

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*

郑维忠

倪允琪

(南京大学大气科学系, 南京 210093)(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

利用1995~1997年东北地区23个测站的地面气温资料、1950~1996年太平洋地区月平均海温资料以及1980~1994年全球月平均风场资料,分析了东北夏季低温冷害的时空特征和变化规律,探讨了太平洋各区域的海温异常与低温冷害之间的可能联系及其影响机理。

结果表明,用EOF分解得到的前三个特征向量(占总方差的84.28%)基本表示了东北夏季气温的变化,用这三个特征向量重建的气温距平场,存在着3~4年、6~8年和准16年的主周期,其中6~8年的主分量信号最强。在年代际尺度上,在1979年前后发生了由气温偏冷向偏暖的突变。热带西太平洋暖池(140°E~180°,10°S~10°N)是影响东北夏季气温的关键海域,那里前期冬季海表温度变化是预测东北夏季低温冷害的强信号。另一个关键海域是中纬西太平洋(130°E~180°,10°~30°N),前期春季的海温变化也与东北夏季低温有较密切的联系。

关键词: 海温异常 东北夏季低温 诊断分析 影响机理

引 言

夏季低温是对我国农业生产有重要影响的气候灾害,尤其是东北地区影响最为显著,严重低温冷害会对东北地区粮食产量造成大幅度减产。近二十年来,对东北夏季低温冷害的发生规律、特征及其长期预报等进行了广泛深入的研究^[1-4],指出了东北夏季低温具有群发性和周期性,往往出现在全球气温偏低的年份。并且人们已经注意到,东北夏季低温还与El Niño现象之间有一定的联系。廉毅和安刚^[5]通过分析东亚夏季风指数,El Niño年和中国东北区松辽平原的气候典型代表站长春5~9月平均气温的相关性,揭示了一些新的相关事实。本文利用1951~1997年东北地区夏季23个测站的地面气温资料、1950~1996年太平洋地区月平均海温格点资料以及1980~1994年全球月平均风场资料(850 hPa和300 hPa)进行诊断分析,试图进一步弄清东北地区夏季低温的时空特征和变化规律,探讨太平洋各区域海温变化与低温冷害之间的可能联系,揭示亚洲季风影响东北气温变化的机制,从而为预测东北夏季低温冷害提取某些信号。

* 本文由“九五”攻关项目“农业气象灾害防御技术研究”资助。
1998-07-07 收到,1998-11-12 收到修改稿。

1 东北夏季气温变化的空间分布和时间变化特征

从全国 160 个测站中挑选出 23 个站(119°E 以东, 38°N 以北)代表东北地区, 用 6~ 8 月的气温作平均代表夏季气温. 由于气温变化局地性小, 因此这些站对东北地区气温变化有较好的代表性. 就整个东北地区区域平均气温振荡变化趋势(图略)来说, 其年际变化还是比较显著, 严重低温冷害出现在 1957, 1969, 1972, 1976, 1983, 1992 年和 1993 年. 对 23 个站 47 年夏季气温进行 EOF 分解, 前三个特征向量的累积方差贡献达 84. 28%, 它们基本上能反映东北地区夏季最常见的气温异常分布特征. 把气温距平场 EOF 分解的前三个特征向量进行重建, 得到重建后的气温距平场. 以下的分析, 将都用该重建场进行分析.

用重建的气温距平场进行区域平均, 用区域平均值定义代表东北地区气温指数, 对该指数可进行功率谱分析(图略). 由于功率谱分析给出的周期是指全域(1951~ 1997 年)上的平均周期, 得出的周期都比较弱, 尽管存在 3~ 4 年、6~ 8 年和准 16 年的主周期, 但只有 6~ 8 年的周期超过了 95% 信度水平检验, 因此, 采用墨西哥帽子波来分析东北气温对时间尺度的依赖性. 考虑到资料时间长度较短以及子波分析边界的干扰作用, 我们将资料向两端进行延拓. 由图 1 可以看到, 3~ 4 年和 6~ 8 年尺度变化在大部分年代都很明显, 而年代际尺度变化在 50 年代以及 70 年代末至 90 年代期间比较明显. 特别是, 对气温距平再用四极滤波器^[6], 将 5 年以下的短波滤掉, 这样保留了较低频率的振荡. 从时间序列(图略)可看出, 在 1979 年前后发生了气温由偏冷向偏暖的突变, 这种年代际尺度的突变说明了低温灾害在 50 年代到 70 年代较频繁出现, 而在 80 年代和 90 年代出现的较少. 并且也说明了东北地区气温的突变与全球增温突变^[7-8]是有密切联系的.

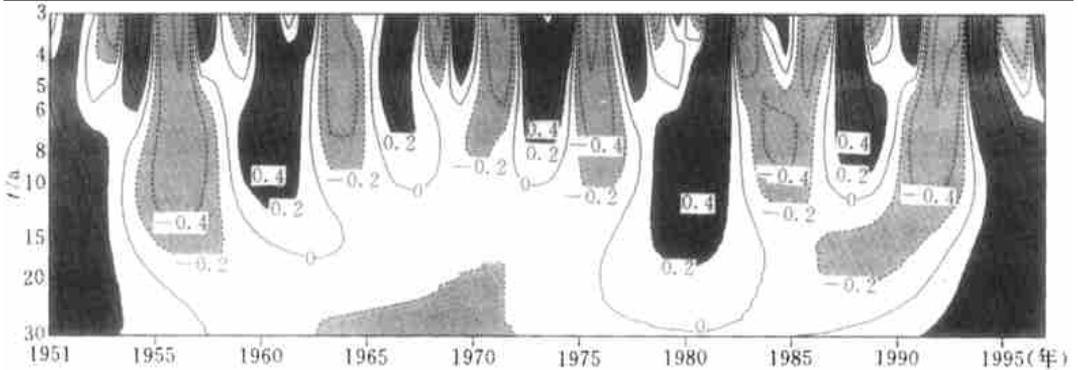


图 1 气温子波分析结果(阴影区为小于 -0.2 或大于 0.2 的区域)

2 太平洋海温异常对东北低温的影响

为了研究太平洋海温异常与东北夏季低温之间的联系, 在热带太平洋地区选取三个区域, 分别以矩形域内 SSTA 的平均值作为该区域的海温指数. 它们分别是 Niño3 指数

($150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$), 西太平洋暖池($140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 指数(w_{pi}) 以及暖池西部($140^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$) 指数(w_{wp}). 对这三个指数, 分别选取上一年的秋季(9~11月), 冬季(12月至翌年2月), 当年春季(3~5月)和夏季(6~8月), 同东北地区当年夏季气温指数求相关系数. 对于95%的置信度, $ni\tilde{no}3$ 指数与东北气温指数的关系并不密切, 只有在同期(夏季)两者的相关系数达到-0.291, 超过了信度检验. 它们的反相关表明了东北夏季低温冷害与同期 $ni\tilde{no}3$ 区的异常增温是有关的.

而对于西太平洋暖池指数 w_{pi} , 东北夏季气温指数与同期的或前期各个季 w_{pi} 指数的关系都是呈正相关. 除了同期相关没有达到信度外, 与前期各季的相关都是显著的, 尤其是与前期冬季的 w_{pi} 指数关系最强, 达0.418. 分析与暖池西部 w_{wp} 指数的相关性, 结果表明, 与前期春季或冬季密切, 超过了信度检验, 但其相关程度没有 w_{pi} 指数高.

同样, 对东北气温指数的各个主分量与3个海温指数分别求相关, 发现低频部分与 w_{pi} 指数关系相当密切(见表1). 因此, 对于热带太平洋地区, 西太平洋暖池是影响东北夏季低温冷害的关键海域, 尤其是前期冬季的海温异常是预测它的一个强信号.

表1 东北气温指数与 $ni\tilde{no}3$ 、 w_{pi} 、 w_{wp} 3个海温指数之间的相关系数

		夏季	前期春季	前期冬季	前期秋季
气温指数	$ni\tilde{no}3$	-0.291*	-0.144	0.101	0.190
	w_{pi}	0.245	0.338*	0.418*	0.305*
	w_{wp}	0.276	0.320*	0.305	0.173
气温指数的 低频分量	w_{pi}	0.482*	0.509*	0.529*	0.351*
	w_{wp}	0.540*	0.393*	0.465*	0.271

* 通过95%置信度的显著性检验

为了进一步分析太平洋海温异常对东北夏季气温影响的区域特征, 分别计算了东北各站气温距平与 $ni\tilde{no}3$ 指数, w_{pi} 指数和 w_{wp} 指数的单点相关图, 其结果与用东北气温指数求得的相关一致, 前期冬季 w_{pi} 指数与气温距平的相关最强, 如图2所示. 几乎整个东北地区都通过显著性检验的相关区, 其相关系数最大值出现在东北地区的中部到西北部一带, 而与 $ni\tilde{no}3$ 指数的单点相关仅在同期的北部地区有显著相关.

为了解中纬太平洋地区对东北夏季气温影响的特征, 对北太平洋地区($120^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $0^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$) 的 SSTA(1950年1月~1996年12月)作 REOF 分解, 除了方差贡献最大的第一特征向量是热带太平洋地区外, 其它第二、第三和第四特征向量分别在中纬太平洋东部, 北太平洋和中纬太平洋西部. 同样可以分别定义这三个地区矩形区域内海温距平作为各区域的海温指数, 它们为中纬太平洋东部指数 em_{p} ($180^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{W}$, $10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$), 北太平洋指数 np_{i} ($160^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$, $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$) 和中纬太平洋西部指数 $w_{m_{p}}$ ($130^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}$, $10^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$), 分别计算东北气温指数与这3个海温指数的相关, 对于置信度95%的检验, 其结果表明与同期或前期各季的 em_{p} 指数或 np_{i} 指数相关不显著, 只有与前期春季 $w_{m_{p}}$ 指数的相关系数达0.348, 超过了信度检验. 同样, 东北各站气温距平与前期春季 $w_{m_{p}}$ 指数的单点相关图(图3)显示了东北大部分地区通过了显著性检验的相关区, 相关最强的出现在中部地区, 其相关系数超过了0.32.

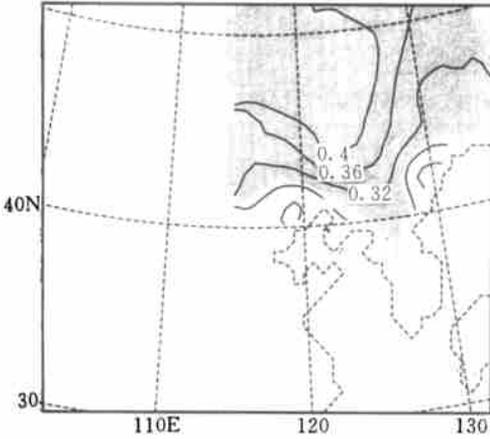


图2 东北各站气温距平与前期冬季 wpi 指数的单点相关

(阴影区是通过 95% 置信度的显著性检验相关区)

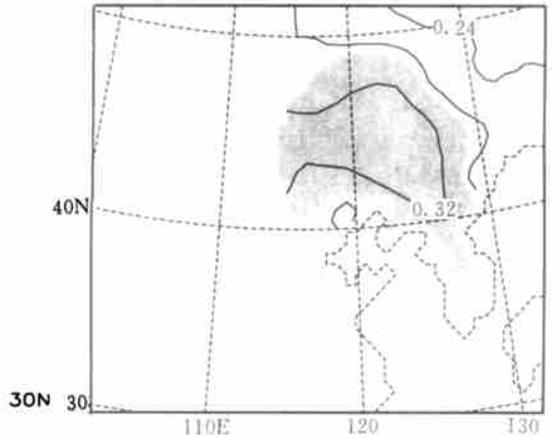


图3 东北各站气温距平与前期春季 wmp 指数的单点相关

(说明同图2)

同时,正如文献[9]中指出的,这些地区的海表温度变化并不是孤立的,西太平洋暖池海表温度的变化和 中东太平洋 SSTA 是 ENSO 时间出现在热带太平洋上的一对孪生现象,尤其是暖池西部指数 wwp 与 nino3 指数的反相关十分明显.但是,东北气温变化与热带中东太平洋 SSTA 的直接联系不十分明显,而西太平洋暖池 SSTA 的变化,尽管其振幅没有中东太平洋的 SSTA 大,但它与东北气温变化之间有很强的正相关.同样,中纬太平洋西部地区 SSTA 的影响也不能低估.

3 东北夏季低温与亚洲季风环流的联系

3.1 亚洲夏季风对东北夏季气温的影响

东北气温指数与风场 \vec{V} 的相关矢量为 \vec{Y} , 相关矢量的模 $Y = (Y_u^2 + Y_v^2)^{1/2}$, 对于样本数 n (自由度为 $n-2$) 和信度 $\alpha = 0.05$, 当 $Y > Y_{0.05}$ 时, 可以认为该相关矢量达到 95% 的置信度.

首先将 1980 年到 1994 年期间东北夏季冷年、暖年的夏季 300 hPa 和 850 hPa 距平流场进行合成. 图 4 是 300 hPa 距平流场的合成. 由图可见冷、暖年距平流场特征基本上相反, 东北地区上空在暖年为一反气旋性距平环流, 在冷年为一气旋性距平环流. 正如以前的研究结果^[10]指出的, 直接造成东北低温的天气系统是在东北地区停留 2~3 天以上的对流层中层冷性低压涡旋, 在低温年, 这种冷涡天气过程频繁出现多次. 从而在季平均的距平环流上, 呈现出气旋性距平. 图 5 是东北夏季气温指数和夏季距平流场 (u 和 v) 的相关矢量图. 可以发现无论在高层还是在低层, 图 5 与暖年的距平流场合成图十分相似并且基本上——对应. 从图 5 中可以看到, 在东北地区为一显著区, 高层 300 hPa 或低层 850 hPa 都为一个反气旋性距平环流所控制, 在它的西部或西北部有气旋性距平环流, 这在高层尤为明显. 在亚洲大陆腹地, 低层有一辐合区, 高层对应着一反气旋性环流. 我国东南部沿海地区和西太平洋地区, 基本上为气旋性距平环流. 此外, 在热带地区的低层为西风距

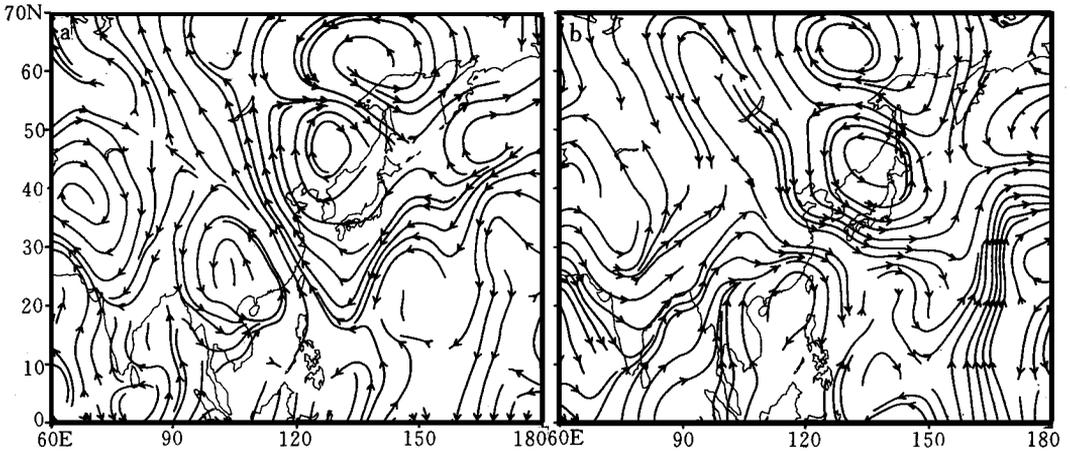


图4 冷、暖年夏季 300 hPa 距平流场的合成图 (a)暖年 (b)冷年

平, 高层为东风距平. 正气温距平对应于上述这样的环流特征, 那么负气温距平(低温)则相反, 即东北夏季低温冷害与该地区上空的气旋性距平环流相对应. 同时, 在它西部或西北部的反气旋性距平加强了高压脊东部冷空气的向南入侵. 大陆上的低层辐散气流减弱了夏季大陆低压, 印度季风较弱. 西太平洋副高增强, 反映了东亚夏季风较强的特征.

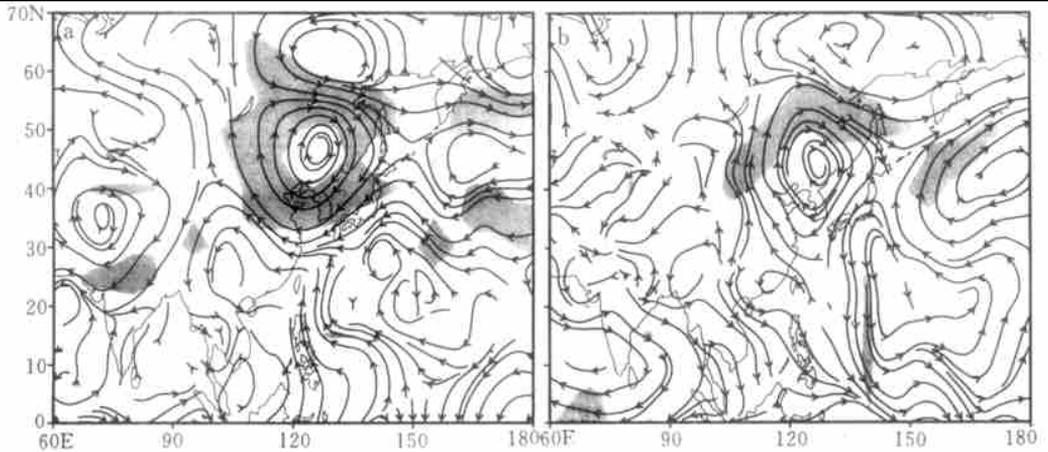


图5 东北夏季气温指数和夏季距平流场的相关矢量图

(a) 300 hPa (b) 850 hPa(说明同图2)

3.2 热带和中纬太平洋 SSTA 与亚洲夏季风的关系

为了要寻找与东北夏季低温冷害对应的亚洲夏季风特征形成的原因, 我们考虑热带和中纬太平洋 SSTA 对亚洲夏季风的影响. 因此, 将本文讨论的太平洋各区域的前期春季或前期冬季海温指数和夏季距平流场进行相关矢量图分析. 其结果表明, 前期冬季西太平洋暖池指数 w_{pi} (图6) 或前期春季中纬太平洋西部指数 w_{mp} 所得的相关矢量图(图略)与图5十分相似, 这些结果不仅进一步证明了东北气温变化与前期冬季 w_{pi} 指数或前期春季 w_{mp} 指数最密切的结论, 而且还揭示了太平洋 SSTA 影响这种低温冷害的机理.

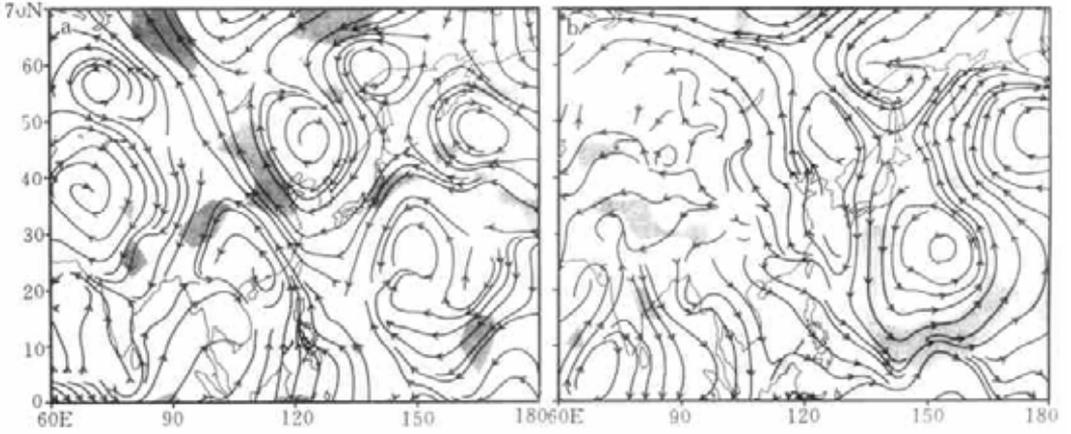


图6 前期冬季 w_{pi} 指数和夏季距平流场的相关矢量图

(a) 300 hPa (b) 850 hPa(说明同图2)

因此, 太平洋海温异常影响亚洲夏季风的变化, 从而造成东北气温的变化. 那么太平洋 SSTA 如何影响季风环流的呢? 为此, 利用 SVD 技术来分析冬季西太平洋暖池 SSTA 和(30°E~90°W, 30°S~70°N) 区域夏季距平流场的关系. 比较第一模态的左奇异相关图

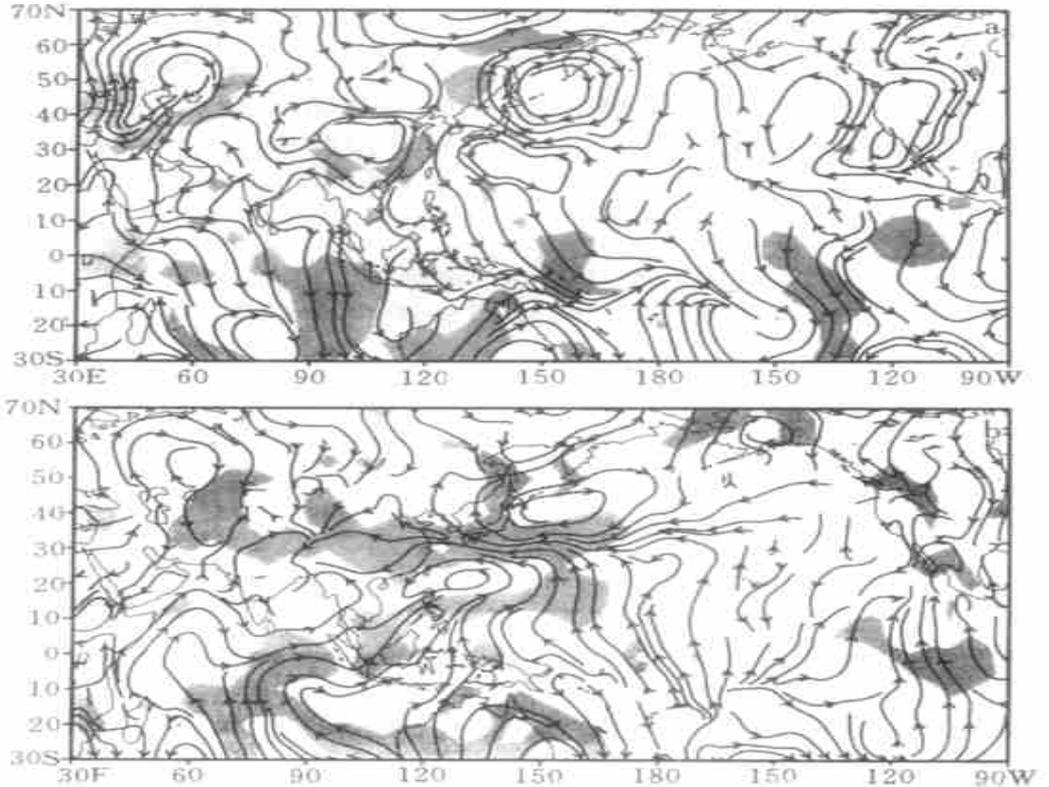


图7 前期冬季西太平洋暖池 SSTA 和夏季距平流场第一模态左奇异相关图

(a) 300 hPa (b) 850 hPa(说明同图2)

(图7)与用海温指数作出的相关矢量图(图6),可以看到两者的环流特征基本相似,但图6中东北地区及其以东洋面上的两个反气旋距平环流在图7中合并为一个:在高层(300 hPa)上,亚洲大陆腹地的反气旋距平环流扩展到我国东部地区,西太平洋上的气旋性距平环流范围也扩大到较低的纬度.图7表明了西太平洋暖池暖异常(即为海温正距平,负距平时相反)时,暖池上空低层(850 hPa)有一明显的鞍形场环流,其北侧为偏南气流,高层(300 hPa)为偏北气流,这种流场特征反映了Hadley环流减弱.低层西太平洋的气旋性距平环流减弱了副热带高压,而亚洲大陆腹地上为一辐合区,在高层有一反气旋性环流与此对应.无论在低层或高层,东北地区以东洋面上有一反气旋性环流,加强了东北地区的偏暖气流.同时,可以发现在300 hPa左奇异相关图上,存在着—源于西太平洋暖池向东北方向,在北太平洋又折向东南的一支波列,这就是所谓的Nitta波列或JP型遥相关型,其4个环流中心分别位于日本以东,北太平洋,北美北部外海域和北美南部地区.在低层,前两个中心也很清楚有对应的环流系统,并且都通过了95%信度的检验.同样,春季中纬太平洋西部SSTA和夏季距平流场的左奇异相关图上(第一模态),这种Nitta波列也十分清楚(图略).

4 结论与讨论

(1)用EOF分解得到的前三个特征向量重建的东北气温距平场,有3~4年、6~8年和准16年的主周期,其中6~8年主分量的信号最强.在年代际尺度上,在1979年前后发生了气温由偏冷向偏暖的突变,这与全球增温突变有密切联系.

(2)影响东北夏季气温的关键海域是热带西太平洋暖池和中纬西太平洋,前期冬季热带西太平洋暖池SSTA和前期春季中纬西太平洋SSTA是预测东北夏季低温冷害的强信号.

(3)尽管热带中东太平洋(30°N~30°S区)SSTA振幅最强,是太平洋海温变化最显著的地区,但东北夏季低温与它前期的变化没有十分明显的直接联系,哪怕是同期的相关也不很强.

(4)与东北夏季低温相对应的亚洲夏季风特征,同前期冬季西太平洋暖池或前期春季中纬西太平洋的SSTA对亚洲夏季风影响特征十分相似,这两个地区分别可以激发出Nitta波列,而且符号相同.

参 考 文 献

- 1 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. 气象学报, 1980, 38(3): 234~241.
- 2 姚佩珍. 近40年东北夏季低温冷害的气候特征. 见: 黄荣辉主编. 中国气候灾害的分布的变化. 北京: 气象出版社, 1996. 156~162.
- 3 章少卿. 我国东北低温与厄尔尼诺的关系. 中国科学技术蓝皮书, 第5号, 气候. 国家科学技术委员会, 北京: 科学技术文献出版社, 1990. 311~316.
- 4 王敬方, 吴国雄. 持续性东北冷害的变化规律及相关特征. 大气科学, 1997, 21(5): 523~532.
- 5 廉毅, 安刚. 东亚季风、ENSO与中国东北区松辽平原夏季低温关系初探. 科研报告, 1997, 24(1): 1~11.
- 6 Kaylor R E. Filtering and decimation of digital time series. Tech. Note BN850, Institute for physical science and

technology, University of Maryland.

- 7 衣育红, 王绍武. 80 年代全球增温突变. 科学通报, 1992, 37(6): 528~ 531.
- 8 严中伟, 曾昭美. 本世纪两次全球增温跃变的比较分析. 见: 黄荣辉主编. 中国气候灾害的分布的变化. 北京: 气象出版社, 1996. 253~ 277
- 9 倪允琪, 邹力, 刘颖. ENSO 和西太平洋暖池对我国气候影响的诊断分析研究. 气象科学, 1995, 15(4): 118~ 133.
- 10 中国科学技术蓝皮书. 第五号: 气候. 北京: 科学技术文献出版社, 1990. 98~ 104.

DIAGNOSTIC STUDY ON IMPACT OF SEA SURFACE TEMPERATURE ANOMALIES OVER TROPICAL AND MID- LATITUDE PACIFIC ON SUMMER LOW TEMPERATURE COOL DAMAGE IN NORTHEAST CHINA

Zheng Weizhong

(Department of Atmospheric Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

Ni Yunqi

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

By using the data set of the surface air temperature of 23 stations in Northeast China during the period of 1951 - 1997, mean monthly sea surface temperature (SST) in Pacific from 1950 to 1996 and global mean monthly wind fields from 1980 to 1994, the spatial and temporal features and its variations for summer low temperature cool damage in Northeast China are analyzed. The possible relationship and the mechanism of impact between SST anomalies in the regions of Pacific and the low temperature cool damage are also studied. The results show that the first three eigenvalues obtained by the EOF analysis (84.28% of the total variance) can basically explain the summer temperature anomalies in Northeast China. The temperature anomalies reconstructed by those three eigenvalues have three dominant scales on 3- 4 years, 6- 8 years and quasi-16 years. Among them, 6- 8 years' oscillation is the strongest. On inter-decadescale, there appears a jump of the temperature from cooler to warmer around 1979. The warm pool of tropical West Pacific (140° E- 180°, 10° S- 10° N) is a key area that affects the summer low temperature in Northeast China. The SST anomalies in last winter over that area is a strong signal which could be used to predict the summer low temperature cool damage. Another key area is mid-latitude West Pacific (130° E- 180°, 10°- 30° N) where the SST anomalies in last spring are also closely related with summer low temperature in Northeast China.

Key words: SST anomaly Northeast China Summer low temperature Diagnostic analysis Mechanism of impact