

# 东北夏季低温的研究进展

崔 锦<sup>1</sup> 李 辑<sup>1</sup> 张爱忠<sup>2</sup> 阎 奇<sup>3</sup>

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016; 2. 沈阳军区空军气象中心;  
3. 辽宁省鞍山市气象局)

**提 要:** 以东北夏季低温为重点, 系统地回顾了东北夏季低温的气候特征和环流特征、影响因子及其预测的研究进展。东北夏季低温是一个大范围且持续时间较长的天气气候灾害, 主要受极涡和副热带高压等大气环流系统与下垫面的影响, 目前对其预测的研究还较为初步, 今后的研究工作应以东北夏季低温机理研究和预测系统的建立为重点。

**关键词:** 东北 夏季低温 气候特征 影响因子 预测

## Advances in Studies of Summer Low Temperature in Northeast China

Cui Jin<sup>1</sup> Li Ji<sup>1</sup> Zhang Aizhong<sup>2</sup> Yan Qi<sup>3</sup>

(1. Shenyang Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016; 2. Meteorological Center of Air Force, Shenyang Military Region; 3. Anshan Meteorological Office, Liaoning Province)

**Abstract:** Major advances in studies of summer low temperature, such as its climatic features and its circulation features as well as the influence factors in Northeast China for recent 30 years are reviewed. Summer low temperature in Northeast China is a large-scale climatic disaster which can persist longer and be influenced by atmosphere general circulation systems and underlying surface. The studies of forecast for summer low temperature are simpler, so the mechanism and developing forecast system of summer low temperature in Northeast China will be most important in the future studies.

**Key Words:** summer low temperature influence factor forecast

### 引 言

低温冷害是指在作物整个生长发育期或

某个生育阶段, 气温低于作物所需的临界温度而造成的严重减产<sup>[1,2]</sup>。一般将低温冷害分为障碍型和延迟型两种。前者是指作物在生长的关键时期(如幼穗分化期、出穗开花期

等)遭受较强的低温冷害,使作物器官的发育受到障碍而造成减产;后者指作物在营养生长期遇到有较长期期的低温,使生育延迟以致不能完全成熟而减产。若夏季出现长期的持续低温,可能导致两种类型的冷害并发,从而造成大幅度减产<sup>[3]</sup>。东北地区地处我国的北方,是我国重要的商品粮生产基地之一,但因其地理纬度高、气候寒冷、无霜期短,所以夏季温度的高低对粮食产量的影响就极为重要,夏季低温是东北地区农业生产的主要灾害性天气气候现象。因此,充分认识东北夏季低温的气候特征和变化规律,以及造成这种低温灾害产生的原因,对于做好东北地区夏季温度状况的长期预报,对于安排作物品种,制定合理的耕作制度,适时采取抗御低温危害的措施,夺取农业的稳产、高产,具有重大意义。

上世纪 80 年代初,在前期东北夏季低温冷害频繁发生的背景下,由我国东北三省气象局、北京气象中心等多家单位组成的东北低温协作研究组对东北夏季低温的气候和环流特征以及长期预报,进行了较为系统的研究<sup>[1-16]</sup>。除了这种较为集中的研究外,近 10 年来,我国气象工作者又陆续从东北低温的气候变化特征以及影响因子等方面展开了深入的研究,获得了一些有益的结论<sup>[17-30]</sup>。

## 1 东北夏季低温的气候特征和环流特征

东北是我国最易出现低温的 3 个地区之一<sup>[31]</sup>,在 1954、1957、1969、1972 和 1976 年,受夏季低温冷害的影响,东北地区粮食造成严重减产,但是直到 1970 年代中期,这种现象才逐渐引起东北地区及全国气象部门的重视。早期东北低温协作组的研究主要集中于东北夏季低温的气候特征以及环流特征<sup>[1-7]</sup>分析。研究表明,从空间特征分布来看,东北地区夏季低温并非局地现象,而是一个大范

围的现象,就平均状况而言,其水平尺度南北可达 40 个纬度,东西可达 40 个经度,面积可达 2000~3000km<sup>2</sup>,在全球温度距平图上,可以进一步看到温度距平巨大的空间尺度,在东北地区持续低温时,常常自亚洲大陆到太平洋东部,除亚洲南部、青藏高原和西伯利亚中部外,几乎都是负距平,水平尺度东西跨度达 100 个经度,南北可达 70~80 个纬度。在时间持续性上,东北低温是较长时间尺度的天气异常现象,一般持续几个月到十几个月<sup>[1]</sup>。另外,东北夏季低温具有群发性<sup>[5]</sup>的特点,即在个别时期内低温易成群发生,3 次显著的低温群分别发生在 1881—1913 年、1934—1940 年和 1957—1979 年,第一次低温冷害群共有 8 次低温发生,间隔一二年就有 1 次低温发生,是近百年来最大一次低温冷害群。第二次低温群仅出现了 2 次低温,是近百年来较小的一次低温冷害群。第三次低温群出现了 5 次低温,从这之后,东北低温逐渐引起人们的关注。

进入 1980 年代以来全国温度呈变暖趋势,东北夏季低温冷害出现的频率明显减小,相关研究也随之有所减少。但随着观测资料长度和种类的不断增长,1990 年代末期以后,相继又有人做了一些进一步的分析,结果表明东北低温具有地域差异和明显的年代际变化特征。近期的研究指出<sup>[17-19]</sup>,低温冷害频率随纬度的增高而增大,严重低温冷害的频率却随纬度增高而减少,山区的频率要比同纬度的平原地区大,东北北部夏季低温冷害最重,南部夏季受低温冷害最轻;整个东北地区出现夏季低温冷害的年份从 1950 年代到 1990 年代在逐渐减少,1950 年代和 1970 年代低温冷害较重,1960 年代次之,1980 年代较轻;各省夏季低温冷害出现的次数大体相当,大约为 3~4 年一遇,但出现的年份并不完全相同。

东北低温协作研究组通过对比东北地区

冷、热夏季年的环流特征和海温状况,得出了东北冷夏年的主要环流特征<sup>[1-7]</sup>。在海平面气压场上,从大气活动中心的位置和强度来看,在冷夏年,冰岛低压不发展,范围较小,中心位置略偏东,阿留申低压较深,太平洋高压中心强度较弱,亚洲大陆热低压不发展,极地冷空气势力较强并频频向南扩散。在500hPa高度场上,冷夏年50°N以南为大范围的负距平区,50°N以北的中高纬度以正距平占优势,表明这些年份夏季北半球盛行经向环流,常有暖空气向北输送,在高纬度地区建立暖高压脊或阻塞高压,同时冷空气也比较活跃,经常扩散到50°N以南的中低纬度一带。从超长波槽脊位置来看,冷夏年从新地岛到乌拉尔山盛行长波脊,而我国东北地区则盛行超长波槽。另外,冷夏年西太平洋副高偏弱,位置偏东、偏南。在100hPa高度场上,极涡明显偏向于东半球太平洋一侧,中心在白令海峡附近,发展较盛,绕极西风环流大致呈3个波的形势,超长波槽分别位于鄂霍次克海附近、北美的东岸和西岸,斯堪的纳维亚半岛附近为明显的超长波脊,我国东北地区处于较强的亚洲大陆东岸超长波槽的后部,南亚副热带高压异常偏弱,这种形势是有利于低层冷空气的向南扩散而不利于暖空气北上。从海温场分布特征来看,东北冷夏年,西太平洋为低温区,东太平洋为高温区,即西低东高。概括起来,东北地区冷夏年,北半球(尤其是东半球)冷空气比较活跃,势力较强,其环流特征是:高层极涡较深,偏向东半球,北半球的大部分地区为负距平;对流层中层盛行经向环流,高纬地区常出现暖高脊或阻塞高压,距平场呈“北高南低”形势;低层极地附近有较多的冷空气聚集并频频扩散南下,大陆热低压不发展。太平洋海温距平场呈东高西低的形势。另外,近年的研究指出东北冷夏年温度场和高度场的垂直分布都是伸展至对流层顶的正压结构<sup>[20]</sup>。

## 2 东北夏季低温的主要影响因子

东北夏季低温是一个大范围的天气气候现象。东北地区夏季气温与两个因素有关,即来自极地的冷空气和来自热带低纬的暖空气,而与冷暖空气相配合的主要天气系统是极涡和副热带高压,在高层表现为南亚高压<sup>[1]</sup>。它们的强度、位置和相互配置关系对东北地区夏季气温起着支配作用,而西风带长波、超长波的环流型与这两个系统的强度有密切关系,在它们的共同作用下形成东北地区夏季的低温。此外,东北低温还受不同的下垫面的影响。二十世纪六七十年代东北夏季低温与 ENSO 有很好的对应关系,因此, ENSO 与东北夏季低温的关系备受人们的关注。近几年来,随着关于太平洋年代际振荡(PDO)研究的升温,人们又发现 PDO 对东北夏季低温具有明显的调制作用。下面分别就各影响因子对东北夏季低温的影响加以总结。

### 2.1 极涡和南亚高压

100hPa上造成东北夏季低温的2个主要系统是极涡和南亚高压。早期研究指出,东北低温年,60°N以北的极区为正距平区,极涡多在中纬度活动,南亚高压弱。从1—5月的逐日100hPa极涡的频数分布来看,可分三种类型:第一种类型,极涡持续龟缩在极圈,这时不论南亚高压强弱与否,均为高温;第二种类型,极涡持续偏心在欧亚大陆,这时不论南亚高压强弱,均为低温;第三种类型,极涡最大频数中心有2个,这时东北区的夏季气温高低决定于南亚高压的强弱,南亚高压弱为冷夏,反之则为暖夏。数量最多的第三种类型是由2种方式造成的:一种是由持续几个月的稳定的偶极型造成的;另一种是由

于极涡不稳定,经常在东西两半球间移动造成的。大多数冷夏前期(冬季),极涡持续分裂为二或持续偏在东半球,它们在东半球的延伸部分稳定在  $40\sim 100^{\circ}\text{E}$ (即欧亚大陆)这一特定区域,使该地区的距平持续为负<sup>[1,4,9]</sup>。

## 2.2 副热带高压

东北地区夏季气温的异常与西太平洋副热带高压的强度和位置有关,当夏季副热带高压强度偏弱,位置偏东、偏南,有利于东北地区出现低温;反之,副高偏强,位置偏西、偏北,则有利于东北地区出现高温。且在西太平洋副热带高压长周期振动的极弱阶段,东北地区易出现严重低温冷害。此外,从西太平洋副高面积指数、黑龙江省气温 6 个月滑动曲线上发现,低温出现前副高均较弱,低温结束时副高增强,说明副高是影响极地冷空气南下的主要条件之一<sup>[1,10-12]</sup>。

## 2.3 西风带超长波槽脊和经向振荡

西风带超长波槽脊和经向振荡是东北夏季低温发生的重要天气背景。东北低温科研协作组<sup>[1]</sup>通过分析典型东北地区夏季低温年 500hPa 距平合成图,发现低温年东北地区有超长波槽停留和经过。进一步分析低温年 500hPa 月距平发现,纬向分布特征是:东亚、北美为强低槽,西欧为弱低槽;经向分布特征是:低温年极为正距平,中低纬为负距平。其天气形势表现为高纬有阻塞高压,东亚有低槽,副高弱,东北有冷涡<sup>[1]</sup>。长期天气的异常是由稳定的环流形势所造成的。东北地区夏季持续低温天气就是由于前期(11—2月),上游地区( $30\sim 90^{\circ}\text{E}$ )有一个稳定的超长波槽,春季(3—4月)以每月  $20\sim 30$  个经度的速度东移,夏季(5—9月)则稳定在东北地区所造成的。值得注意的是冷涡出现天数多的年份易于出现东北低温,说明东北冷涡是

产生东北低温的一个直接环流条件。

同时,东北低温科研协作组认为冷空气的经向交换是造成东北低温的主要演变过程<sup>[1]</sup>。他们利用 500hPa 候平均图分析东北低温形成的演变过程,发现有泰梅尔阻高形成诱导冷空气南下、雅库茨克阻高诱导冷空气南下、乌拉尔主槽及冷空气东移和贝加尔湖高压形成诱导冷空气西南下 4 种低温形成过程。同时利用 500hPa 距平 3 个月滑动平均图分析出东北低温形成过程,发现有西南、东北及西方路径。利用 500hPa 距平 6 个月滑动平均图发现,造成东北低温从极地到中高纬度冷空气有 3 条路径,即冷空气南下、超极地南下和东南下。这些事实都说明利用不同尺度分析所得出的东北低温的形成过程是比较一致的。

## 2.4 下垫面

东北夏季低温是一个大范围而又长期的天气气候现象,而下垫面状况大范围的持续异常会对大气环流和大气活动中心有显著影响,因此下垫面对东北低温的影响是不容忽视的。已有的研究主要考虑了海温、洋流、积雪和海冰等下垫面因子的影响<sup>[1]</sup>。

东北低温协作组早期分析了北太平洋海温和东北低温的关系,结果表明,东北地区 6—8 月气温和前期 10—11 月海温呈反相关,负相关区位于阿留申群岛南部附近海域,正相关区在赤道太平洋东部地区,这两个区域正是阿留申低压和太平洋热带高压这 2 个大气活动中心所控制的区域,对东北地区气温的相关反映了海洋对大气活动中心的影响,从而导致东北地区气温的异常。

黑潮区冬春感热加热的异常将导致东亚环流的异常,黑潮区冬春感热输送和夏季东北地区气温正相关,感热输送少,有利于东亚大槽的加深,反之亦然。而东亚大槽的加深正是造成东北地区低温的有利环流形势。

冰雪面积扩展,反照率加大,气温降低;反之气温升高。冰雪面积继续扩大,下垫面对大气的感热交换少,甚至停止,更使气温降低,继而造成等压面下降,有利于低槽的维持和加深。因此,当冬春北半球冰雪面积扩大时,使夏季极涡或槽偏于欧亚大陆,气温偏低,且北半球冰雪面积扩大时,极涡面积也扩大。另外,高原降雪量和夏季 100hPa 南亚高压呈负相关,进而冬季高原降雪量距平百分比和东北夏季气温呈负相关。

## 2.5 ENSO

热带海洋热力状况的改变对大范围气候的变化有很大的影响,它不仅影响到低纬度热带地区,还可以涉及中纬度地区的气候状况。ENSO 作为年际时间尺度上热带地区气候变率的强信号<sup>[32]</sup>,直到 1980 年代,东北夏季低温与 ENSO 的关系才逐渐引起人们的关注。早期研究认为,东亚夏季低温与厄尔尼诺有联系,并且在 1950 年代至 1970 年代近 30 年时间里,东北地区夏季异常低温与赤道东太平洋海温变化是反位相的,造成这种遥相关的原因可能是由于当厄尔尼诺现象发生时,低层海温异常影响到大尺度环流的异常,并把信息传到中纬度地区,从而使得处于中纬度的我国东北气温异常<sup>[24-25]</sup>。

受全球气候变暖的影响,1980 年代以来,随着东北低温出现频率的减少和强度的减弱,厄尔尼诺事件的出现不再完全对应东北夏季低温(如 1997 强厄尔尼诺年东北夏季则是高温年),人们开始重新思考 ENSO 与东北低温的关系。近 10 年的一些研究指出,ENSO 导致的东北地区最显著的低温异常不是发生在夏季,而是在 ENSO 当年秋季至次年春季<sup>[26]</sup>,甚至有的研究认为热带中东太平洋(Nino3 区)SSTA 前期及同期变化与东北夏季低温关系不大<sup>[27]</sup>。但是也有人根据 ENSO 事件分类讨论了不同 ENSO 情况对

东北低温的影响<sup>[28-29]</sup>,他们认为厄尔尼诺对东北低温的影响主要在 1950—1970 年代,1980 年代也有一定的影响,但其强度和危害则大大降低。还有的研究认为前一年 5—7 月 NinoC 区海温与东北地区夏季气温有密切的关系,特别是 ENSO 事件出现之后,厄尔尼诺年的次年东北地区夏季多高温,而拉尼娜年的次年,东北地区夏季低温更明显<sup>[30]</sup>。这些研究结论说明在全球气候变暖背景之下,ENSO 与东北夏季温度之间并不是仅仅概括为反位相的线性关系那么简单,它们彼此间的关系还受到其它因素的影响。

## 2.6 太平洋年代际振荡

太平洋年代际振荡(简称 PDO)是近年来揭示的一种年代际时间尺度上的气候变率强信号,一方面,它既是叠加在长期气候趋势变化上的扰动,可直接造成太平洋及其周边地区气候的年代际变化;另一方面,它又是年际变率的重要背景,对年际变化(如 ENSO 及其影响)具有重要的调制作用,可影响 ENSO 事件频率和强度,同时也可导致年际 ENSO-季风异常关系的不稳定性(或年代际改变)<sup>[33-35]</sup>。朱益民<sup>[36]</sup>等的研究指出 PDO 与中国气候年代际变化存在密切联系。PDO 暖位相期,冬季和夏季,我国东北地区气温都是显著偏高,而 PDO 冷位相期则显著偏低。另外, PDO 作为年际变率的重要背景,其对东北地区夏季低温有明显的调制作用。以往的研究指出,在 ENSO 发展阶段,东北地区容易出现夏季低温冷害,但该气候异常在近十几年发生频率明显减少。文献<sup>[36]</sup>研究认为这可能是由于 PDO 的调制作用造成的。在年代际时间尺度上, PDO 由冷位相转换为暖位相后,将使得东北地区夏季气温异常偏暖,因此在这种与 PDO 有关的年代际暖背景调制作用下, ENSO 发展阶段对东北夏季气温的影响由偏冷转变为偏暖,低温现象不再显著<sup>[36]</sup>。

### 3 东北夏季低温的预测

低温冷害作为东北地区夏季影响较为严重的灾害性天气,可以给农业生产带来严重的危害,因此对其提早的预测就显得尤为重要,但是关于这方面的研究并不多,而且较为零散。早期东北低温协作研究组在研究基础上初步建立了东北地区夏季低温的预报思路<sup>[1]</sup>,主要是从我国气温分布及变化的气候背景、东北低温发生的气候规律、大气环流的特点以及下垫面状况异常等几方面进行综合分析,从而对东北夏季低温进行预测。此外除了用统计方法,郭裕福<sup>[37]</sup>还在 1980 年代初用滤波模式做了东北夏季温度预报的首次尝试。虽然这些研究都还是初步的尝试,但为日后的预测工作奠定了基础。近几年,杨青等利用 SVD 方法探讨了前冬北太平洋海温与东北夏季气温的关系,基于研究结果建立了用前冬北太平洋海温场预测东北地区夏季气温定量空间分布的方法,从而预测东北夏季低温<sup>[39]</sup>。汪秀清等通过分析东北夏季低温冷害年的环流特征,建立了东北区夏季低温冷害预报模式,用春季高度距平平均场建立夏季低温天气预报模型,结果表明所建方程及模式预报拟合率和预报准确率都比较高,可提前 3 个月左右做出预报<sup>[40]</sup>。

### 4 问题与展望

虽然我国气象学者近 30 年来对东北夏季低温的环流特征、气候特征及影响因子进行了大量的统计研究,并进行了初步的预报尝试,但这些研究更侧重于观测事实和统计特征分析,而对其发生机理和预测的研究则相对较少,因此今后的工作更应加强以下两方面的研究:

(1) 东北夏季低温机理研究。基于目前

的研究结果,利用数值预报模式和建立物理模型等手段,逐步揭示东北夏季低温形成和发展的物理过程及其存在的气候背景。这不仅有助于气象学家解决目前仍未解决的问题,如在全球气候变暖背景下,厄尔尼诺与东北夏季低温存在于 1960、1970 年代的反位相对应关系受到破坏,但破坏这种关系的原因目前我们还不十分清楚,而且更为重要的是其机理的揭示可以为今后的预测工作提供坚实的理论依据。

(2) 东北夏季低温预测系统的建立。尽管近几年来对东北夏季低温的预测已有了一些研究,但其考虑的预测因子还不全面,而且研究工作仍停留在理论阶段,并没有把研究成果应用到实际预报业务工作中去。对东北夏季低温这样的灾害性天气的研究,其目的是为了能够提前做出准确的预报,尽可能把灾害带来的损失降到最低。因此在充分认识其机理的基础上,利用诊断分析方法及数值预报模式等工具,逐步建立完善的预测业务系统,为今后的工农业生产以及社会生活提供必要的保障。

### 参考文献

- [1] 东北低温长期预报方法和理论的研究技术组. 对东北夏季低温长期预报问题的初步认识[M]. 东北夏季低温长期预报文集. 北京:气象出版社,1983:1-8.
- [2] 东北低温科研协作组. 东北地区冷、热夏季的环流特征和海温状况的初步分析及长期预报[M]. 东北夏季低温长期预报文集. 北京:气象出版社,1983:103-126.
- [3] 丁士晟. 东北地区夏季低温的气候分析及其对农业生产的影响[J]. 气象学报,1980,38(3):234-242.
- [4] 章名立,符淙斌,王铭如等. 七十年代全球地面气温的初步研究(一)——七十年代全球地面气温的特征和我国东北低温冷害[J]. 大气科学,1982,6(3):229-236.
- [5] 刘育生,智景和,周珍华. 东北夏季气温的周期变化规律及低温的群发性[M]. 东北夏季低温长期预报文集. 北京:气象出版社,1983:17-21.

- [6] 章名立,符淙斌,王铭如等.七十年代全球地面气温的初步研究(三)——我国东北冷、暖夏年全球温度场的分布[J].大气科学,1983,7(1):23-32.
- [7] 东北低温研协组.东北地区冷夏、热夏长期预报的初步研究[J].气象学报,1979,37(3):44-58.
- [8] 吉林省气象台.我省夏季(5—9)月持续低温的长期天气过程初步分析[M].东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:193-203.
- [9] 吉林省气象台,吉林市气象台.100毫巴极涡和南亚高压的活动与东北夏季低温的关系[J].气象学报,1981,39(4):483-494.
- [10] 徐瑞珍,张先恭.我国东部地区夏季气温场与500毫巴高度场的关系[M].东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:127-134.
- [11] 张恩恕,毛玉英.用北半球500毫巴高度距平三个月滑动图分析黑龙江省夏季低温过程[M].东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:135-147.
- [12] 白人海,郭家林.用北半球500毫巴高度距平六个月滑动图分析黑龙江省夏季低温过程[M].东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:148-157.
- [13] 符淙斌.北半球冬春冰雪面积变化与我国东北地区夏季低温的关系[J].气象学报,1980,38(2):187-192.
- [14] 许致远,白人海,魏松林.北太平洋海温异常与黑龙江省夏季低温的联系及其长期预报[J].海洋学报,1982,4(2):169-174.
- [15] 彭小峡,郭家林,徐爱华.高纬阻高的稳定维持与东北夏季低温[M].东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:183-192.
- [16] 章少卿.100毫巴南亚高压与印巴地区海平面气压、高原积雪、太平洋海温的关系[M].东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:238-244.
- [17] 姚佩珍.近四十年东北夏季低温冷害的气候特征[J].灾害学,1995,10(1):51-56.
- [18] 王敬方,吴国雄.持续性东北冷夏的变化规律及相关特征[J].大气科学,1997,21(5):523-532.
- [19] 刘传凤,高波.东北夏季低温冷害气候特征分析[J].吉林气象,1999,(1):2-5.
- [20] 王静.东北地区夏季冷暖年大气环流异常的空间特征及演变[J].气象科学,2002,22(4):394-401.
- [21] 龚龔,陆维松,陶丽.东北春夏季降水气温异常的时空分布以及及早涝的关系[J].南京气象学院学报,2003,26(3):349-357.
- [22] 陈莉,朱锦红.东北亚冷夏的年代际变化[J].大气科学,2004,28(2):241-253.
- [23] 郭家林,陈莉,李帅.西北太平洋大气海洋对东北亚冷夏形成的影响[J].自然灾害学报,2004,13(2):51-57.
- [24] 王绍武,朱宏.东亚的夏季低温与厄·尼诺[J].科学通报,1985,(17):1323-1325.
- [25] 曾昭美,章名立.热带东太平洋关键区海温与中国东北地区气温的关系[J].大气科学,1987,11(4):382-389.
- [26] 刘永强,丁一汇. ENSO事件对我国季节降水和温度的影响[J].大气科学,1995,19(2):200-208.
- [27] 郑维忠,倪允琪.热带和中纬太平洋海温异常对东北夏季低温冷害影响的诊断分析研究[J].应用气象学报,1999,10(4):394-401.
- [28] 潘华盛,董淑华.两种类型的厄尔尼诺事件对大气环流及黑龙江省低温洪涝灾害的影响[J].自然灾害学报,1998,7(2):61-66.
- [29] 廉毅,安刚.东亚季风 El Nino 与中国松辽平原夏季低温关系初探[J].气象学报,1998,56(6):724-735.
- [30] 刘实,王宁.前期 ENSO 事件对东北地区夏季气温的影响[J].热带气象学报,2001,17(3):314-319.
- [31] 王绍武,赵宗慈.中国夏季低温冷害[J].资源科学,1985:54-59.
- [32] 王绍武,龚道溢.近百年来 ENSO 事件及其强度[J].气象,1999,25(1):9-13.
- [33] Zhang Y., J. M. Wallace, and D. S. Battisti. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93[J]. Climate, 1997,10:1004-1020.
- [34] Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1997,78,1069-1079.
- [35] 杨修群,朱益民,谢倩等.太平洋年代际振荡的研究进展[J].大气科学,2004,28(6):979-992.
- [36] 朱益民,杨修群.太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系[J].气象学报,2003,61(6):641-654.
- [37] 郭裕福,邢如楠,巢纪平.用滤波模式试做东北夏季温度预报[M].东北夏季低温长期预报文集.气象出版社,1983:245-249.
- [38] 李小泉,薛纪善,马镜娴.一个长期数值预报模式的初步试验报告[M].东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:250-263.
- [39] 杨青,廉毅,何金海.利用奇异值分解方法预测东北地区夏季气温[J].气象,2005,31(3):31-35.
- [40] 汪秀清,马树庆,袭祝香等.东北区夏季低温冷害的长期预报方法研究[J].灾害学,2005,20(1):36-39.