

高辉,高晶. 黑潮冬季海温对我国东北地区夏季降水预测信号的增强[J]. 海洋学报,2014,36(7): 27—33,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.07.004

Gao Hui,Gao Jing. Increased influences of the SST along the Kuroshio in previous winter on the summer precipitation in northeastern China[J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese),2014,36(7): 27—33,doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.07.004

# 黑潮冬季海温对我国东北地区夏季降水 预测信号的增强

高辉<sup>1</sup>,高晶<sup>2</sup>

(1. 中国气象局 国家气候中心,北京 100081;2. 内蒙古自治区气候中心,内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:** 统计分析结果表明,黑潮冬季海温和东北夏季降水的关系有非常明显的年代际变化,表现为从 20 世纪 50—60 年代弱的正相关逐步转变为现阶段很强的负相关。尤其是在东北夏季降水异常年份,黑潮海温呈明显的反位相变化,因此可被视为一个非常有效的前兆预测信号。分析了可能的影响机制,即当前期黑潮海温偏低时,海洋热力异常的持续性会导致其夏季低层出现反气旋式风场距平环流,在西太平洋副热带高压(副高)西北侧出现东北风距平及在东北冷涡东南侧出现西南风距平,导致在副高区和东北冷涡区均形成气旋式距平环流系统,从而减弱了副高并增强了东北冷涡。反之,黑潮海温偏高时,其上空气旋式距平环流系统将减弱东北冷涡强度和增强副高强度。这是黑潮海温影响东北夏季降水异常的主要原因。

**关键词:** 黑潮;东北冷涡;西太平洋副热带高压;降水

**中图分类号:** P466;P426.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-4193(2014)07-0027-07

## 1 引言

东北地区是我国最大的商品粮和重要的工农业及能源基地,属典型亚洲季风气候区。受季风影响,夏季气候变率很大,严重的低温与旱涝灾害会直接影响到该地区的生产生活。例如,1960 年 7 月底至 8 月初的暴雨洪涝在辽宁一省就造成 1 625 人死亡,经济损失难以计数<sup>[1]</sup>,而 2007 年东北地区罕见的旱灾仅黑龙江省直接经济损失就超过 160 亿元<sup>[2]</sup>。邹立尧和丁一汇<sup>[3]</sup>发现东北大部分地区暴雨强度呈上升趋势,尤其是其西北部,暴雨初日也整体提前。孙力等<sup>[4]</sup>也指出 20 世纪 80 年代初以来暴雨日发生的年际变率明显增加。

近十年来,很多工作研究了东北地区低温和旱涝灾害的形成机理,并提出了诸多可应用于预测业务的

技术方法。孙力等<sup>[5-6]</sup>研究发现,东北地区旱涝年夏季,高纬和极区大气环流特征、东北亚异常长波槽脊的分布和活跃程度以及东亚大槽和西太平洋副热带高压(后文简称为副高)的位置和强度等均有十分明显的差异,同时东北地区旱涝还显著地受到亚洲季风系统和高空西风急流位置强度的影响。何金海等<sup>[7]</sup>指出,夏季东北冷涡强度与降水存在显著的正相关,东北冷涡强年降水偏多,反之亦然。武炳义等<sup>[8]</sup>亦指出,当北极大气偶极子异常处于正位相时,对应北极极涡中心位于北极西部时,中国东北夏季降水将增多。兰明才和张耀存<sup>[9]</sup>也发现青藏高原上空高空西风急流中心强度和倾斜位置对东北夏季降水有显著影响,当急流偏强(弱)、东北地区上空急流轴向东北(东南)方向倾斜时,对应于该地区降水偏多(偏少)。

收稿日期:2013-04-23;修订日期:2013-12-20。

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(201306033);科技部国际合作项目(2009DFA23010)。

作者简介:高辉(1976—),男,江苏省句容市人,研究员,主要从事东亚季风与中国旱涝预测。E-mail:gaohui@cma.gov.cn

在东北夏季气候的前兆影响因子方面,孙建奇和王会军<sup>[10]</sup>揭示了东北北部气温在 20 世纪 80 年代后期的显著突变。发现在突变前,影响东北南部的海洋关键区为中纬度西太平洋和印度洋,而北部则为 ENSO 海区;而在突变后,两区的关键影响海区一致。何金海等<sup>[7]</sup>指出,前期中国近海海温的异常可以作为夏季东北冷涡异常的一个前兆信号,进而为东北地区夏季降水异常的预测提供参考依据。余贞寿等<sup>[11]</sup>揭示出前期冬季西北太平洋黑潮区海温是华北北部至东北西南部的关键海区之一。祁丽燕等<sup>[12]</sup>发现,黑潮延续体及北太平洋中部偏东地区冬季热容量异常偏高和北美西海岸地区异常偏低时,中国东北和长江流域地区夏季降水将会偏少,东北和华北地区夏季气温将会偏低。数值试验的结果也发现,黑潮海温和东北夏季降水存在一定联系<sup>[13]</sup>。这些结果表明,冬季黑潮海温强弱会对后期东北夏季降水多少有重要影响,但前述研究均使用固定时段且没有专门针对东北地区。在全球变暖的背景下,太平洋与我国降水的关系正经历年代际变化<sup>[14-16]</sup>,那么黑潮海温与东北降水关系是否也存在年代际差异?黑潮海温对东北夏季降水的影响机理是什么?这是本文希望初步分析的问题。

## 2 资料

本文使用中国气象局国家气候中心提供的 1951—2010 年 160 站逐月降水资料。该套资料时效长且经过严格的质量控制,在气候研究和业务中均得以广泛使用。对于东北地区本文并未严格按照行政区划,而是考虑到内蒙古东部降水及影响环流和黑龙江、吉林、辽宁具有很好的一致性,因此将 38°N 以北,110°E 以东共 33 个测站降水平均代表整个东北区域降水量。

同时段大气环流资料为 NCEP/NCAR 逐月再分析资料集中的位势高度场、水平风场及垂直速度场,该资料水平分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ <sup>[17]</sup>。月海表温度资料源自 NOAA 的 Extended Reconstructed SST (ERSST),该资料水平分辨率为  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ <sup>[18]</sup>。对于黑潮海温关键区,对参考文献<sup>[19]</sup>的结果并略作修改,将其定义为(20°~40°N,120°~150°E)。

## 3 前冬黑潮海温与东北夏季降水关系的年代际增强

已有研究表明,20 世纪 70 年代中后期赤道东太平洋海温<sup>[20]</sup>、东亚夏季风<sup>[21-22]</sup>和大气环流<sup>[23]</sup>均发生了显著的突变,且太平洋海温与东亚夏季风及夏季降

水的关系<sup>[14-16]</sup>及印度夏季降水与 ENSO 的关系均在这—时期前后出现了间断<sup>[24]</sup>。为分析突变前后海温对东北降水的影响,分别计算了 1951—1980 年及 1981—2010 年时段东北降水与前冬 SST 相关如图 1。可见这两个时段的相关分布有很大差异。在前一—时段,整个热带和中纬度海洋上,除热带中南太平洋和墨西哥湾有局部正相关外,其他海区相关性均不显著,在黑潮区(图中方框标出)相关系数值仅约为 0.1~0.2 左右。这种关系可以解释为何在早期关于印度洋或 ENSO 影响我国夏季降水的成果或预测模型中没有提及东北地区。而在后一个分析时段,可以看出北太平洋地区的相关性大大增强。在 40°N 以北及美洲西部为显著的正相关区,而在东亚东部及西太平洋地区为显著的负相关,负相关区一直向东延伸到 150°W 附近形成一个强负相关舌。在热带印度洋地区相关系数也为负值,但强度偏弱。

需要指出的是,除太平洋地区相关型在两个时段有差异外,在北大西洋地区,海洋的作用甚至有着完全相反的变化。在前一—研究时段,大西洋海温的相关性从高纬到低纬呈现“+—+”分布,即北大西洋三极子为正位相。而在后—时段则转变为准“—+—”型。研究表明,大西洋海温的异常可以通过激发出一支跨越欧亚大陆的纬向遥相关波列进而影响到东亚夏季风的年际变率<sup>[25-26]</sup>并影响我国夏季梅雨<sup>[26-27]</sup>。图 1 的结果也表明,大西洋海温异常还会影响到东北夏季降水多少。统计结果表明,黑潮海温和北大西洋北侧海温不一致时,东北夏季降水偏多偏少的年份数相近。在整个研究时段,黑潮海温为正北大西洋海温为负共 11 a,其中 5 a 东北降水偏多 6 a 偏少;反之当黑潮海温为负北大西洋海温为正的 10 年中东北 4 a 降水偏多 7 a 偏少。无论哪个区域的海温并没有统计意义上的优势。因此可以认为冬季黑潮和北大西洋海温对东北夏季降水的贡献接近。关于北大西洋海温影响将另文讨论。

黑潮冬季海温与东北降水关系的年代际变化还可以从图 2 更加清楚得到说明。从 20 世纪 80 年代开始,二者的反位相变化特征相当清楚,尤其是在一些降水异常年,如降水异常偏多的 1984 年和异常偏少的 1999、2007 年,前期黑潮海温都有截然相反的差异。进一步分析二者的 21 a 滑动相关如图中粗线条所示,在整个研究时段的前期,二者为较弱的正相关,这和图 1 的结果一致。之后相关值逐渐减弱,在 20 世纪 60 年代中期至 80 年代中期时段减弱至零,之后

继续减弱为强的负相关。这一结果表明,黑潮海温对 东北夏季降水的预测信号正在增强。

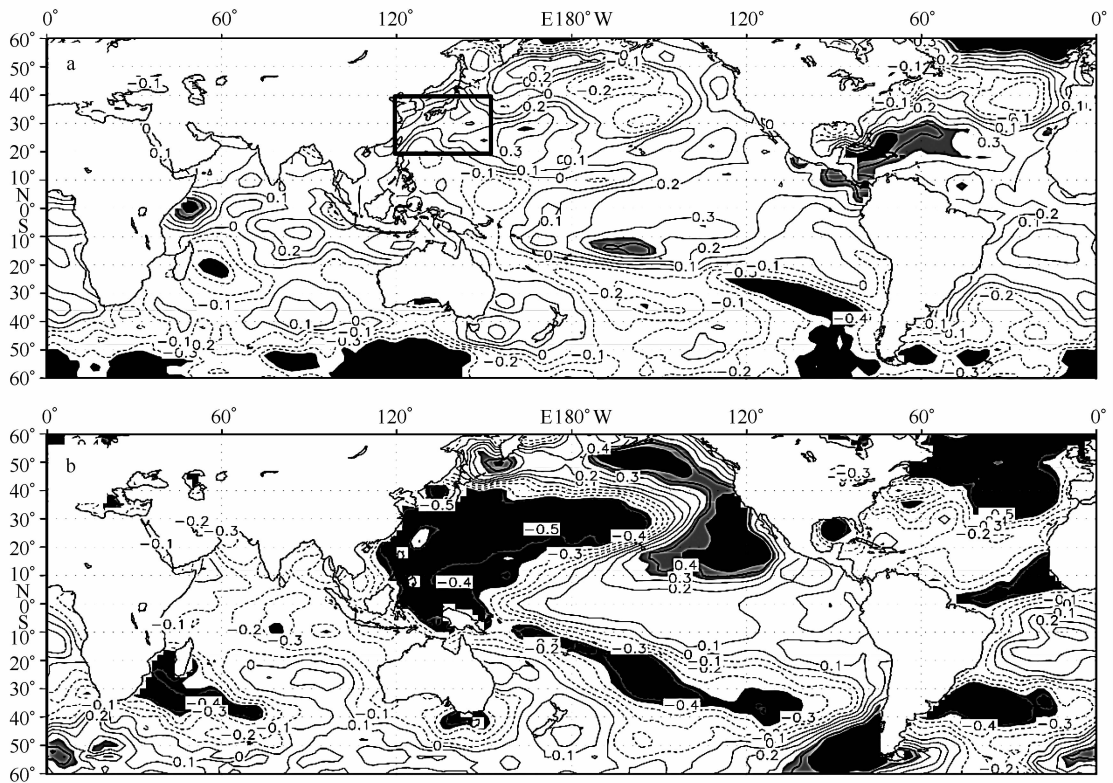


图1 东北33站(38°N以北,110°E以东)夏季平均降水与前冬SST相关

Fig. 1 Correlation coefficients between the summer precipitation in Northeastern China and the SST in previous winter

a. 1951—1980年夏季平均降水,b. 1981—2010年夏季平均降水;阴影区通过95%置信度检验;图中方框为黑潮海温指数定义区域;等值线为相关系数

a. 1951—1980 average precipitation in summer,b. 1981—2010 average precipitation in summer; values greater than 95% confidence t-test level are shaded; the solid box in Fig. 1a means the Kuroshio region defined in this paper; the contour represents correlation coefficient

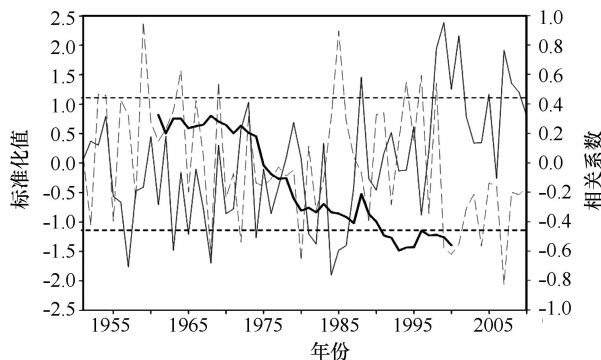


图2 黑潮冬季海温(细实线)与夏季东北降水(细虚线)标准化序列

Fig. 2 Standardized time series of the SST in Kuroshio region in previous winter (thin solid curve) and summer precipitation in Northeastern China (thin dashed curve)

标准化值对应于左纵坐标;图中粗实线为二者21a滑动相关(1961年数值对应为1951—1971年相关系数),其数值对应于右纵坐标;两条水平虚线对应于95%置信度

Standardized values are listed in the left ordinate; the thick solid curve means their correlation coefficients during a 21-year running period (the values are listed in the right ordinate), numbers in the abscissa mean the central year of the 21-year period, for example, 1961 means the correlation coefficients period is 1951—1971; the dashed lines mean the 95% confidence t-test level

## 4 可能机制分析

仅考虑 1981—2010 年时段海温异常对降水的可能影响。图 3 和图 4 分别给出了这一时段东北夏季降水及冬季黑潮海温与夏季 500 hPa 位势高度场及 850 hPa 水平风场的相关。在环流与降水相关图上(图 3),对高度场而言,(40°~50°N, 80°~120°E)处是最显著的负相关区,这和已有的研究一致,即东北冷涡强盛时(位势高度场为负值),降水偏多<sup>[7]</sup>。对应于 850 hPa 风场上,这一区域为一个很强的气旋式相关矢量场配置。另外一个显著正相关区位于西太平洋,但范围要弱得多,表明当副高偏西北且强度偏强时,西太平洋的暖湿气流将在副高西侧的南风作用下径直输送到东北地区,和冷涡偏强所带来的强冷空气汇

合加剧,导致降水偏多。

而在海温与环流相关图上(见图 4)中高纬度相关型分布完全相反。东北冷涡区为显著的正相关区,相对应,海温与风场的相关矢量在这一区域为反气旋式。这表明当前冬黑潮偏冷(暖)时,夏季东北冷涡的强度往往偏强(弱),这可能是黑潮海温异常影响东北夏季降水的关键过程。另一个显著正相关区位于热带西太平洋,即副高主体位置区,这和图 3 的结果不一致。黑潮海温偏高(低)引起相对局地上升(下沉)运动,导致空气在副高区下沉(上升),进而导致副高偏强(弱)。结合图 3 和图 4 可推断,虽然黑潮海温异常同时影响到东北冷涡和副高的强度,但前一环流系统对东北夏季降水才有着更关键的作用,也即黑潮海温的影响作用主要依赖于东北冷涡。

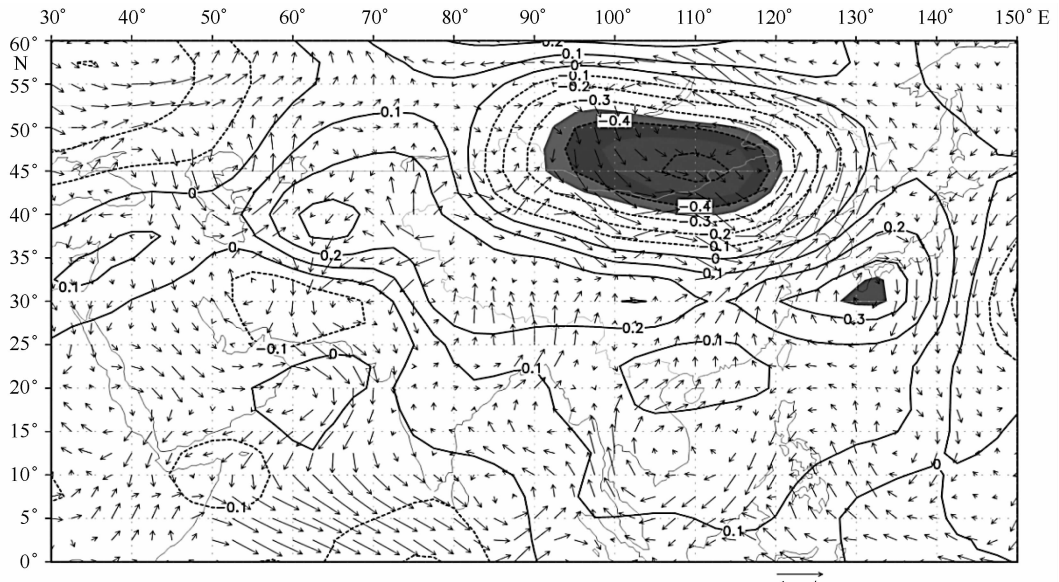


图 3 1981—2010 年时段东北夏季降水与夏季 500 hPa 位势高度场(等值线及阴影区,阴影区通过 95% 置信度检验)及 850 hPa 水平风场相关(箭头)

Fig. 3 Correlation coefficients between the summer precipitation in Northeastern China and the 850 hPa wind (arrows) and the 500 hPa geopotential height (contours and values greater than 95% confidence t-test level are shaded)

为进一步分析黑潮海温异常如何作用于东北冷涡和副高,在 1981—2010 年间分别选取海温偏强和偏弱的各 6 a 做合成。这 12 a 的标准化海温值除 1996 年外均在 1 个标准差之外。结合业务使用实际,这里使用 700 hPa 的垂直速度和水平风,其环流形势和 850 hPa 基本一致。图 5 给出了冬季黑潮海温弱、强年合成的 700 hPa 垂直速度  $\omega$  距平(放大 100 倍)、水平风场距平及西太平洋副热带高压的 5 870 gpm、

5 880 gpm 特征等值线,同时给出两根等值线的 1981—2010 年平均气候值。很显然,当海温偏弱时,黑潮附近低层  $\omega$  距平为正值,即对应于气流的下沉分量偏强,从而在黑潮区形成一个反气旋式距平环流系统。这一反气旋距平环流中心的南部即对应于副高北侧,由此在副高西北侧形成东北风距平,这样就容易在副高区形成一个气旋式距平环流,从而部分抵消副高本身的反气旋环流系统,导致副高偏弱,副高区

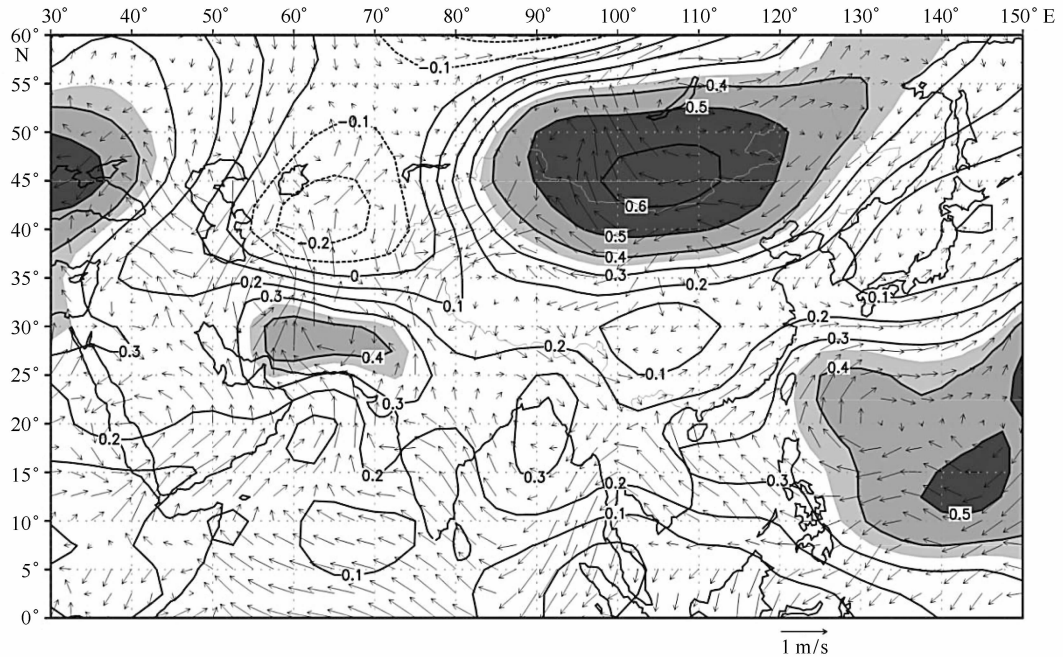


图4 1981—2010年时段冬季黑潮海温与夏季500 hPa位势高度场(等值线及阴影区,阴影区通过95%置信度检验)及850 hPa水平风场相关(箭头)

Fig. 4 Correlation coefficients between the SST in Kuroshio region in previous winter and the 850 hPa wind (arrows) and the 500 hPa geopotential height (contours and values greater than 95% confidence t-test level are shaded)

低层 $\omega$ 距平为负值。同时黑潮附近的反气旋式距平环流的西北侧为西南风距平分量,加强了东北冷涡东南部的西南风,从而在东北冷涡处形成气旋式距平环流系统,加强了东北冷涡,冷涡区低层为负 $\omega$ 距平。

反之,当前冬黑潮海温偏高时,其上空为气旋式距平环流系统。其西北侧的东北风距平分量有利于在东北冷涡处形成一个反气旋式距平环流,减弱了东北冷涡的强度。同时其西南侧的西南风距平分量有利于副高上空反气旋环流系统的进一步加强,导致副高偏强。这是黑潮海温影响东北冷涡和副高进而影响东北夏季降水异常的主要原因。

## 5 结论和讨论

基于台站降水资料、NCEP/NCAR大气环流再分析资料及NOAA的ERSST资料分析了黑潮冬季海温和东北夏季降水关系的年代际变化,发现二者负相关的关系在不断增强。滑动相关结果显示,在20世纪50—60年代二者为弱的正相关,之后不断减弱,现阶段为显著的负相关。尤其是在东北夏季降水异常年份,二者表现出非常一致的反位相变化,因此可将前冬黑潮海温作为预测东北夏季降水的一个有效

前兆信号。在黑潮海温影响东北夏季降水的过程中,东北冷涡起到了主要纽带作用。当海温偏低(高)时,东北冷涡偏强(弱)。合成分析的结果进一步表明,黑潮海温偏低时,由于海洋热力异常的持续性导致其夏季低层出现反气旋式风场距平环流,进而影响到副高北侧的东北风距平分量和东北冷涡东部的西南风距平分量,导致在副高区和东北冷涡区均形成气旋式距平环流,从而减弱了副高强度并增强了东北冷涡强度。反之,黑潮海温偏高时,其上空气旋式距平环流系统将减弱东北冷涡强度和增强副高强度。这是黑潮海温影响东北夏季降水异常的主要原因。

本文的结果还发现,在北大西洋地区海温相关型的分布在两个研究时段几乎相反。过去的研究表明,大西洋海温异常可通过激发出一支跨越欧亚大陆的纬向遥相关波列进而影响到东亚夏季风的年际变率。但这一波列是否和黑潮海温-东北夏季降水关系的年代际转型有关还需要进一步分析。

**致谢:**感谢中国气象局短期气候预测国家级创新团队提供的技术指导。

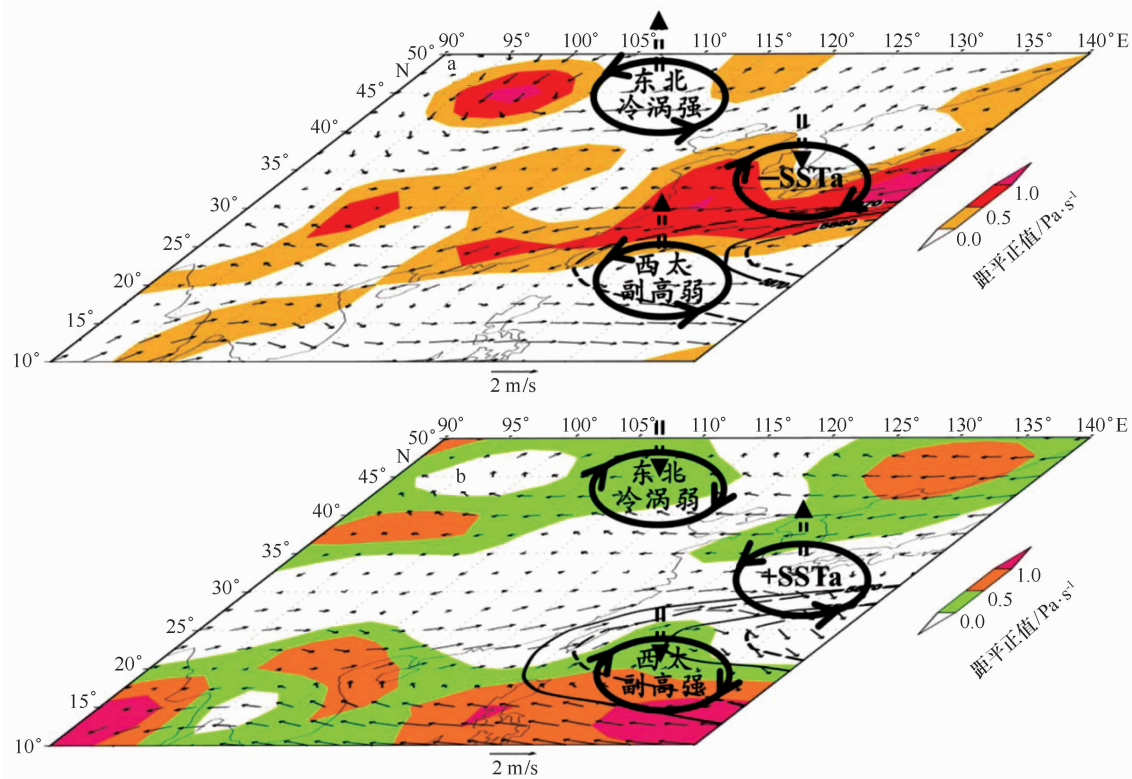


图5 冬季黑潮海温弱(a)、强(b)年合成的700 hPa垂直速度 $\omega$ 距平(放大100倍,阴影区为距平正值)、水平风场距平和副高的5870及5880 gpm特征等值线  
粗实线:各自合成的正负海温年;粗虚线:1981—2010年平均值。图中还给出了东北冷涡、副高和黑潮区上空距平环流示意图

Fig. 5 Composition of the 700 hPa vertical velocity ( $\times 100$ , positive values are shaded), the horizontal wind anomaly and the 5870 and 5880 gpm contours of the western Pacific high (WPSTH, thick solid curves) of warmer (a) and colder (b) Kuroshio cases

Thick dashed curves mean the climatological counterparts of 5870 and 5880 gpm. Sketch maps of the cold vortex, the WPSTH and the circulations over the Kuroshio regions are also listed

## 参考文献:

- [1] 丁一汇. 中国气象灾害大典[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 62—63.
- [2] 肖子牛. 中国气象灾害年鉴(2008)[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 136—137.
- [3] 邹立尧, 丁一汇. 1961—2005年东北暴雨气候特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29: 1314—1321.
- [4] 孙力, 隋波, 王晓明, 等. 我国东北地区夏季暴雨的气候学特征[J]. 气候与环境研究, 2010, 15: 778—786.
- [5] 孙力, 安刚, 丁力. 中国东北地区夏季旱涝的分析研究[J]. 地理科学, 2002, 22: 311—316.
- [6] 孙力, 安刚, 廉毅, 等. 中国东北地区夏季旱涝的大气环流异常特征[J]. 气候与环境研究, 2002, 7: 102—113.
- [7] 何金海, 吴志伟, 祁莉, 等. 北半球环状模和东北冷涡与中国东北夏季降水关系分析[J]. 气象与环境学报, 2006, 22: 1—5.
- [8] 武炳义, 张人禾, Rosanne. 北极偶极子异常与中国东北夏季降水[J]. 科学通报, 2008, 53: 1422—1428.
- [9] 兰明才, 张耀存. 东亚副热带急流与东北夏季降水异常的关系[J]. 气象科学, 2011, 31: 258—265.
- [10] 孙建奇, 王会军. 东北夏季气温变异的区域差异及其与大气环流和海表温度的关系[J]. 地球物理学报, 2006, 49: 662—671.
- [11] 余贞寿, 孙照渤, 曾刚. 太平洋SSTA对中国东部夏季降水的影响I——观测分析[J]. 南京气象学院学报, 2005, 21: 467—477.
- [12] 祁丽燕, 孙照渤, 李忠贤. 北太平洋冬季次表层热状况及其与中国东部夏季气候的关系[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30: 153—161.
- [13] 李忠贤, 孙照渤. 冬季黑潮SSTA影响东亚夏季风的数值试验[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29: 62—67.
- [14] 李峰, 何金海. 太平洋区域海温跃变及其与东亚夏季风的关系[J]. 气象科学, 2001, 21: 28—35.
- [15] Wang Huijun. Instability of the East Asian summer monsoon-ENSO relations[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(1): 1—11.

- [16] 高辉,王永光. ENSO对中国夏季降水可预测性变化的研究[J]. 气象学报,2007,65: 131—137.
- [17] Kalnay E,Kanamitsu M,Kistler R,et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bulletin of the American meteorological Society,1996, 77(3): 437—471.
- [18] Smith T M,Reynolds R W. Improved Extended Reconstruction of SST (1854—1997)[J]. Journal of Climate,2004,17(12):2466—2477.
- [19] 李忠贤,孙照渤. 1月份黑潮区与海温异常与我国夏季降水的关系[J]. 南京气象学院学报,2004,27(3): 374—380.
- [20] Wang B. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades[J]. Journal of Climate,1995,8: 267—285.
- [21] Xue Feng. Interannual to interdecadal variation of East Asian summer monsoon and its association with the global atmospheric circulation and sea surface temperature[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2001,18(4): 567—575.
- [22] Wang Huijun. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2001,18(3): 376—386.
- [23] Trenberth K E. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1990,71(7): 988—993.
- [24] Kumar K K,Rajagopalan B,Cane M A. On the weakening relationship between the Indian monsoon and ENSO[J]. Science,1999,284(5423): 2156—2159.
- [25] Wu Zhiwei,Wang Bin,Li Jianping,et al. An empirical seasonal prediction model of the East Asian summer monsoon using ENSO and NAO[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984—2012),2009,114:D18120.
- [26] Zuo Jinqing,Li Weijing,Sun Chenghu,et al. Impact of North Atlantic sea surface temperature tripole on the East Asian summer monsoon[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2013,30(4): 1173—1186.
- [27] Gu Wei,Li Chongyin,Wang Xin,et al. Linkage between mei-yu precipitation and North Atlantic SST on the decadal timescale[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2009,26(1): 101—108.

## Increased influences of the SST along the Kuroshio in previous winter on the summer precipitation in northeastern China

Gao Hui<sup>1</sup>, Gao Jing<sup>2</sup>

(1. National Climate Center of China meteorological administration, Beijing 100081, China; 2. Inner Mongolia Climate Centre, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** Statistical results indicate the relationships between the SST along the Kuroshio in previous winter and the summer precipitation in northeastern China have experienced a remarkable interdecadal variation. In the 1950s and 1960s, the correlation is positive but weak, while in recent two decades the counterpart is significantly negative. In the flood or drought events in northeastern China, the SST along the Kuroshio shows quite different features and can be used as a precursory signal in climate prediction operation. The possible influencing mechanism is also analyzed in this paper. It is found the lower SST along the Kuroshio will cause an abnormal anticyclone in the lower troposphere in summer owing to the persistence of the thermal conditions of the ocean. This abnormal anticyclone will lead to an abnormal northeasterly in the northwest side of the western Pacific subtropical high (WPSTH) and an abnormal southwesterly in the southeast part of the northeastern cold vortex (NECV), and result in an abnormal cyclone over the WPSTH and the NECV respectively. Thus the WPSTH is weakened while the NECV is strengthened. Under this circulation pattern, more summer precipitation will be found in northeastern China. On the contrary, the warmer SST along the Kuroshio will trigger an abnormal cyclone in the lower troposphere, and strengthen the WPSTH while weaken the NECV, and finally lead to less precipitation.

**Key words:** Kurishio; northeastern cold vortex; western Pacific subtropical high; precipitation