann 等,2004;Ryuji 等,2005),珊瑚代用指标被广泛用于重建过去的海温、降水或径流,不过这些工作多侧重于利用单点珊瑚分析局地气候要素的变化。近来 Evans 等(2002)尝试利用多条珊瑚序列重建整个太平洋温度场的变化,Wilson 等(2006)则利用多条珊瑚序列重建整个热带海洋温度变化,为利用代用资料重建海温的集成研究提供了新的思路。本章试图利用已经开发的珊瑚代用指标,重建 1644 年以来西太平洋暖池强度指数,并探讨历史时期暖池 SST 变率与中国气候变化的联系。

最后,本章重建了过去 500 a 南极涛动指数。南半球副热带高压带与高纬地区之间气场呈“跷跷板”式反位相变化的特征被称为南极涛动(Antarctic Oscillation,简称 AAO)(Gong

和 Wang, 1999)。这是一种以纬向对称为主要特征的大气环流内在模态, 也被称为南半球环状模(Thompson 和 Wallace, 2000)或高纬度模(Rogers 和 Loon, 1982), 该模态不仅存在于海平面气压场, 还表现在位势高度场、温度场、纬向风场等方面。AAO 不仅对南半球大尺度及区域性的气候变化起着重要作用(Reason 和 Rouault, 2005; Cai 等, 2005; Lovenduski 和 Gruber, 2005), 而且对包括我国在内的东亚地区的气候异常也有着重要影响(何金海和陈丽臻, 1989; Nan 和 Li, 2003; 高辉等, 2003; Wang 和 Fan, 2005; 范可和王会军, 2006; 鲍学俊等, 2006)。

由于历史时期观测资料的缺乏, 人们对 AAO 长期变化规律的认识还很有限。目前利用代用资料重建 AAO 指数的研究还不多见。Jones 和 Widmann(2003)利用树轮资料将南半球夏季(12—1月)AAO 指数延长到 1743 年, 然而其重建的序列使用的代用资料较少, 仅利用了 9 个树轮序列。最近, Moreno 等(2009)利用南美巴塔哥尼亚(Patagonia)地区湖泊、沼泽沉积研究了过去 5000 年南半球西风活动强弱的变化(即反映了 AAO 的变化), 然而其较低的分辨率缺乏对 AAO 年际及年代际变率特征的描述。本章的目标是尝试利用树轮、珊瑚、冰芯等多种代用资料, 来重建一个较长的、反映年际及年代际变率的、南半球夏季南极涛动指数(DJF-AAO)。

1.2 资料与方法

1.2.1 青海柴达木盆地过去 2800 a 来的极端干旱事件研究所用资料与方法

本部分所使用的树轮资料采集于青海柴达木盆地东北部 200 多千米的范围内, 这一地区的景观为干旱荒漠草原, 在气候区划上属于干旱、半干旱的高原气候区, 年平均降水量为 150~200 mm。在盆地东部中山海拔高度约 3500~4000 m 带状区域内的阳坡和半阳坡上有祁连圆柏林地, 本研究中用来建立树轮宽度定年年表的样本即采自于本区域内。样本采用美国亚利桑那大学树轮实验室的骨架示意图方法(Stokes 和 Smiley, 1968)进行交叉定年, 对完成定年的样本进行年轮宽度量测, 之后使用 COFECHA 计算机程序(Holmes, 1983)对定年进行检验, 确保定年结果准确无误。最后建立的树轮宽度总年表长度为 3586 a, 本部分中的研究时段取为公元前 800 年到公元 2006 年。

公元前 800 年以来的 2800 多年长度的树轮宽度指数序列的均值为 0, 标准差为 1。序列中树轮宽度指数越大, 表示当年的年轮越宽; 指数越小, 表示当年的年轮越窄, 越窄的年轮指示了更干旱的气候条件。为了对窄轮所指示的干旱事件的干旱程度进行更好地区分, 我们根据年表的轮宽指数值进行划分, 将轮宽指数小于均值(0)但大于一倍标准差(-1)的年份称为偏旱年, 将轮宽指数小于等于一倍标准差(-1)但大于两倍标准差(-2)的年份称为大旱年, 小于等于两倍标准差(-2)但大于三倍标准差(-3)的年份称为重旱年, 小于等于三倍标准差(-3)但大于四倍标准差(-4)的年份称为特旱年, 小于等于四倍标准差(-4)的年份称为超旱年。同时, 由于干旱事件具有空间范围广、持续时间长等特点, 极端干旱事件的持续时间越长, 其发生的空间范围可能也越大, 因此, 我们对轮宽序列取多年滑动平均, 重点分析持续时间长、影响范围广的严重干旱事件的变化, 按照干旱的严重程度识别出 2800 a 来的主要极端干旱事件并进行分析。

我国有丰富的历史文献资料, 这些资料记录了大量的干旱、洪涝、严寒等气候事件。本部分也参考了大量史书和《中国近五百年旱涝分布图集》(中国气象科学研究院, 1981)、《中国三

千年气象记录总集》(张德二,2004)和《青海自然灾害》(史国枢,2003)中对青海及邻近的甘肃、陕西、宁夏等西北地区干旱事件的文献记载,与柴达木盆地树轮资料所揭示的极端干旱事件进行对比分析。

1.2.2 祁连山过去 300 a 干旱事件研究所用资料与方法

1.2.2.1 研究区域

祁连山($36^{\circ}30' - 39^{\circ}30'N, 93^{\circ}31' - 103^{\circ}E$)位于青藏高原东北部(图 1.1),是邻近地区重要的水源补给地。由于地处内陆,受西风带和亚洲季风的共同影响,为干旱和半干旱气候(高由禧等,1962)。根据祁连山自然保护区野外考察报告,该区年降水量为 200~500 mm,自东南往西北方向逐渐减少,近 70% 的年降水量集中在 5—8 月。年平均气温为 $0.2 \sim 3.6^{\circ}C$,年蒸发量为 1569~1788 mm。植被呈典型的垂直分布变化,从山脚下的沙漠植被类型向上逐渐演变为高海拔的高山森林、草甸。

表 1.1 样点信息和标准化树轮宽度年表的特征

代码	经度 (°E)	纬度 (°N)	海拔 (m)	周期	树/芯	平均 敏感度	树种	公共区间	信噪比	年份 ($eps > 0.85$)	来源*
CLH	103.80	37.30	2500	1639—2002	21/44	0.404	PT	1900—2002	80.9	1801	1
HX2	102.44	37.49	2826	1825—2003	21/46	0.301	SP	1910—2000	38.1	1846	2
BGH	102.31	37.69	2000	1896—2003	33/92	0.242	PC	1950—2003	116.3	1915	2
XDH	101.40	38.09	2755	1770—2005	22/40	0.267	PC	1920—2000	57.1	1789	5
DYK	100.25	38.52	3040	1780—2005	24/32	0.233	PC	1900—2000	14.7	1820	5
SDL2	99.95	38.43	3370	1091—2003	25/72	0.229	SP	1700—2000	30.1	1447	2
DDS3	100.81	39.04	2800	1484—2005	24/34	0.489	SP	1850—2000	34.7	1613	6
KL3	99.96	38.81	3000	1300—2005	19/37	0.347	SP	1850—2000	24.3	1510	6
KGM	99.73	38.79	2900	1848—2005	24/29	0.251	PC	1950—2000	32.7	1861	5
QF2	98.44	39.43	3060	1729—2003	18/52	0.475	SP	1900—2000	55.3	1760	3
JQ	98.48	39.77	2850	1780—2001	12/27	0.382	SP	1950—2000	29.3	1803	4
JG	97.86	39.61	2852	1727—2005	15/31	0.295	PC	1950—2000	36.2	1830	5

* 来源: 1——Gao 等,2005,2——Liang 等,2010,3——Liang 等,2006,4——Tian 等,2007,5——Zhang,2009,6——本研究。

1.2.2.2 树轮数据

本研究采用来自祁连山的 12 个树轮年表,该数据集包括 2 个新年表和 10 个已发表的年表(表 1.1)。所有年表均来自祁连山的中东部地区(图 1.1),已发表年表由 3 个树种组成:祁连圆柏(*Sabina przewalskii* Kom.)、青海云杉(*Picea crassifolia* Kom.)和油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)。2 个新的树轮样点(KL3 和 DDS3)位于祁连山森林下限,用生长锥取健康的祁连圆柏的树芯,样品经过风干、固定和打磨,用精确度为 0.001 mm 的 Lintab 轮宽量测仪进行轮宽测量,然后用 Cofecha 程序(Holmes,1983;Grissino-Mayer,2001)进行数据交叉定年

的质量检验。为了去除生长趋势,首先用负指数和线性函数拟合原始轮宽序列,再将测量的轮宽和相应拟合曲线之间的比值作为轮宽指数,最后在 Arstan 程序(Cook,1985)中把每一个样点的轮宽指数进行平均产生一个标准轮宽年表。

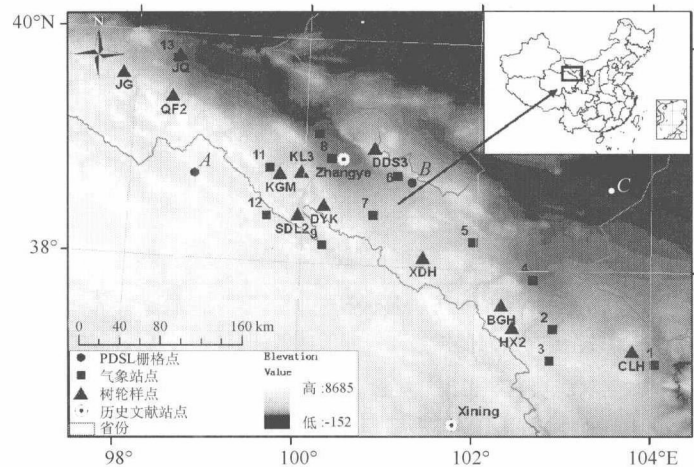


图 1.1 研究区树轮样点、气象站点、历史文献(干湿指数,CMA,1981)和 PDSI 栅格点(Cook 等,2010b)的位置

1.2.2.3 气象数据和历史文献资料

在树轮样点附近共有 13 个一级气象站,这些站点的数据可以从 CMA 的同化气候数据库中获得(<http://new-cdc.cma.gov.cn:8081/dataSetLogger.do?changeFlag=dataLogger>),所获得的数据已经经过严格的数据质量评估和质量控制(CMA,2003)。

表 1.2 13 个气象站点的信息

代码	序号	代码	名称	经度(°E)	纬度(°N)	时段	海拔(m)
52797	1	JT	景泰	104.05	37.18	1957—2006 年	1631
52784	2	GL	古浪	102.9	37.48	1959—2006 年	2073
52787	3	WS	乌鞘岭	102.87	37.2	1951—2006 年	3043
52679	4	WW	武威	102.67	37.92	1951—2006 年	1532
52674	5	YC	永昌	101.97	38.23	1959—2006 年	1976
52661	6	SD	山丹	101.08	38.8	1953—2006 年	1765
52656	7	ML	敏乐	100.82	38.45	1958—2006 年	2271
52652	8	ZY	张掖	100.43	38.93	1951—2006 年	1480
52657	9	QL	祁连	100.25	38.17	1957—2006 年	2787
52557	10	LZ	临泽	100.17	39.15	1967—2006 年	1454
52643	11	SN	肃南	99.62	38.83	1957—2006 年	2311
52645	12	YN	野牛沟	99.6	38.4	1960—2006 年	3320
52533	13	JQ	酒泉	98.49	39.77	1951—2006 年	1478

为了评估树轮记录气候信息的质量,我们采用基于历史文献的数个数据集来比较和检测本部分所建序列,其中包括:(1)中国过去 3000 年气象记录集;(2)青海省自然灾害;(3)中国气象灾害大典(甘肃、宁夏、青海卷);(4)中国近五百年旱涝分布图集,表 1.3 提供了这些数据集的基本信息。文献[1]~[3]定性描述记录了干旱事件,文献[4]中使用数值对旱涝灾害事件提供了定量的评估。另外,为了分析 1700—2000 年间中国中东部水分条件的空间特征,采用 CMA 数据集的更新版本(Hao 等,2009),缺失值通过内插方法来估计。这个数据集包括大部分处于中国的中东部的 120 个站点位置的干湿指数,1951—2000 年的干湿指数采用 5—9 月份降水数值计算。干旱和洪涝事件被分成 5 个等级(1~5),代表从严重洪水到严重干旱的气候状况。

表 1.3 本部分所用历史资料汇总

文献序号	作者	出版年份	历史时期	气候信息	空间范围	描述	原始资料
[1]	张德二等	2004	23 rd centuryBC—AD 1911 年	天气,气候条件,大气物理现象和相关的记录(干旱,洪水,雪,虫害,瘟疫,饥荒等)	中国(主要是东部)	摘选	7835 类历史文档
[2]	史国枢等	2003	AD 89—2000 年	自然灾害(干旱和洪水,冰雹,地震,泥石流等)	青海省	摘选	青海省历史文献和气象记录
[3]	温克刚	2005	71 BC—AD 2000 年	气象灾害(干旱,洪水,沙尘,雪)	甘肃,青海,宁夏	摘选	历史文献和气象记录(甘肃,青海,宁夏)
[4]	CMA	1981	AD 1470—1979 年	干旱和洪水	中国	旱涝分类图(5 类, 1~5)	2100 多种当地地/区域的公报

1.2.2.4 统计分析

相关分析方法计算肃南和张掖两个气象站的月平均气温和降水资料与两个新的轮宽年表之间的树轮气候关系,分析影响 KL3 和 DDS3 样点树轮宽度的气候因素。统计分析中分别采用 1957—2005 年和 1951—2005 年期间前一年 9 月到当年 8 月(共 12 个月)的气温和降水数据。

根据已有研究(表 1.1),在 10 个已经发表的年表中,大多数年表与生长季前期各月的降水呈显著正相关,与同期各月气温呈负相关。为了检验生长季早期水分条件对树木生长的影响,12 个树轮序列都与附近气象站记录的 5—6 月降水和气温进行了相关分析。

1.2.2.5 建立祁连山区域轮宽指数

为了获取一个区域记录来反映研究区的干旱历史,我们对 12 个样点的轮宽序列进行了再处理。首先在轮宽序列上拟合 32 年的样条函数(Grissino-Mayer, 2001),接着将某一年实测轮宽值与该年样条函数预测值相除,得到无量纲的轮宽指数。该过程可以去除 16 a 以上时间尺度上的低频信号。接下来利用自回归模型剔除序列中部分数据的自相关。通过平均值和标

准差对各指数序列进行标准化,形成了能较好反映高频信息的祁连山 12 条标准化序列。该序列中高值对应宽轮,低值对应窄轮。为了表示研究区的整体状况,计算了 12 个标准化序列的算术平均值,形成一条综合轮宽指数序列,再将该序列进行标准化处理,最终得到综合轮宽指数(简称 TWI),用来反映区域树木生长变化。样本总体解释量(EPS)被用于评估有效年表的长度,本研究 EPS 阈值为 0.85。

为了评估 12 条标准序列对于旱的代表性,本书利用器测时期的几个严重干旱年(1962 年、1968 年、1971 年、1974 年、1981 年、1995 年和 2001 年)内 12 个标准化序列的平均值和 13 个气象站的降水数据标准化后的平均值进行了空间比较。同时,统计了 12 个标准化序列各年中具有负值的序列个数,使用负值序列个数与同年序列总个数的比率作为干旱年空间一致性的表征。在本研究中,将这个比率序列定义为空间一致性指数(ISC)。当 $ISC=1.0$ 时,表示研究区内所有树轮宽度序列当年均为窄轮;而 ISC 值越低,表示树轮序列间的空间一致性越差。

干旱对植物和农作物会产生不利影响。干旱的影响程度可以通过其强度和严重性表征,而后者综合考虑了强度和持续性。在本研究中,窄轮用来代表研究区域的干旱严重性。为分析干旱的严重性和频率,将 TWI 序列进行了等级划分。定义 -0.5δ 到 -1.5δ 为中等干旱(表示为 1), -1.5δ 到 -2.5δ 为严重干旱(表示为 2),小于 -2.5δ 为极端干旱(表示为 3)。为确保分类的可靠性,首先通过单样本 K-S 统计量检验 TWI 序列数据的正态分布特征。

1.2.2.6 聚类分析

在确定了研究区内的严重干旱年和极端干旱年后,采用了聚类分析方法将中国中东部在特定年的干湿空间变化进行了分类。聚类分析在气候学研究中被广泛使用,可以客观地把不同的个体按照相似程度分成几个特定的组,是一种有效的统计方法。本研究中用欧几里得距离(所有变量之间距离平方和的平方根)的凝聚分层技术作为距离度量(Jain 和 Dubes,1988)。在分层距离分析时,将最相似的个体进行合并。基于已有的研究(Unal 等,2003;Carnelli 等,2004;Friedrichs 等,2009),我们选择 Ward's 方法(Ward,1963)。该方法中,一对个体间的聚类关系选择的标准是平方和与聚类平均值的偏离值最小。在气候学研究中聚类分析多应用在利用某些气候特征来鉴别具有空间一致性的区域或位置(如 Stahl 和 Demuth,1999;Dezfuli,2011;Fu 等,2011)。500 年旱涝等级图集中干旱事件往往具有相似的空间模式(Hao 等,2009),本部分采用该方法对这些干旱事件(年)予以聚类。我们目的在于归类有类似空间结构的年份。Jain 和 Dubes(1988)指出选择合适数目的分类是聚类分析的一个关键而困难的内容。一些分类标准虽然客观,但是是根据研究目的和数据特征而建立的,在本部分中,我们出于以下考虑建立分类标准:(1)避免只有一个要素的最终聚类,因为这会减少聚类的代表性,因而比较理想的是建立要素相对均匀分布的几个聚类;(2)考虑到事件的总数和结果的合理解释性,在此将分为 3~5 类;(3)为尽可能确保聚类的一致性,选择 Ward's 法;(4)聚类的结果应有助于提出有机理意义且相对容易解释的空间模态。

1.2.3 西太平洋海温重建所用资料与方法

1.2.3.1 研究区域及其特征

目前对暖池范围尚无统一的定义,有些研究选择某一固定经纬度区域作为暖池范围