

气象灾害丛书

低温冷害

王绍武 马树庆 陈莉 王琪 黄建斌 著



气象出版社
China Meteorological Press

气象灾害丛书

低温冷害

王绍武 马树庆 陈莉 王琪 黄建斌 著



气象出版社
China Meteorological Press

内容提要

低温冷害是影响我国的严重气象灾害之一。一年四季均可能发生低温,造成作物歉收。一般春、夏、秋季低温造成的灾害称为冷害,冬季称为寒害。本书第1章概括地介绍了近百年中国的温度变化及四季的低温;第2章讲述低温冷害的基础知识,包括冷害对作物的影响和致灾条件;第3章介绍低温冷害的监测、评估和防御措施;第4章讲述东北夏季低温的气候变化;第5章介绍东北低温的形成机理和气候背景。

本书可供高等院校气候、气象、地理、农业和环境等专业的学生学习,也可以供从事这方面业务或研究工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

低温冷害/王绍武等著. —北京:气象出版社,2009.6

(气象灾害丛书)

ISBN 978-7-5029-4719-4

I. 低… II. 王… III. 作物—低温伤害 IV. S426

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 099294 号

Diwen Lenghai

低温冷害

王绍武 马树庆 陈 莉 王 琪 黄建斌 著

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

总编室:010-68407112

发行部:010-68409198

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

总策划:陈云峰 成秀虎

责任编辑:崔晓军

终 审:黄润恒

封面设计:燕 彤

责任技编:吴庭芳

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:700 mm×1000 mm 1/16

印 张:9.25

字 数:171千字

版 次:2009年6月第1版

印 次:2009年6月第1次印刷

印 数:1~6000

定 价:22.00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

丛书编辑委员会成员

主 任：秦大河

副 主 任：许小峰 丁一汇

成 员（按姓氏笔画排列）：

马克平 马宗晋 王昂生 王绍武 卢乃锰 卢耀如
刘燕辉 宋连春 张人禾 李文华 陈志恺 陈联寿
林而达 黄荣辉 董文杰 端义宏

编写组长：丁一汇

副 组 长：宋连春 矫梅燕

评审专家组成员（按姓氏笔画排列）

丁一汇 马宗晋 毛节泰 王昂生 王绍武 王春乙 王根绪
王锦贵 王馥棠 卢乃锰 任阵海 任国玉 伍光和 刘燕辉
吴 兑 宋连春 张小曳 张庆红 张纪淮 张建云 张 强
李吉顺 李维京 杜榕桓 杨修群 言穆弘 陆均天 陈志恺
林而达 周广胜 周自江 徐文耀 陶诗言 梁建茵 黄荣辉
琚建华 廉 毅 端义宏

丛书编委会办公室成员

主 任：董文杰

副 主 任：翟盘茂 陈云峰

成 员：周朝东 张淑月 成秀虎 顾万龙 张 锦
王遵娅 宋亚芳

序

据 世界气象组织统计，全球气象灾害占自然灾害的 86%。我国幅员辽阔，东部位于东亚季风区，西部地处内陆，地形地貌多样，加之青藏高原大地形作用，影响我国的天气和气候系统复杂，我国成为世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一。我国气象灾害具有灾害种类多，影响范围广，发生频率高，持续时间长，且时空分布不均匀等特点，平均每年造成的经济损失占全部自然灾害损失的 70% 以上。随着全球气候变暖，一些极端天气气候事件发生的频率越来越高，强度越来越大，对经济社会发展和人民福祉安康的威胁也日益加剧。近十几年来，我国每年受台风、暴雨、冰雹、寒潮、大风、暴风雪、沙尘暴、雷暴、浓雾、干旱、洪涝、高温等气象灾害和森林草原火灾、山体滑坡、泥石流、山洪、病虫害等气象次生和衍生灾害影响的人口达 4 亿人次，造成的经济损失平均达 2000 多亿元。2008 年，我国南方出现的历史罕见低温雨雪冰冻灾害，以及“5·12”汶川大地震发生后气象衍生灾害给地震灾区造成的严重人员伤亡和财产损失，都说明进一步加强气象防灾减灾工作的极端重要性和紧迫性。

党中央国务院和地方各级党委政府对气象防灾减灾工作高度重视。“强化防灾减灾”和“加强应对气候变化能力建设”首次写入党的十七大报告。胡锦涛总书记在 2008 年“两院”院士大会上强调，“我们必须把自然灾害预报、防灾减灾工作作为事关经济社会发展全局的一项重大工作进一步抓紧抓好”。在中央政治局第六次集体学习时，胡锦涛总书记再次强调，“要提高应对极端气象灾害综合监测预警能力、抵御能力和减灾能力”。国务院已经分别就加强气象灾害防御、应对气候变化工作做出重大部署。在 2008 年全国重大气象服务总结表彰大会上，回良玉副总理指出，“强化防灾减灾工作，是党的十七大的战略部署。气象防灾减灾，关系千家万户安康，关系社会和谐稳定，关系经济发展全局。气象工作从来没有像今天这样受到各级党政领导的高度重视，

从来没有像今天这样受到社会各界的高度关切，从来没有像今天这样受到广大人民群众的高度关心，从来没有像今天这样受到国际社会的高度关注。这既给气象工作带来很大的机遇，也带来很大的挑战；既面临很大压力，也赋予很大动力，应该说为提高气象工作水平创造了良好条件”。

我们一定要十分珍惜当前气象事业发展的好环境，紧紧抓住气象事业发展的难得机遇，深入贯彻落实科学发展观，牢固树立“公共气象、安全气象、资源气象”的发展理念，始终把防御和减轻气象灾害、切实提高灾害性天气预报预测准确率作为提升气象服务水平的首要任务。面对国家和经济社会发展对加强气象防灾减灾工作的迫切需求，推进防灾减灾工作快速发展，做到“预防为主，防治结合”，很有必要编写一套《气象灾害丛书》，从不同视角吸收科学、社会以及管理各方面的研究成果，就气象灾害的发生、发展、监测、预报和预防措施，普及防灾减灾知识，提高防灾减灾的效益，为我国防灾减灾事业、构建社会主义和谐社会做出贡献。

2003年中国气象局组织编写出版了《全球变化热门话题丛书》，主要立足宣传和普及天气、气候与气候变化所带来的各方面影响以及适应、减缓和应对的措施。这套书的出版引起了很大反响，拥有广大的读者群。《气象灾害丛书》是继《全球变化热门话题丛书》之后，中国气象局组织了有关部委、中科院和高校的气象业务科研人员及相关行业领域的灾害研究专家，编写的又一套全面阐述当今国内外气象灾害监测、预警与防御方面最新技术成果、最新发展动态的科学普及读物。《气象灾害丛书》分21分册，在内容上开放地吸收了不同部门、不同地区和不同行业在气象灾害和防御方面的研究成果，体现了丛书的系统性、多学科交叉性和新颖性。这对于进一步提高社会公众对气象灾害的科学认识，进一步强化减灾防灾意识，指导各级部门和人民群众提高防灾减灾能力、有效地为各行业从业人员和防灾减灾决策者提供参考和建议都具有重要意义。同时，根据我国和全球安全减灾应急体系建设这一大学科的要求，“安全减灾应急体系”共有100多部应写作的书籍，《气象灾害丛书》的出版为逐步完善这一科学体系做出了贡献。

在本套丛书即将出版之际，谨向来自气象、农业、生态、水文、地质、城乡建设、交通、空间物理等多方面的作者、专家以及工作人员表示诚挚的感谢！感谢他们参与科学普及工作的高度热忱以及辛勤工作。

郑国光

编著者的话

通过两年的努力,《气象灾害丛书》终于编写完毕。丛书由 21 册组成,每一册主要介绍一个重要的灾种,整个丛书基本上将绝大部分气象以及相关的衍生灾害都作了介绍,因而是一套关于气象灾害的系统性丛书。参加此丛书编写的专家有 200 位左右,他们来自中国气象局、中国科学院、林业部和有关高等院校等部门。他们在所编写的领域中不但具有丰硕的研究成果,而且也具有丰富的实践经验,因而,丛书无论是从内容的选材,还是从描述和写作方式等方面都能保证其准确性和适用性。编写组在编写过程中先后召开了六次编写工作会议,各分册主编和撰稿人以高度负责的态度和使命感热烈研讨,认真听取意见和修改,使各册编写水平不断提高,从而保证了丛书的质量。另外,值得提及的是,丛书交稿之前,又请了 46 位国内著名的院士、专家和学者进行了评审。专家们一致认为,《气象灾害丛书》是一套十分有用、有益和十分必要的防灾减灾丛书。它的出版有助于政府、社会各部门和人民群众对气象灾害有一个全面、深入的了解与认识,必将大大提高全民的防灾减灾意识。丛书的内容丰富、全面、系统、新颖,基本上反映了国内外气象灾害的监测、预警和防御方面的最新研究成果和发展动态,可以作为各有关部门指导防灾减灾工作的科学依据。

在丛书包括的 21 个灾种中,除干旱、暴雨洪涝、台风、寒潮、低温冷害、冰雪等过去常见的气象灾害外,丛书还包括了近一二十年新出现的或日益受到重视的新灾种,如霾、生态气象灾害、城市气象灾害、交通气象灾害、大气成分灾害、山地灾害、空间气象灾害等。这些灾害对于我国迅速发展的国民经济已越来越显示出它的重大影响。把这些灾害包括在丛书中不但是必要的,而且也是迫切的。另外,通过编写这些书,对这些灾种作系统性总结,对今后的研究进展也有推动作用。

为了让读者对每一种灾害都获得系统而正确的科学知识以及了解目前最

新的防灾减灾技术、能力和水平，编写组要求每一册书都要做到：（1）对灾害的观测事实要做全面、正确和实事求是的介绍，主要依据近 50 年的观测结果。在此基础上概括出该灾种的主要特征和演变过程；（2）对灾害的成因，要根据大多数研究成果做科学的说明和解释，在表达上要深入浅出，文字浅显易懂，避免太过专业化的用语和用词；（3）对于灾害影响的评估要客观，尽可能有代表性与量化；（4）灾害的监测和预警部分在内容上要反映目前的水平和能力，以及新的成就。同时要加强实用性，使防灾减灾部门和人员读后真正有所受益和启发；（5）对每一灾种，都编写出近 50 年（有些近百年）国内重大灾害事件的年表，简略描述出所选重大灾害事件发生的时间、地点、影响程度和可能原因。这个重大灾害年表对实际工作会有重要参考价值。

在丛书编写过程中，所有编写者亲历了 1 月发生在我国南方罕见的低温雨雪冰冻灾害和“5·12”汶川大地震。在全国可歌可泣的抗灾救灾精神的感召下，全体编写人员激发了更高的热情，从防大灾、防巨灾的观念重新审视了原来的编写内容，充分认识到防灾减灾任务的重要性、迫切性和复杂性。并谨以此丛书作为对我国防灾减灾事业的微薄贡献。

丛书编写办公室与编写组专家密切配合，从多方面保证了编写组工作的顺利完成，在此也表示衷心感谢。另外，由于这是一套科普丛书，受篇幅所限，各册文中所引文献未全部列入主要参考文献表中，敬请相关作者谅解。

编写组长 丁一汇

2008 年 10 月 21 日于北京

前言

低温冷害是影响我国农业生产的一种重要灾害，主要指夏季低温给农业造成的灾害，这种灾害在中国东北地区最为显著。尽管 20 世纪 50 年代就曾发生过较为严重的低温冷害，如 1954 和 1957 年就发生了覆盖整个东北地区的冷害，并且还影响到东北地区以外，如内蒙古自治区、华北等地区。但是由于 1954 年长江流域的洪水和 1956 年淮河大水造成了巨大的洪涝灾害，因此，那时低温冷害及其预测未受到足够的重视。接下来的 20 世纪 60 和 70 年代中国东部夏季风减弱，特别是 20 世纪 60 年代中期之后夏季降水显著减少，严重干旱频发。除了 1969 年发生了较为明显的梅雨外，未发生类似于 1954 年或 1956 年的洪水。这样一直到 1978 年，仅仅在 1979 年才又开始进入一个洪水多发的时期。所以，20 世纪 60 和 70 年代干旱又成为气候预测的中心问题。然而，就是在这段时期，接连发生了 1969，1972 和 1976 年的低温冷害。这些灾害造成了大范围粮食减产，有时能减产 15%~20%，可见影响之巨大。在这种情况下，低温冷害的业务预报和研究日益受到更大的重视。

不过，受到气候变暖的影响，自 1976 年之后，就没有再发生过类似于 20 世纪 70 年代的严重低温冷害。但是 1977—1995 年间仍不时有范围略小、强度稍低的低温冷害发生。1996—2008 年已超过 10 年未发生大范围低温冷害。这说明随着全球气候变暖，低温冷害发生的频率确实是下降了。但是，这并不意味着我们就不需要研究低温冷害了。因为全球变暖只是气候变化的一个基本旋律。但是，这并不意味着主要由自然原因驱动的年代际变化、年际变化就可以忽略不计了。一旦进入一个年代际变化的低温期，再次发生大范围、甚至严重的低温冷害的可能性仍然不能排除，同时，由于气候变暖，气温波动振幅可能加大，阶段性的低温冷害亦可能加重，况且，随着社会生产的发展，例如农业生产采用新的品种等，往往对气候条件的要求更高，这样对低温冷害影响的脆弱性还会逐步增加。另外，虽然大范围低温冷害的频率下降，

但不排除局部地区发生低温冷害。例如近来东北水稻障碍型低温冷害甚至略有增加和加重的趋势。所以低温冷害的研究及预测研究绝对不可放松。

除了夏季低温冷害之外,春季低温连阴雨、秋季寒露风、春季晚霜和秋季早霜、冬季冻害和雪灾也对农业生产有巨大影响。而且影响不仅限于东北地区,同时也不仅限于农业,特别是谷物生产。这些季节的低温冷害或冻害影响涉及经济作物、畜牧、交通、运输、通信乃至工业生产。本书主要目的是阐述夏季低温对中国东北地区农业生产的影响。考虑到对低温灾害认识的系统性,因此,在本书第1章比较系统地介绍了冬、春、夏、秋四季的低温,特别是20世纪后半叶各种低温灾害发生的情况,特别比较了几种灾害气候图集的结果。这样能够对我国各季低温冷害和冻害的发生情况有一个系统的认识。对霜害、冻害等在本丛书其他各分册中有专门的讲述,因此,本书只是宏观的介绍,着重讲近50年灾害发生情况。本书第2章概述低温冷害的基础知识,重点介绍对东北地区作物的影响,第3章介绍低温冷害的监测、评估和防御。这两章更多的是从对作物生长影响的角度来分析。第4章及第5章则集中从气候角度来分析夏季低温冷害。第4章讲述低温冷夏的气候变化。第5章讲形成低温冷夏的大气环流条件与火山活动和ENSO的联系。

由于本书是综合性的介绍,有一定通俗性。因此,只引用了一些最基本的文献。对于过去许多作者的工作未能一一列举,在此表示深切感谢与歉意。本书第1章由王绍武、黄建斌执笔,第2章由马树庆、王琪执笔,第3章由马树庆、王琪执笔,第4章由陈莉执笔,第5章由陈莉、王绍武执笔。

编著者

目 录

序

编著者的话

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 低温冷害研究历史	1
1.2 中国的温度变化	3
1.3 近 50 年中国四季的低温冷冻害	10
1.4 近百年中国四季的低温	19
第 2 章 作物低温冷害基础	23
2.1 低温冷害概念及类型	23
2.2 低温冷害对农业的影响	26
2.3 低温冷害指标	31
2.4 低温冷害的生理机制	36
2.5 低温冷害的致灾因素	38
第 3 章 低温冷害的监测、评估和防御	45
3.1 低温冷害的监测和评估	45
3.2 低温冷害的预测	56
3.3 低温冷害的风险分析	61
3.4 低温冷害的防御技术	71

第 4 章 东北地区低温冷夏的气候变化	75
4.1 东北地区气温变化	77
4.2 东北地区夏季气温变化	82
4.3 东北低温冷夏年的气候指标	84
4.4 近百年东北低温冷夏的年代际变化	87
4.5 近百年东北低温冷夏的地理分布	91
4.6 几个典型的东北低温冷夏年	94
第 5 章 东北低温冷夏形成机理和气候背景	100
5.1 大气环流与东北低温冷夏	100
5.2 海温与东北冷夏	115
5.3 火山活动与东北冷夏	123
5.4 近 400 年东北亚冷夏	128
参考文献	133

1.1 低温冷害研究历史

我国的汛期降水预测业务开始于 1958 年。当时对夏季低温冷害了解尚少。由于 20 世纪 60—70 年代我国东北接连发生了几次严重的低温冷害。东北夏季低温的研究及预测业务才逐步受到了重视。在 20 世纪 70 年代末到 80 年代初开展了东北各省及全国性的协作,于 1983 年出版了《东北夏季低温长期预报文集》,对东北夏季低温形成的天气过程、大气环流条件、外强迫因子及预报试验各方面的研究做了总结。省和中央两级气象局的预测业务也有了很大进展。

从 20 世纪 80 年代中期开始,不少学者对影响中国的气候灾害作了系统的研究,其中低温冷害研究占有重要的地位。1985 年出版了冯佩芝等编著的《中国主要气象灾害分析》,该书全面总结了影响我国的各种主要气象灾害,其中与低温有关的灾害就有 5 项:寒潮和强冷空气,初、终霜冻和冻害,南方春季低温连阴雨,东北夏季低温冷害和南方秋季寒露风。书中附有 1951—1980 年我国历年主要气象灾害及农作物受灾情况。1999 年出版了赵振国主编的《中国夏季旱涝及环境场》,书中包括 1951—1996 年我国逐年主要气候特征、大气环流、海温(包括 ENSO)的情况。1997 年中国科学院与有关单位合作,出版了《中国气候灾害研究图集》,该书包括 1951—1990 年共计 40 年,每年 4 个季节各 1 幅图,描绘了 7 种气候灾害:干旱、雨涝、霜冻、夏季低温、华南寒害、雪灾及台风。而且给出了春、夏、秋、冬四季各种灾害频率分布图。这样在较为完整的资料情况下,使人们对各种气候灾害的全貌有了系统的认识。1996 年出版了《中国气候灾害的分布和变化》论文集,其中有关于东北夏季低温、华南春季连阴雨和寒露风以及寒潮的论文,对各种灾害的形成机制、变化规律和经济影响进行了深入分析。2007 年中国气象局

出版了《中国灾害性天气气候图集》，书中与低温灾害有关的图例包括寒潮、东北夏季低温冷害、南方春季低温冷害和秋季寒露风。给出了1961—2006年的完整序列。这是中国气象局第一次正式公布气候灾害的系统资料。同时，丁一汇主编、李维京副主编的《中国气象灾害大典·综合卷》分现代（1951—2000）、近代（1900—1950）和古代（1900年之前）三段时期，分门别类地汇集了气候灾害原始记录，其中低温冷冻灾害包括寒潮、春秋霜冻和夏季低温，该书是研究气候灾害的非常宝贵的参考资料。

从灾害学的角度来讲，低温冷害研究重点是分析严重低温条件对作物和农业生产的危害及防御技术措施。通过多年的研究和实践，人们已经把农业低温灾害划分为作物低温冷害、作物霜冻害、冬季作物冻害和南方作物寒害（寒露风）等四类。通常所说的作物低温冷害，一般指在作物生长发育期间，出现较长时间的持续性低温寡照天气，或者出现短期的强低温天气过程，最低气温在 0°C 以上，但日平均气温低于作物生长发育的适宜温度下限指标，影响农作物的生长发育和结实，并引起减产的自然灾害。冻害是指越冬作物和果树等在越冬期间，因长期严寒或几天时间的冻融交替，引起作物和果树在较短时间内枯死、腐烂。发生冻害的温度范围是在 0°C 以下，甚至 -20°C 左右，而且作物或果树的冻害都有明显的症状，这与冷害是完全不同的。橡胶等热带、亚热带作物受寒潮低温危害的现象称为寒害。

经过近40多年的研究，人们已经认识到低温冷害对作物的危害主要有三种情况：一是低温延缓发育速度，致使作物在秋霜来临时尚不能完全成熟；二是低温降低作物的生长量和群体生产力；三是低温使作物的生殖器官直接受害，影响正常结实，造成不孕，空秕粒增多。人们还根据致灾机理把低温冷害分为延迟型冷害、障碍型冷害和混合型冷害等类型。又根据冷害发生时期，把低温冷害分为前期冷害、中期冷害和后期冷害。

近些年来，在作物低温冷害的监测、预测、评估和综合防御等方面的应用研究和应用基础研究取得了长足进展。以东北地区作物低温冷害为例，在20世纪70—80年代就总结出作物低温冷害的指标，近年来又建立了玉米和水稻等主要粮食作物延迟型和障碍型低温冷害的监测和损失评估指标体系，初步建立了监测、预测和评估的方法和模型。在低温冷害的防御方面也取得了新的进展，作为国家“八五”、“九五”和“十五”农业攻关项目的重要课题之一，通过田间试验和模拟研究，在传统防御技术的基础上，总结、提炼出主动防御和被动防御、战略防御和应急防御相结合的防御技术，并在综合防御技术方面取得了长足进展。这些作物低温冷害的监测、预测、评估和综合防御等方面的研究成果在东北等地区的农业气象服务业务和农业生产中应用，

取得了良好的社会 and 经济效益。

本书的重点是分析东北夏季低温冷害，这是我国影响最大的低温灾害。但是，为了使读者能够对各种低温灾害有一个全面的了解，本章先对我国的温度变化和四季的低温灾害做一扼要的介绍，第2~5章，主要讲述东北夏季低温冷害。

1.2 中国的温度变化

1.2.1 温度变化的背景

低温冷害是由于温度低而形成的灾害，因此，低温冷害的发生频率和强度与温度变化的背景有密切的关系。过去几十万年以来，盛行以10万年为周期的冰期-间冰期旋回，每个旋回包括一个冰期和一个间冰期。距我们最近的冰期中的最寒冷时期，称为末次冰期冰盛期（LGM），出现于21 kaBP（kaBP指距公元1950年有多少千年）。我们现在生存的时期称为间冰期，在地质学上称为全新世，开始于11.5 kaBP。LGM以来，全球平均温度已经上升了4~7℃，个别高纬地区上升了10℃以上。每个旋回中只有约20%时间为间冰期，近4个旋回中间冰期每个只有1万~2万年。现在公认冰期-间冰期旋回是地球轨道要素变化造成的。根据地球轨道要素的变化，估计未来3万年不可能进入冰期。这表明当前的间冰期还可以维持相当长一段时期。

进入全新世后我国气候暖湿，根据各地的孢粉记录，8.5~3.0 kaBP为大暖期，是气候最适宜期。但是，也有一些证据表明，在我国纬度较高地区如新疆早全新世（10.5~7.0 kaBP）最暖。无论如何，愈来愈多的资料说明，我国的气候湿润度在早全新世最高。中全新世逐渐趋于干旱，在夏季风北缘及西北地区东部表现最明显。晚全新世是持续的气候干旱时期。这个大的变化趋势显然受地球轨道要素影响，特别是岁差影响。由于岁差变化，早全新世北半球夏季太阳辐射最强，以后持续减弱直到晚全新世。所以，全新世我国气候有向冷干变化趋势。但是，总的来讲目前仍处于气候暖湿的间冰期，与冰期的气候迥然不同。

20世纪末到21世纪初，古气候学有一个重要的发现，就是气候的不稳定性。过去曾经认为冰期的气候特点是持续的寒冷，间冰期是暖湿。后来发现冰期中也有激烈的千年尺度气候振荡，表现为温暖的间冰阶与寒冷的冰阶的交替。间冰阶在间隔1470年或其倍数时间出现。末次冰期80~10 kaBP就出现了21次这样的间冰阶。冰阶-间冰阶温度振幅达到冰期-间冰期旋回的1/2

到 3/4, 可见变化之激烈。最后一次间冰阶之后即出现新仙女木 (YD) 事件。YD 事件温度的振幅就达到冰期-间冰期旋回的 3/4。YD 事件冷期约持续 1 000 年, 而进入及走出 YD 事件只有几十年, 或个别地点不足 10 年, 因此称为气候突变。

全新世的气候也不稳定。在气候暖湿的背景上, 出现了若干次冷事件。不过这些冷事件持续时间及强度均不能与冰期中的千年尺度气候振荡相比。例如, 北大西洋 YD 事件的海温振幅为 4.5°C , 而全新世最强的 8.2 kaBP 事件海温振幅才 1.5°C , 小冰期只有不到 1°C 。8.2 kaBP 事件持续时间只有 200 年, 远低于 YD 事件。所以, 虽然有人把全新世的冷事件也称为气候突变, 但是其突变性显然远不如冰期中的千年尺度气候振荡。大量证据表明, 全新世的冷事件可能有 9 次, 最近一次为小冰期, 时间间隔在千年以上, 因此也可以列入千年尺度气候振荡。最近一次千年尺度气候振荡的暖期即中世纪暖期, 大约在公元 900—1 300 年; 冷期即小冰期开始于距今 400 年前。所以, 我们分析过去几百年的史料时, 常发现大量的低温、霜冻、大雪、冻雨、寒冬, 这些灾害无论频率还是强度均远高于 20 世纪。

但是, 人类活动可能会对气候的自然变化产生巨大的干扰。因为, 由于先是砍伐森林, 后来工业发展, 燃烧煤、石油、天然气等化石燃料, 向大气中排放了过多的 CO_2 , 再加上扩建稻田、开矿、发展畜牧业释放了大量的甲烷, 使大气中的温室气体显著增加, 仅 CO_2 就增加了 30% 以上。温室气体的增加加剧了温室效应, 造成全球气候变暖, 根据 IPCC 第 4 次 (2007 年) 评估报告, 近百年 (1906—2005 年) 全球平均气温上升了 0.74°C , 而第 3 次 (2001 年) 评估报告分析 1901—2000 年才上升 0.60°C , 可见气候变暖趋势加剧形势之严峻。对我国 20 世纪气候变暖的估计因资料不同及分析方法不同而有不少差异。但是, 大部分估计近百年增温在 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 之间, 与全球气候变暖的趋势基本一致。尽管大部分科学家相信这是人类活动造成的温室效应加剧的结果, 而且气候模拟也提供了强有力的证据。但是, 仍有一些科学家认为太阳活动的增强, 或火山活动的减弱对气候变暖也有一定的影响。例如 20 世纪中期 1920—1950 年气温较高、火山活动弱可能也是一个原因。同时, 把火山活动、太阳活动的影响加入模式后, 确实也能更好地模拟近百年的温度变化。这表明自然原因造成的气候变化仍不可忽视。

1.2.2 近百年中国的温度变化

近百年全球气候变暖, 这个过程极大地影响了低温冷害等灾害的发展变化。所以, 在分析这些灾害之前, 先要对气候变暖做一个概括的分析。为了

确认变暖的幅度、速度以及影响范围，建立一个对我国有代表性的温度序列是十分重要的。如果把能够收集到的我国温度观测序列统统利用起来，无疑会包括可能多的信息，但是这样构成的平均序列的不均匀性是可以想象的。19 世纪末可以采用的单站温度序列不超过 10 个。1951 年之后的资料则普遍使用国家气候中心（NCC）整理的 160 个站的月平均温度序列。近来也有的作者 1951 年以后的温度序列应用更多的单站序列。但是，早期和晚期所用站数的差异就更突出了。这样就造成了两个方面的影响：①台站多、覆盖面大，台站少、覆盖面小，造成地域代表性的变化；②台站多、平均值的标准差小，台站少、平均值的标准差大，容易形成平均序列早期振幅大、后期振幅小的结果。有人曾经利用不同数量测站建立了我国温度序列，1880—1910 年期间只用了哈尔滨、北京、上海及广州 4 个测站；1911—1950 年用我国温度等级换算，缺少新疆、西藏及台湾的资料；1951 年开始用 160 个站的观测资料。这样建立的温度序列显示，我国的气候变暖非常弱。后来王绍武等（1998）建立了覆盖全国 10 个区的新序列，这个序列反映出我国有明显变暖的趋势，而且与国外新建立的格点序列有较高的相关，说明有较好的代表性。这表明资料的处理能对结果有很大的影响。

王绍武等（1998）建立的序列（简称 Wang98）有以下几个特点：①全国划分为 10 个区，包括了西藏、新疆、台湾，覆盖面完整；②每个区只用 5 个代表站做平均，早期只有 1 个站时，标准差按比例缩小；③凡是缺测用冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 、树木年轮及史料插补。这样就得到了 1880 年以来 10 个区的年平均温度序列，然后再按每个区的面积大小加权平均，得到我国温度序列，各区的面积不是按地理或行政区域划分的，而是用代表站与 1° （经度） $\times 1^\circ$ （纬度）格点气温的相关确定的。应该说这个序列在分析方法上是比较严谨的，误差可能主要来自代用资料，这是因为：①代用资料本身有误差，如冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 是否同时受降水量影响，在较低纬度这个问题是比较严重的；②建立序列时西藏地区的冰芯尚未充分开发，只用了树木年轮资料；③温度分区是根据观测资料得到的，代用资料的代表性尚需要研究。因此，这个序列只能认为是一个初步的结果，还可以进一步改善。但是，无论如何为我们提供了一个在统计上较为均匀的序列。

2005 年英国 East Anglia 大学的气候研究中心（Climatic Research Unit，简称 CRU）释放了高分辨率（ $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 格点）全球陆地月平均温度序列，从 1901 年 1 月开始至 2003 年。这个序列未利用卫星资料及模式同化，单纯使用地面观测资料，缺测用统计方法内插。闻新宇等（2006）利用 CRU 的资料，按上面谈到的 10 个区的地理范围建立了区的温度序列，同时按区的面积