

# 夏季东北冷涡持续性活动及其大气环流异常特征的分析<sup>①</sup>

孙力 安刚 廉毅 沈柏竹 唐晓玲

(吉林省气象科学研究所, 长春, 130062)

## 摘 要

本文首先分析了夏季东北冷涡持续性活动特征及其对东北地区天气气候的影响, 然后利用 NCEP/NCAR 1958~1997 年月平均再分析资料, 探讨了东北冷涡持续性活动与大气环流异常之间的联系。结果表明, 东北冷涡持续性活动是导致东北地区夏季低温的一个十分关键的因子, 同时对降水也有重要影响。冷涡活跃年夏季, 500 hPa 高度场会出现以东北地区为中心的南北向和东西向分布的正—负—正距平波列, 即与东亚阻高势力偏强而西太平洋副高位置偏南等大尺度环流背景相联系。在对流层中上层, 高空西风急流有明显的分支现象, 特别是亚洲中纬西风急流位置偏南。而在对流层中下层, 东北地区和华北大部以及朝鲜半岛和日本北部等地由明显的气旋式距平环流所控制, 并且源自东北及其以西地区的北风距平可一直推进至长江流域并转变为西北风距平, 并与那里的西南风距平汇合而形成有利于该地区梅雨偏多时的环流形势, 与此同时, 长江中下游地区和四川盆地等容易出现垂直速度负距平、涡度正距平和散度负距平分布, 而华北和华南大部上述物理量一般为相反的距平分布, 从而对应少雨形势, 并且中国北方地区(长江以北)对应负温度距平。当夏季东北冷涡活动偏弱时, 一般会出现与上述相反的结果。即东北冷涡持续性活动不但对东北地区, 而且与中国其它某些地区的天气气候可能也存在着一定的对应关系。

关键词: 东北冷涡, 持续性活动, 大气环流异常。

## 1 引 言

东北冷涡是东亚大气环流中的重要组成部分, 也是中国东北地区所特有的重要天气系统, 它一年四季均可出现, 对东北地区的天气气候有着很大影响。东北冷涡的一个主要特征之一是它的出现往往具有持续性, 例如夏季(特别是初夏)该天气系统发生的频率就远远多于其它季节, 有些年份它们可以连续不断地反复出现, 甚至在月平均图上仍可分析出闭合的低涡环流。除此季节变化之外, 其年际变化也是明显的, 即东北冷涡持续性活动在不同的年份可以表现出不同的差异, 这种差异至少会对东北地区的天气气候造成明显不同的影响, 甚至还可能给中国其它某些地区的天气气候带来不同的作用。虽然过去人们曾对东北冷涡的一些气候规律和天气学特征做过一些分析<sup>[1-5]</sup>, 但对东北冷涡的持续性

<sup>①</sup> 初稿时间: 1999 年 6 月 25 日; 修改稿时间: 1999 年 11 月 1 日。  
资助课题: 国家自然科学基金项目(49875022)。

活动是在怎样特定的大尺度环流形势下产生的,以及它与中国其它一些地区的天气气候之间存在着哪些联系还缺乏应有的认识。本文通过分析夏季东北冷涡的持续性活动特征及其与东亚大气环流异常之间的关系对上述问题进行了初步探讨。

## 2 夏季东北冷涡持续性活动特征及其对东北地区天气气候的影响

按照文献[1]对东北冷涡的定义,利用42 a(1956~1997年)的天气图资料,统计分析得出,夏季的6~8月东北冷涡总共出现了1640 d,占该期总天数的42%,因此可以说东北冷涡是夏季影响东北地区的一个十分重要的天气系统。42 a来,夏季平均每月可出现冷涡13.0 d,而春季(4~5月)和秋季(9~10月)平均每月只有10.0 d和8.9 d,6月、7月和8月冷涡活动超过15 d的比例也可以分别达到55.0%、51.8%和40.5%,这说明夏季是东北冷涡活动比较集中的一个季节。图1为历年6~8月东北冷涡出现天数的时间变化,可以看出,该天气系统的发生还具有较大的年际变率,平均来说,每年夏季可出现冷涡39.0 d,其中最多可达68 d(1957年),共计16次冷涡过程,最少只有19 d(1994年),只有4次冷涡过程,最大变差为49 d,总年际变率可达10.1 d。可见夏季东北冷涡的持续性活动及其年际变化是很明显的。此外,冷涡发生的频率还有其年代际变化特征,其中以50年代至60年代(1956~1969年)为最多,1970年代(1970~1979年)为最少,1980年代(1980~1989年)和1990年代(1990~1997年)又稍有上升,每年夏季平均可出现冷涡分别为47.0、31.1、34.4和38.5 d。

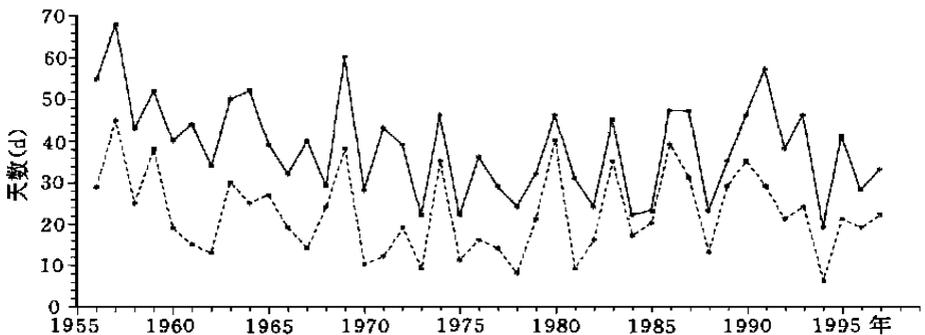


图1 1956~1997年历年夏季(6~8月)东北冷涡出现天数的变化曲线  
(a. 总冷涡出现天数; b. 中涡出现天数)

东北冷涡对东北地区夏季天气气候的影响是非常明显的,图2表示的是夏季东北冷涡活动天数与东北地区69个测站地面气温的相关系数分布,可以看出每年东北冷涡出现的多少与东北地区气温变化有着十分密切的关系,两者均为反相关分布,即冷涡发生频率高时,东北地区低温,反之,气温高。其中约95%的测站能通过0.05的信度检验(相关系数0.31),约70%的测站能通过0.01的信度检验(相关系数0.40),约45%的测站能通过0.001的信度检验(相关系数0.49)。因此可以说东北冷涡是影响东北地区夏季气温变化的一个十分关键的因子。

东北冷涡(尤其是文献[1]中所定义的中涡,即低中心出现在40~50 N之间的冷涡)对夏季东北地区旱涝也有一定影响,特别是春末夏初(5和6月)更是如此(图3),可以看

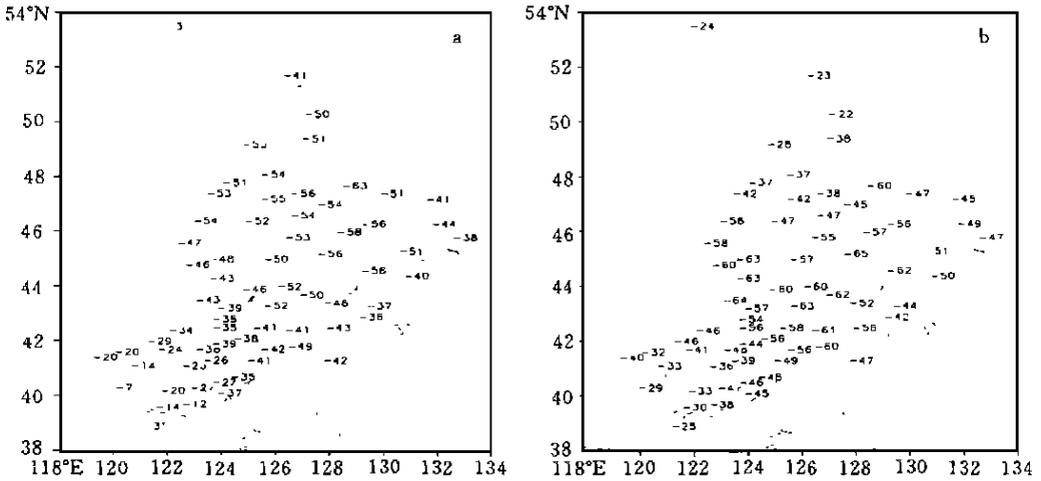


图 2 夏季东北冷涡出现天数与东北地区 69 个测站地面气温的相关系数分布  
(a. 6 月; b. 7 月)

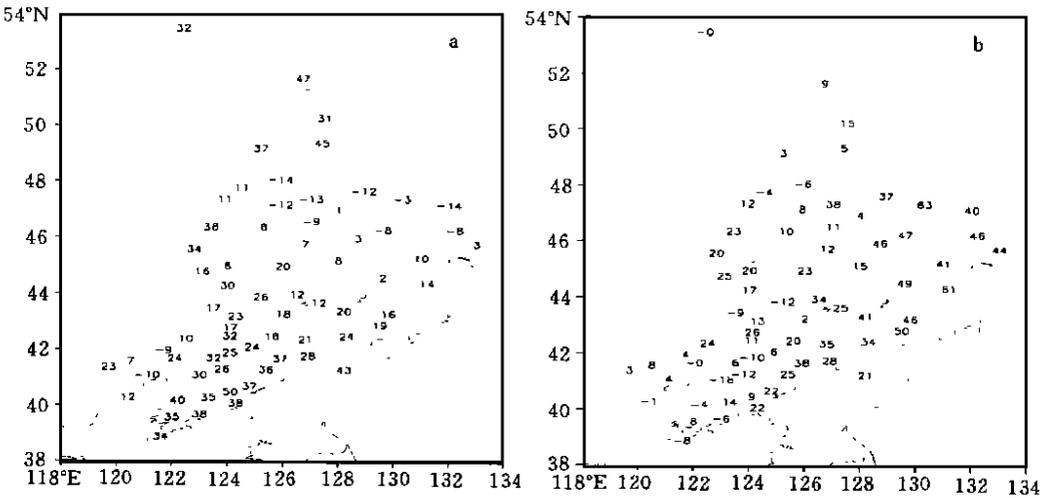


图 3 中涡出现天数与东北地区 69 个测站降水的相关系数分布  
(a. 5 月; b. 6 月)

到大部分地区为正相关分布, 其中 5 月份冷涡活动对东北地区南部和北部, 6 月份对三江平原和东北地区东部的影响最为显著, 这些地区相关系数一般可达 0.31 ~ 0.50, 可以通过 0.05 至 0.001 的信度检验, 即冷涡活动频繁时, 东北地区(特别是上述地区)降水偏多, 反之, 降水偏少。7 月份以后, 由于东北地区降水主要受副热带雨季影响, 冷涡的作用变得并不十分突出(图略), 但即使在盛夏(8 月), 某些地方例如东北地区西部降水与冷涡出现天数的相关系数仍可达到 0.31 ~ 0.47(可通过 0.05 ~ 0.01 的信度检验)。

### 3 夏季东北冷涡持续性活动与大气环流异常之间的联系

东北冷涡在特定的大尺度环流背景下发生发展, 其持续性活动不仅对东北地区, 甚至

可能与中国其它某些地区的天气气候之间也存在着一定的对应关系,陶诗言等<sup>[6]</sup>曾指出,中纬度影响也是东亚夏季风环流中的重要成员,并且这是东亚季风环流与印度季风环流之间的一个主要差异。文献[1]根据冷涡活动密集区的时间变化也曾推测东北冷涡活动与江淮梅雨之间可能存在着某些联系。

根据历年夏季冷涡持续性活动的年际变化(图1)并参考中涡(对东北地区影响最为直接的一类冷涡)的发生频率,本文选取了60年代以来的8个多冷涡年和8个少冷涡年,其中,多冷涡年为:1964,1969,1980,1983,1986,1987,1991和1993年。少冷涡年为:1973,1975,1978,1981,1984,1985,1988和1994年。多冷涡年平均每年夏季可出现冷涡50.0 d(其中中涡32.6 d),少冷涡年只有23.3 d(其中中涡11.4 d),可见两类个例群之间

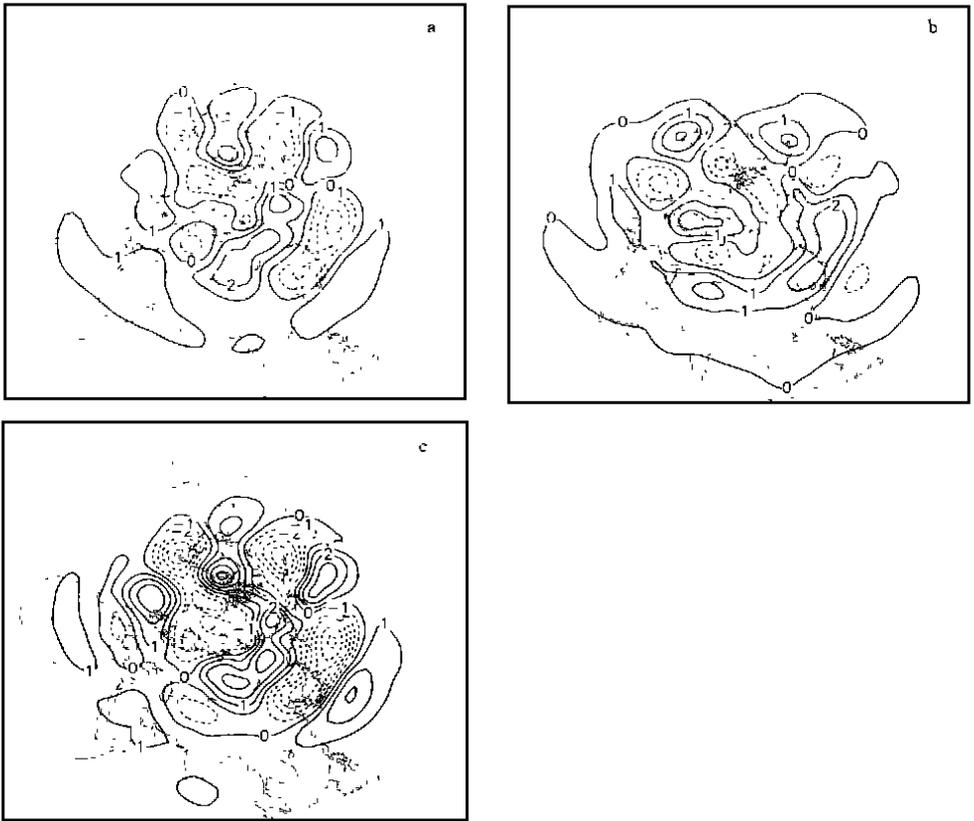


图4 500 hPa 7月份平均高度距平合成图及差值图。

(a: 8个东北冷涡偏多年; b: 8个东北冷涡偏少年; c: 差值图. 单位: gAm)

的差异是十分显著的。

利用NCEP/NCAR 1958~1997年月平均再分析资料(格距为 $2.5 \times 2.5$ 经纬度,垂直方向17层),通过合成对比分析方法,我们探讨了多冷涡年与少冷涡年夏季东亚大气环流异常特征及其差异,特别是这些异常和差异会对中国天气气候可能产生哪些影响。

图4分别给出了8个多冷涡年和8个少冷涡年7月份500 hPa高度距平的合成及其差值分布。可以看出,多冷涡年,北半球500 hPa中高纬度主要距平槽脊为三波型,与中国

天气直接有关的东亚地区环流特征是,在巴尔喀什湖至贝加尔湖地区为较强的正距平区,中国东北地区、朝鲜半岛、日本北部一直到堪察加半岛东南的北太平洋为明显的负距平区,这一纬带以东又是正距平分布,即在亚洲中高纬度形成了东西向(纬向)分布的正—负—正距平波列,同时,在东亚沿海地区也存在一个十分明显的南北向(经向)分布的正—负—正距平波列,雅库茨克及其以东地区为明显的正距平分布,在西太平洋,30°N以南,115°~150°E范围也是正距平区。这种距平场的配置表明,在冷涡活动盛行年,以雅库茨克到鄂霍茨克海一带为中心的东亚阻高势力强劲,西太平洋副热带高压位置偏南,强度偏弱,中高纬西亚槽位置偏西,东亚槽位置偏东,强度均偏强,巴尔喀什湖至贝加尔湖之间高压盛行。少冷涡年夏季(图4b)500 hPa距平分布与多冷涡年夏季恰恰相反,即以中国东北地区为中心的高度距平在东西向和南北向的分布为负—正—负距平波列,多冷涡年与少冷涡年的差别在图4c中看得更为清楚。图5为以中国东北地区(45°N, 125°E)为基准点时,500 hPa高度7月份北半球的相关图(资料年代为1958~1997年共40a),可以发现,与图4a、b相类似,当东北地区为负(正)中心时,其南北方向也将产生正—负—正(或负—正—负)的相关波列,东西方向亦是如此,这说明夏季东北冷涡的持续性活动及其变化与东亚大气环流异常之间确实存在着密切的联系。

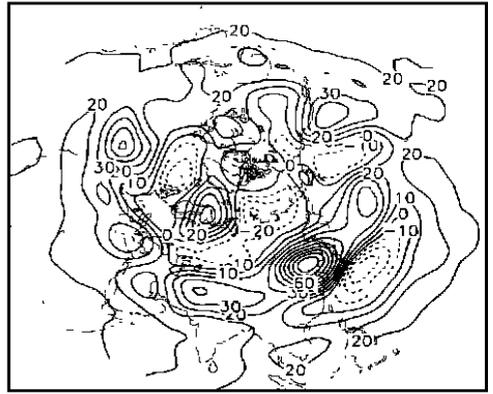


图5 北半球相关形势图

(以45°N, 125°E为基准点)

多冷涡年与少冷涡年夏季高空(300 hPa)纬向风距平特征及其差异由图6给出,最明显的特点是,当夏季东北冷涡盛行时,东亚地区高空纬向风距平主要呈东西向的条状分布,在东经100°~150°E范围内,由北向南形成了正—负—正—负的距平分布。特别是在40°~55°N的纬度带为负距平,中心位于中亚地区、中国东北地区和堪察加半岛东南的北太平洋。而在25°~40°N的纬度带上为明显的正距平分布,中心位于朝鲜半岛南端和日本以东的洋面上。

上述纬向风距平场的分布表明,在多冷涡年,东亚西风急流有明显的分支现象,其中原来位于中纬的西风急流位置偏南(大约在30°~35°N),而北支急流位置偏北,亚洲中纬西风急流明显偏弱。在少冷涡年,纬向风距平分布与多冷涡年正好相反,即高空西风急流位置偏北,它们的差异在图6c中表现得更为清楚。东亚高空西风急流是影响中国天气气候变化的重要系统,其位置的南北移动及其强度变化与东亚大气环流的季节性转换和中国大部分地区雨季的开始和结束都有着十分密切的联系,陶诗言等<sup>[7]</sup>曾指出夏季亚洲高空西风急流的位置变化对长江梅雨的开始和结束有重要意义。董敏等<sup>[8]</sup>的研究结果也表明,夏季西风急流位置偏南时,江淮地区梅雨偏多,反之偏少。由此看来,夏季东北冷涡持续性活动不仅对东北地区天气气候有重要影响,甚至与中国东部地区(特别是江淮地区)的降水也可能有着一定的对应关系。

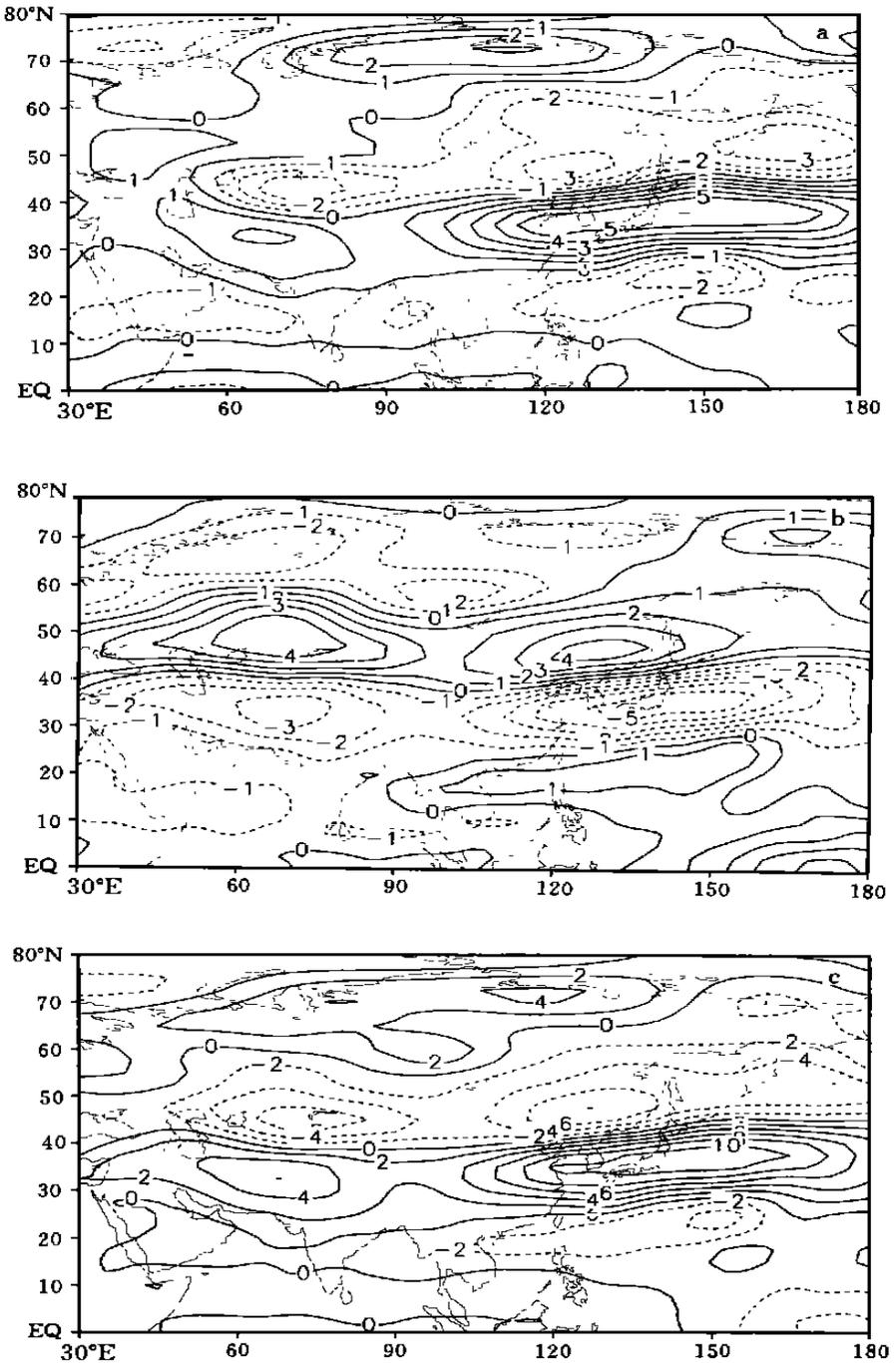


图6 300 hPa 夏季(7月)平均纬向风距平合成图及差值图。

(a. 8个东北冷涡偏多年; b. 8个东北冷涡偏少年; c. 差值图。单位: m/s)

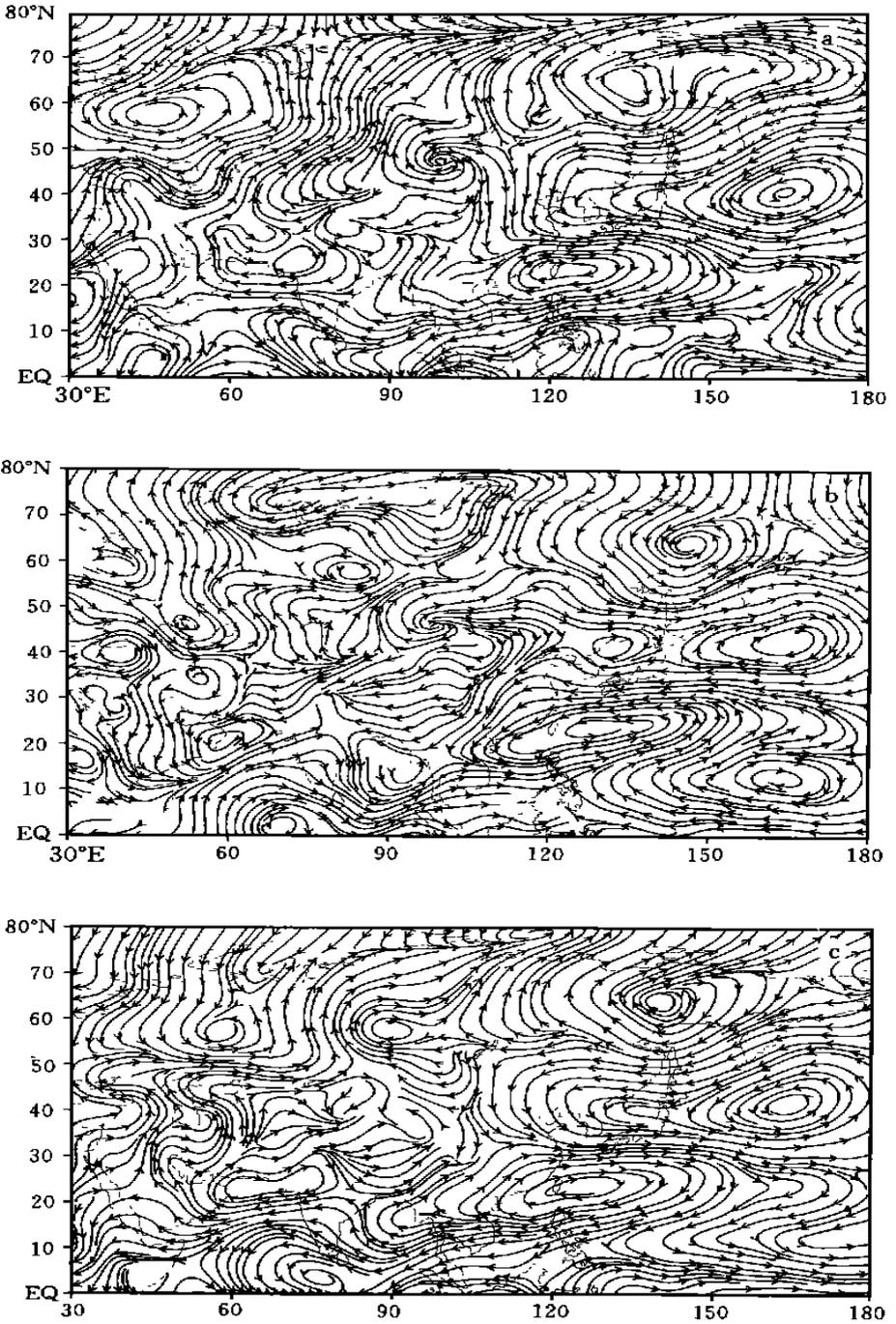


图7 850 hPa 夏季(6~8月)平均流场距平合成及差值图

(a. 8个东北冷涡偏多年; b. 8个东北冷涡偏少年; c. 差值图)

多冷涡年与少冷涡年夏季对流层中下层风场距平及其差值分布(图 7, 其中 500 hPa 风场距平图略)的最主要特点是, 当夏季冷涡活动频繁时, 雅库茨克到鄂霍茨克海一带以及贝加尔湖西南侧为反气旋式距平环流, 东北地区和华北大部以及朝鲜半岛和日本北部则是明显的气旋式距平环流, 中国东北地区及华北大部主要受北风或东北风距平影响, 在西太平洋, 30°N 以南, 115°~150°E 范围内则是由气旋式距平环流所控制。在少冷涡年, 上述特征完全相反。另外, 我们还可以看到, 当东北冷涡活跃时, 源自东北及其以西地区较强的北风距平向南可一直推进到长江流域并转变为西北风距平, 与此同时, 在长江以南地区源自孟加拉湾的西南风距平向北也可伸展至长江流域, 再加上副热带高压后部东南季风转向北上所形成的西南风距平, 三种不同性质的气流汇聚在长江流域, 特别是在长江中下游地区形成强烈辐合, 这正是典型的长江流域梅雨偏多时的环流形势, 东北冷涡的作用可能在于因为它的存在使得东北及其以西地区的冷空气能够持续不断地输送至长江流域, 并使副热带高压不易快速北上而维持在较为偏南的位置。另外, 四川盆地也存在有由北风距平和西南风距平导致的辐合。当东北冷涡活动偏少时, 其风场特征恰好相反, 长江流域及其以南地区以东北风距平为主。事实上, 本文所列举的 8 个典型冷涡活跃年中有不少同时也是江淮梅雨偏多年, 在文献[9]中所确定的 1960 年代以来长江中下游地区夏季降水超过  $1.0\sigma$  (标准差) 的年份中, 本文发现平均每年夏季冷涡活动可达 52 d, 而降水小于  $1.0\sigma$  的年份中, 平均冷涡活动只有 29.8 d, 可见两者之间的差别是十分显著的。这就是说, 当夏季东北冷涡活动频繁时, 有可能与上述地区出现多雨形势相对应。

还应该指出的是, 东北冷涡活动与东亚夏季风之间也有着一定的联系, 少冷涡年夏季, 偏南季风可以较早地推进到中国北方地区, 反之, 夏季风可长时间地维持在 40°N 以南(图略)。东亚夏季风指数(取自文献[10])与夏季东北冷涡出现天数之间的相关系数可达 0.316(41 个样本), 与中涡活动天数的相关系数可达 0.334, 均可达到 0.05 的信度标准, 即东亚季风偏弱时, 东北冷涡持续性活动明显, 反之, 冷涡活动偏弱。

多冷涡年和少冷涡年夏季对流层中下层涡度、散度和垂直速度等物理量距平分布及其差异也是很明显的(为节省篇幅, 文中只给出了多冷涡年和少冷涡年距平的差值图, 图 8), 例如东亚地区 500 hPa 垂直速度无论是正负距平区, 均呈纬向带状分布, 并且在多冷涡年, 除了东北地区为负距平外, 显著的负距平区还包括有江淮地区、四川盆地、朝鲜半岛南部和日本等, 即上述地区对维持多雨有利, 而华北大部以及江南地区则是明显的正距平分布, 即容易导致少雨。850 hPa 涡度距平的分布特点是, 在夏季冷涡活跃时, 东北地区、江淮地区和西南地区等为明显的正距平分布, 华北北部及华南沿海为负距平区。850 hPa 散度距平也是以四川盆地和江淮地区的负距平最为明显。上述结果再次说明, 夏季东北冷涡持续性活动与江淮流域和四川等地多雨以及华北大部和华南大部少雨之间可能存在着一定的联系。当东北冷涡活动较弱时, 上述地区物理量距平一般会出现与多冷涡年相反的分佈。

东北冷涡持续性活动同东亚地区对流层中下层(以 850 hPa 为例)温度场距平之间也存在着一定联系(图 9), 多冷涡年中国北方地区, 包括东北、华北和西北地区大部以及朝鲜半岛、日本大部、蒙古和俄罗斯远东地区为明显的负温度距平区, 这一东西向带状分佈的负距平区的南缘可一直伸展至长江流域。而在东北冷涡活动偏弱年, 温度距平与上述

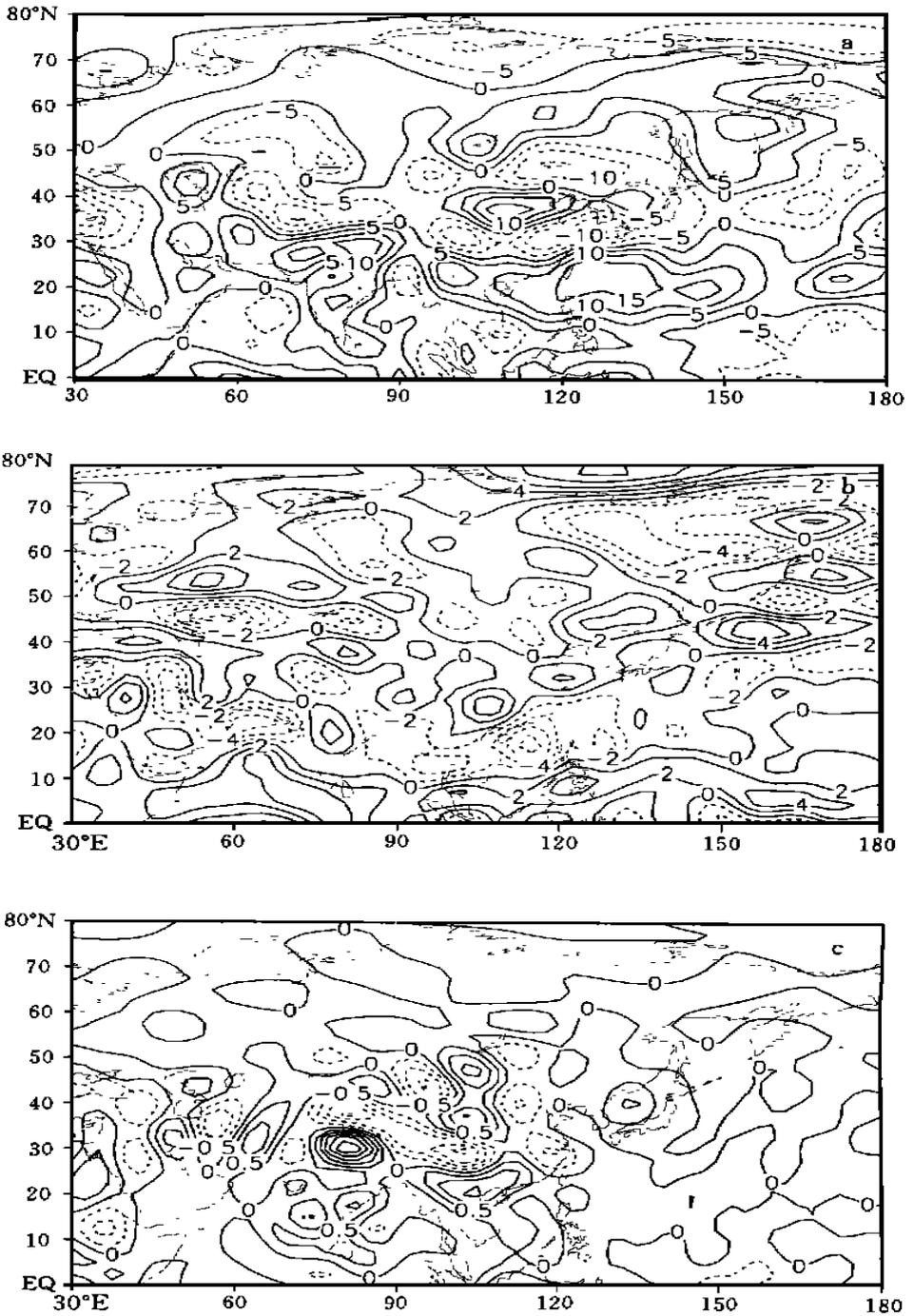


图8 多冷涡年与少冷涡年夏季(6~8月)平均垂直速度、涡度和散度场距平差值分布  
(a. 500 hPa垂直速度; b. 850 hPa 涡度; c. 850 hPa 散度)

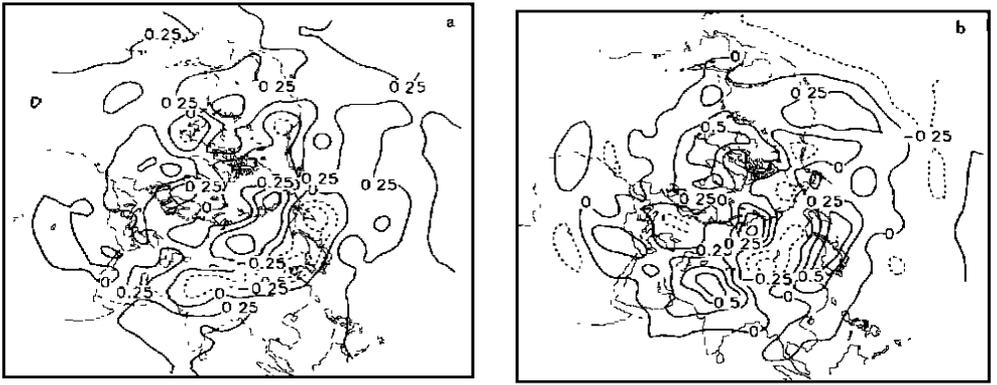


图9 850 hPa 夏季(6~8月)平均温度场距平合成图

(a. 8个东北冷涡偏多年; b. 8个东北冷涡偏少年)

刚好相反,除东北地区为明显的正距平外,中国大部分地区,特别是东部地区均为正距平分布,正距平区甚至包括整个东亚。这说明东北冷涡持续性活动不仅对东北地区,也可能与中国其它地区的温度变化有一定的对应关系。

#### 4 结论与讨论

本文重点讨论了东北冷涡夏季持续性活动及其大气环流异常特征,从中可以得到以下一些结论:

(1) 东北冷涡虽然从空间尺度上来说一般属于天气尺度系统,但从时间分布上看,特别在夏季却具有较明显的持续性活动特征,当然这种持续性活动也存在着较大的年际和年代际变化。

(2) 东北冷涡对东北地区夏季天气气候的影响是显著的,其持续性活动是导致东北地区夏季低温的一个十分关键的因子,同时对降水也有重要作用,特别在春末夏初更是如此,即使在盛夏东北地区西部旱涝与其持续性活动也有较明显的相关。

(3) 夏季东北冷涡持续性活动与大气环流异常之间密切相联,冷涡活跃年夏季,500 hPa 高度场会形成以东北地区为中心的南北向和东西向分布的正—负—正距平波列,而在少冷涡年会出现相反的距平波列,即东亚阻高、西太平洋副热带高压、极涡和东亚大槽等大型环流系统异常对东北冷涡的持续性活动均有至关重要的影响。

(4) 冷涡活跃年夏季,高空西风急流有明显的分支现象,特别是亚洲中纬西风急流位置偏南,这会影响到东亚大气环流的季节性转换和中国一些地区雨季的开始和结束。并且多冷涡年在对流层中下层,东北地区和华北大部以及朝鲜半岛和日本北部由明显的气旋式距平环流所控制,上述地区主要受源自白令海和鄂霍茨克海以及贝加尔湖西南侧的东北风和西北风距平的影响。另外,东北及其以西地区的北风距平向南可一直推进到长江流域并转变为西北风距平,并与长江流域以南源自孟加拉湾和副高后部的西南风距平在长江中下游地区辐合,从而形成有利于梅雨偏多时的环流形势,东北冷涡的作用可能在于它

的存在导致了中纬冷空气能够持续不断地输送至长江流域,并使西太平洋副高不易快速北上而维持在较为偏南的位置。

(5) 多冷涡年夏季的对流层中下层,长江中下游地区、四川盆地等容易出现垂直运动负距平、涡度正距平和散度负距平,从而对多雨有利,华北大部和华南大部一般为垂直速度正距平、涡度负距平和散度正距平,从而容易出现少雨。

(6) 夏季东北冷涡活动偏多时,对流层中下层中国北方地区一般为负温度距平,而冷涡活动偏弱时,中国大部分地区,特别是东部地区会出现明显的正温度距平,即夏季东北冷涡持续性活动与中国部分地区的气温变化也可能有一定联系。

## 参考文献

- 1 孙力等. 东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流系统之间的关系. 应用气象学报, 1994, 5(3): 297 ~ 303
- 2 孙力等. 暴雨类冷涡与非暴雨类冷涡的合成对比分析. 气象, 1995, 21(3): 7 ~ 20
- 3 郑秀雅等. 东北暴雨. 北京: 气象出版社, 1992, 129 ~ 151
- 4 孙力. 东北冷涡持续性活动的分析研究. 大气科学, 1997, 21(3): 297 ~ 307
- 5 孙力. 一次东北冷涡发展过程中的能量学研究. 气象学报, 1998, 56(3): 349 ~ 361
- 6 Tao Shiyun, et al. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, Review of Monsoon Meteorology. UK: Oxford University Press, 1987. 353PP
- 7 陶诗言等. 东亚的梅雨与亚洲上空大气环流季节变化的关系. 气象学报, 1958, 29(2): 119 ~ 134
- 8 董敏等. 东亚西风急流变化与热带对流加热关系的研究. 大气科学, 1999, 23(1): 62 ~ 70
- 9 张庆云等. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. 气象学报, 1998, 56(2): 199 ~ 211
- 10 施能等. 近 40 年东亚夏季风及中国夏季大尺度天气气候异常. 大气科学, 1996, 20(5): 575 ~ 583

# A STUDY OF THE PERSISTENT ACTIVITY OF NORTHEAST COLD VORTEX IN SUMMER AND ITS GENERAL CIRCULATION ANOMALY CHARACTERISTICS

Sun Li An Gang Lian Yi Sheng Baizhu Tang Xiaoling

(Institute of Meteorological Science of Jilin Province, Changchun, 130062)

## Abstract

In this paper, by using the NCEP/NCAR reanalysis monthly mean data from 1958 to 1997 and summer precipitation and temperature from 69 observation stations of northeast area in China, the persistent activity of northeast cold vortex and its general circulation anomaly characteristics have been studied. The results show that the persistent activity of northeast cold vortex is not only a very important factor to the summer temperature and rainfall of northeast area in China, but also have impact to the precipitation in some other areas in China, especially in middle and lower reaches of Yangze River.

**Key words:** Northeast cold vortex, Persistent activity, General circulation anomaly.