

金炜昕,孙丞虎,李维京. 2014. 2012 年 7 月华北降水异常成因分析. 气象, 40(5):541-548.

2012 年 7 月华北降水异常成因分析<sup>\* 1</sup>

金炜昕<sup>1,2</sup> 孙丞虎<sup>2</sup> 李维京<sup>2</sup>

1 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044  
2 国家气候中心, 北京 100081

**提 要:** 2012 年 7 月, 我国华北地区降水较常年偏多近 45%, 期间出现了严重的洪涝灾害。本文利用中国台站降水等资料, 对华北降水异常现象及其可能成因进行了分析。结果表明, 多因子共同作用可能造成了 7 月华北降水异常偏多。2012 年 7 月, 欧亚中高纬地区维持两脊一槽环流型, 贝加尔湖附近低槽活动造成冷空气频繁南下。同时, 西太平洋副热带高压(以下简称副高)明显偏北带来的充沛水汽与北方冷空气持续交汇于华北地区, 共同构成了华北地区降水偏多的大尺度环流形势。分析还发现, 西太平洋暖池区海温偏暖, 产生的强盛对流活动使西太平洋副高位置偏北。同时, 受北太平洋地区海温偏暖影响, 东亚东北部-北太平洋地区盛行低层反气旋异常环流, 也造成副高位置偏北。

**关键词:** 华北降水, 大气环流, 水汽输送, 对流活动, 海温

**中图分类号:** P466, P458      **文献标志码:** A      **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.05.003

Cause Analysis on the Precipitation Anomalies in North China in July 2012

JIN Weixin<sup>1,2</sup> SUN Chenghu<sup>2</sup> LI Weijing<sup>2</sup>

1 Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044  
2 National Climate Centre, Beijing 100081

**Abstract:** Precipitations in North China were 45% more than normal during July 2012, accompanied with serious flood disasters. Utilizing precipitation data in China and other data, the characteristics of the anomalies and the possible causes were analyzed. The results show that it might be attributed to the influence of multiple factors. On the 500 hPa level, the large-scale circulation exhibits “two ridges and one trough” pattern over mid-high latitude of Eurasian Continent. The northward shift of the western Pacific subtropical high is also detected. Under this circumstance, the cold and the warm air converge strongly over North China, causing the serious precipitation anomalies. Further study shows that the SST of the equatorial western Pacific Warm Pool remains abnormally warmer in July 2012, generating strong convective activities and driving the subtropical high to north. As a result, the subtropical high shifts northward. On the other hand, affected by the positive SSTA in the North Pacific, an anomalous anticyclone circulation prevails over the northeast of East Asia and North Pacific region, causing the subtropical high stretching towards north.

**Key words:** precipitation in North China, atmospheric circulation, moisture transport, convective activities, sea surface temperature (SST)

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展规划项目(2012CB955901 和 2013CB430203)、中国气象局气象关键技术集成与应用项目——亚洲区域性气候异常诊断关键技术及应用和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306070)共同资助  
2013 年 3 月 14 日收稿; 2013 年 8 月 11 日收修定稿  
第一作者: 金炜昕, 主要从事短期气候预测研究. Email: jinwxhere@163.com  
通信作者: 孙丞虎, 主要从事气候监测预测研究. Email: sunch@cmac.gov.cn

## 引言

2012年7月,华北降水较常年同期明显偏多,且影响范围大,引发了严重灾害(王艳姣等,2013;王有民等,2013;王遵娅等,2013)。北京、天津、河北、山西和内蒙古等地多站达到极端日降水量事件标准和极端连续降水量事件标准,部分达到或突破历史极值,前后造成内蒙古、河北、陕西及北京等多地灾害,带来了巨大的人员伤亡和经济损失。如2012年7月21—22日,京津冀地区的特大暴雨过程历史罕见,降水持续时间长,降水强度大,其中北京的霞云岭(337.5 mm)、门头沟(305.2 mm)、石景山(291.6 mm)、房山(253.6 mm)、海淀(238.6 mm)和河北省的固安(364.4 mm)、新城(265.2 mm)、涿州(254.9 mm)8个国家级气象站突破了建站以来的日降水量极值,北京市平均降水量达到190.3 mm。北京暴雨为近61年最强,天津为近34年来最强。海河流域的北运河出现超历史实测纪录的特大洪水,拒马河出现1963年以来最大洪水,部分地区发生严重暴雨洪涝灾害及泥石流和滑坡灾害。据统计,北京和河北两省(市)共有114人死亡,21人失踪,直接经济损失达281.3亿元(周宁芳,2012;湛芸等,2012)。

华北地区是我国东部夏季降水三大雨区之一(廖荃荪等,1992),国内学者针对夏季华北降水异常做过很多研究(周连童,2009;陶亦为等,2011;刘海文等,2011;郝立生等,2012)。一般认为,大气环流异常是造成降水异常的直接原因。如赵声蓉等(1999)指出,当乌拉尔山附近和朝鲜半岛附近为高压脊,蒙古国附近为低压槽活动,西太平洋副热带高压(以下简称副高)偏北时,华北地区汛期降水偏多易涝。刘芸芸等(2012)提出当亚洲—太平洋夏季风偏强时,西太平洋上空为气旋性环流异常,西太平洋副高异常偏北,其西侧的偏南风会加强我国华北地区的水汽辐合。田红等(2004)和梁萍等(2007)则认为影响华北地区夏季强降水的水汽主要来自西太平洋和中高纬西风带。

然而,影响华北夏季降水变化的大气环流异常又是怎样出现的呢?国内外学者的研究发现,它可能与海温异常变化及热带对流活动有关(黄荣辉等,1994;郭艳君等,1998)。早在1987年,Nitta(1987)就提出西太平洋暖池的对流活动能够通过太平洋—日本遥相关型导致东亚大气环流异常。黄荣辉等

(1988)、吕俊梅等(2007)进一步指明了夏季热带西太平洋因对流活动产生的热源通过西太平洋副高影响到华北降水的物理机制。当西太平洋海温偏暖,暖池附近对流活动较强时,副高位置偏北,华北地区夏季降水容易偏多。张礼平等(2012)指出,前期中等或强La Nina事件常导致夏季西太平洋副高脊线位置偏北,中国东部主雨带偏北,易使华北降水偏多。此外,孙燕等(2006)、黄勇等(2011)发现,北太平洋中部海温正异常有利于我国降水出现南少北多的分布形态。

2012年华北地区降水异常偏多,其导致的洪涝灾害造成了严重的社会影响,但其异常产生的原因是什么,依然不甚清楚。鉴于此,本文将分析华北地区7月降水异常产生的可能原因,为深入开展相关气候诊断与预测业务提供参考依据。

## 1 资料和方法

本文使用的资料包括:国家气象信息中心提供的756站月平均降水资料;NCEP/NCAR提供的月平均再分析资料,包括高度场、温度场、风场和比湿场(Kalnay et al, 1996)以及NOAA提供的月平均海表温度资料(ERSST)(Smith, et al, 2008)。

整层积分的水汽输送通量的计算公式为

$$Q = \frac{1}{g} \int_{300 \text{ hPa}}^{p_s} q \mathbf{V} dp = \frac{1}{g} \int_{300 \text{ hPa}}^{p_s} q(u, v) dp \quad (1)$$

式中, $g$ 为重力加速度, $p_s$ 为地表面气压, $q$ 为大气比湿, $\mathbf{V}$ 为矢量风, $u$ 和 $v$ 分别为纬向和经向风速, $p$ 为气压。NCEP/NCAR比湿场资料最上层为300 hPa,故本文垂直积分是从地面到300 hPa层。在300 hPa层以上水汽通量极小,其影响可忽略不计。另外,本文使用的气候平均值为1981—2010年平均。

## 2 2012年7月华北降水异常的时空分布特征

2012年7月,我国东部降水主要集中在华南、江淮地区东部、黄淮、华北到内蒙古东部、东北地区中部,其中华北一带月平均降水量普遍超过150 mm,北京和天津等地超过了250 mm(图略)。从降水距平百分率分布图(图1a)又可以看出,2012年7月我国东部降水距平区域差异明显。东北大部、江

汉北部、江淮西部、长江中下游、华南东部沿海等地区降水偏少,部分区域偏少 4~8 成以上。而华北地区降水较常年同期偏多可达 2 成以上,特别是京津地区、华北西部(河北、山西、陕西省北部、内蒙古中部)、内蒙古东部的部分地区降水偏多 4 成至 1 倍。为了深入分析华北地区降水异常的特点,本文通过计算华北地区降水最为异常的区域( $36^{\circ}\sim 44^{\circ}\text{N}$ 、 $109^{\circ}\sim 119^{\circ}\text{E}$ ,如图 1a 方框范围内所示)内各台站与北京站历年 7 月平均降水量的相关系数,选取通过 0.05 的显著性水平检验的台站(用+标注)作为华北地区降水异常性分析的代表站。上述站点平均的 7 月降水量距平百分率历史演变图显示(图 1b),结

果表明,2012 年 7 月华北降水量显著偏多,比往年同期平均值高 44.9%,为 1995 年以来最多,1959 年以来第五多的年份。

此外,从长期演变特征来看,华北地区降水整体呈下降趋势,并伴有准 20 年的年代际振荡,这与严中伟(1999)和张庆云(1999)的研究结论一致。特别值得注意的是,进入 21 世纪后,降水年代际变化一直处于异常偏少状态。在 1999—2010 年降水量一直维持负距平,2011 年降水开始增多,2012 年华北降水更发生突增,异常极为明显,形成了严重的洪涝灾害。

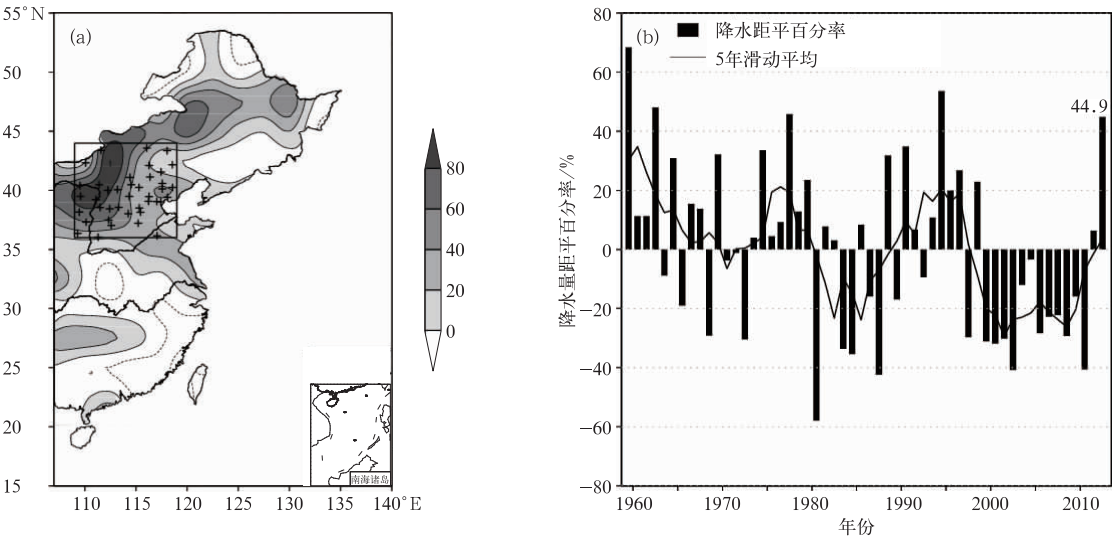


图 1 2012 年 7 月中国东部地区降水量距平百分率分布(a,单位:%)和 1959—2012 年华北地区 7 月区域平均降水量距平百分率(b,单位:%)

Fig.1 The distribution of precipitation percentage anomalies over eastern China in July 2012 (a, unit: %), and time series of mean precipitation in July averaged over North China during 1959—2012 (b, unit: %)

### 3 大尺度环流异常及其与 7 月华北降水的关系

本文首先给出了影响 2012 年 7 月华北降水异常的水汽输送特征。从整层积分的水汽输送通量场可以看出(图略),进入华北地区的水汽主要有两条来源,一条自阿拉伯海,横跨印度半岛—孟加拉湾—中南半岛—南海南部,在菲律宾以东地区转为偏南气流向大陆输送;另一条是来自西太平洋的偏东水汽,与前者在我国东南地区汇合后北上。图 2 给出了 2012 年 7 月整层积分水汽输送通量异常场。不

难看出,在菲律宾附近的气旋性异常环流与日本国南部上空的反气旋异常环流的共同作用下,西北太平洋上空的水汽以偏东风输送形式进入内陆,在我国东部形成一条自南向北的异常水汽输送带,直达华北地区,并与偏强的中纬度西风带水汽输送相交汇,在华北地区上空形成极强的水汽辐合。这实际上也反映了西太平洋副高偏北的特征(见图 3)。

图 3 进一步给出了 500 hPa 位势高度场和 850 hPa 温度距平场分布特征。图中显示,欧亚大陆中高纬地区呈现深厚的“两脊一槽”形势,低层温度距平自西向东对应呈“正—负—正”分布。乌拉尔山地区和鄂霍次克海以西地区分别为高压脊控制,

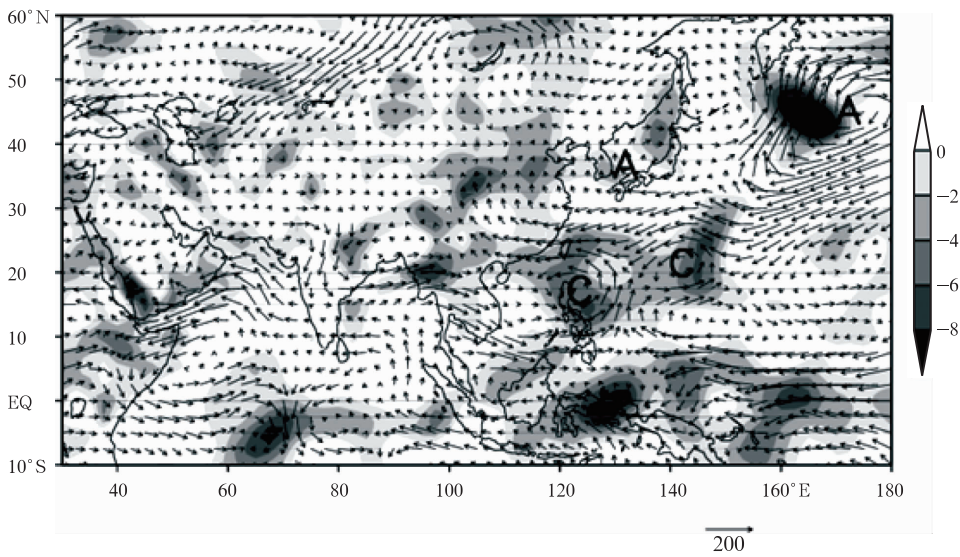


图 2 2012 年 7 月整层积分水汽输送通量距平(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
和水汽通量散度距平(阴影表示辐合,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 2 Moisture transport anomalies vertically integrated from surface to 300 hPa  
(unit:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and divergence of moisture transport flux anomalies (unit:  $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  
the shaded area means moisture transport convergence) in July 2012

其中,乌拉尔山地区的暖性高压活动十分活跃,从巴尔喀什湖以北延伸至中西伯利亚高纬度地区。受此影响,贝加尔湖附近为一深槽,低层温度为负距平,槽后的西北气流有利于冷空气自贝加尔湖地区西侧向东南移动,影响我国华北。另一方面,在西北太平洋上空,西太平洋副高强度与常年同期接近,西脊点位于  $115^{\circ}\text{E}$  附近,较常年略偏东,但副高脊线位置偏北,北太平洋上空为异常高压控制。

由此可见,2012 年 7 月华北降水异常发生时的环流形势为欧亚中高纬地区呈现“两脊一槽”分布,有利于冷空气不断南下,与副高偏北带来的丰富水汽在我国华北地区交汇。中高纬度和副热带之间的相互作用为华北地区大范围异常降水的产生提供了有利条件。

为进一步分析华北降水与大尺度环流异常间的关系,我们计算了 1959—2012 年 7 月华北降水量与同期 500 hPa 高度场和整层积分水汽输送通量场的相关分布。

图 4a 首先给出华北降水序列与 500 hPa 位势高度的相关分布图。不难看出,欧亚大陆上相关系数呈西北—东南向“正—负—正”分布特征。这表明,当历史上 7 月华北地区降水偏多时,中高纬度地区,乌拉尔山地区高度场偏高,处于高压系统控制

下,而贝加尔湖附近地区高度场偏低,受低槽活动影响。此外,西北太平洋地区,当历史上华北降水偏多时,西北太平洋  $30^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{N}$  附近地区高度场异常偏高,而其以南地区高度偏低。这种 500 hPa 高度场上西北太平洋地区“北高南低”的形势表明华北降水偏多时,西太平洋副高较常年异常偏北。

图 4b 进一步给出了 7 月华北降水与整层积分水汽输送通量场的相关分布情况。结果表明,影响历史上 7 月华北降水偏多的水汽输送来源主要有两支,一支为  $35^{\circ} \sim 45^{\circ}\text{N}$  之间的西风输送,与活跃在贝加尔湖一带的低槽有关;另一支为沿东亚大陆东部地区的偏南风水汽输送,主要受位于我国东部沿海附近地区的异常反气旋控制。值得注意的是,图中西北太平洋水汽输送通量异常场上呈现“反气旋—气旋—反气旋”分布,说明历史上 7 月华北降水偏多时,西北太平洋上空气旋与反气旋的配对起到了关键的作用,加强了西太平洋到华北地区的水汽输送。

总而言之,当贝加尔湖附近地区受低压槽控制,而西太平洋副高位置偏北,东亚中高纬地区呈现“西低东高”的环流形势时,来自中高纬地区的冷空气与来自西太平洋的暖湿空气交汇在华北一带,容易造成华北地区降水异常偏多。

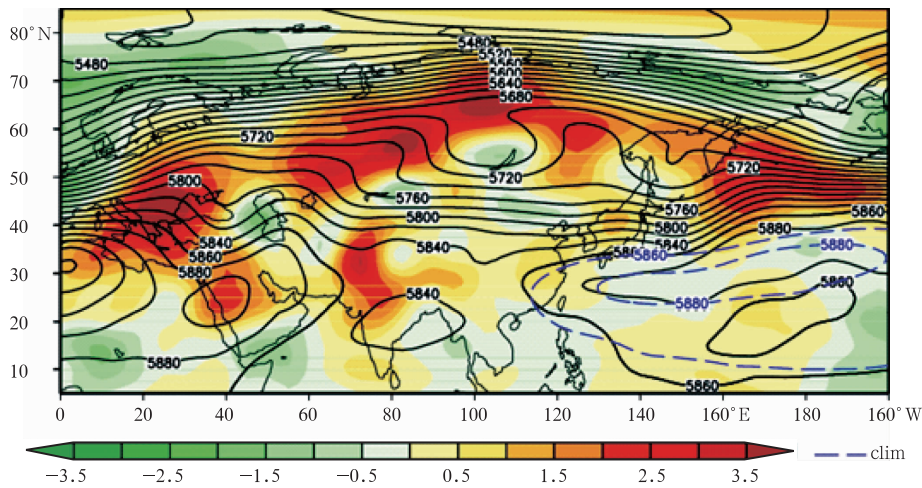


图 3 2012 年 7 月 500 hPa 高度场(等值线,单位: gpm)和 850 hPa 温度距平场(填色,单位: K)

Fig. 3 Mean geopotential heights at 500 hPa (isolines, unit: gpm) and temperature anomalies at 850 hPa (shadings, unit: K) in July 2012

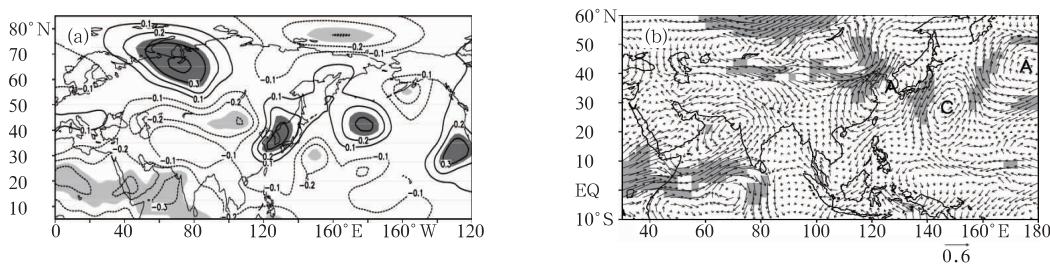


图 4 1959—2012 年 7 月华北平均降水量与 500 hPa 位势高度(a)和整层积分水汽通量(b)相关场 (阴影为通过 0.05 显著性水平检验的区域)

Fig. 4 Linear correlation between the precipitation in North China and the geopotential heights 500 hPa (a), and between the precipitation and the moisture transport (b) in July during 1959–2012 (Areas over 0.05 significant level are shaded)

4 外源强迫影响分析

研究表明夏季华北降水异常与太平洋海温有紧密的联系(陈文等,2006;谭桂容,2009)。为了分析海温对华北降水异常的影响,图 5 给出了 2012 年 7 月海温距平分布。图中显示,赤道西太平洋、印度洋大部海温呈略偏暖状态,且东部太平洋地区暖舌初步形成。另外,值得注意的是北太平洋中部地区海温偏高达 1℃ 以上。

4.1 热带海温影响

2012 年 7 月,赤道东太平洋海温偏暖,那么,是否是该现象造成了 7 月华北降水偏多? 鉴于热带海

温主要通过改变低纬度大气加热场,即对流加热这一途径对热带外大气产生影响,我们首先给出了 2012 年 7 月 850 hPa 速度势场特征,以此分析对流加热的分布状况(图 6)。2012 年 7 月,热带太平洋上,海洋性大陆地区对流异常活跃,而赤道东太平洋对流活动受抑制。上述特征与 La Nina 状态下热带对流活动的分布特点非常类似。

为了反映对流特征与海温分布的联系,我们定义了热带对流纬向差指数,即取 7 月热带印度洋—西太平洋一带(10°S~20°N、70°~140°E)平均速度势与东太平洋一带(10°S~20°N、120°~90°W)平均速度势之差。该指数与同期海温场相关分布结果表明(图 7),当热带印度洋—西太平洋海温偏暖时,其上空对流旺盛,而中东太平洋海温偏低,对流受抑

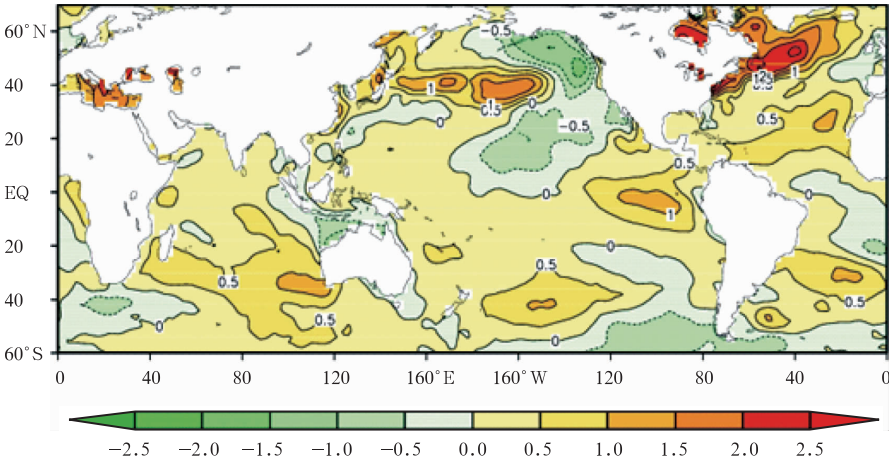


图 5 2012 年 7 月海温距平场(单位:K)  
Fig. 5 SST anomalies in July 2012 (unit; K)

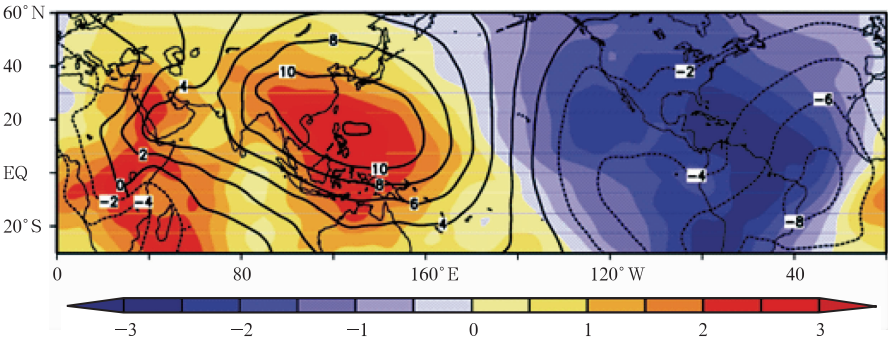


图 6 2012 年 7 月 850 hPa 速度势(等值线)及其距平(填色)场(单位: $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )  
Fig. 6 Velocity potential at 850 hPa (isolines) and its anomalies in July 2012  
(shadings, unit:  $10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

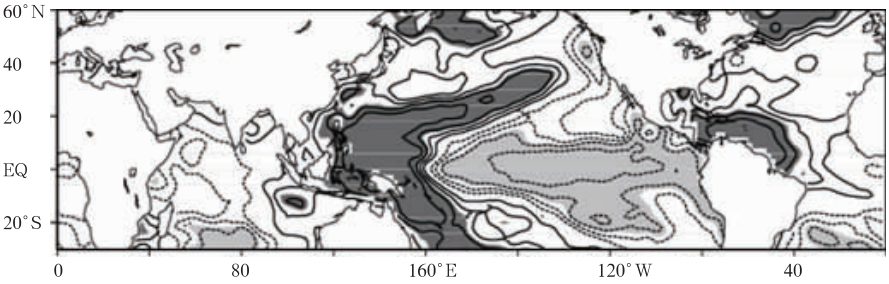


图 7 1959—2012 年 7 月 850 hPa 速度势差指数与海温相关场(阴影为通过 0.05 显著性水平检验的区域)  
Fig. 7 Linear correlation between the velocity potential index and the SST at 850 hPa in July during 1959—2012  
(Areas over 0.05 significant level are shaded)

制。这与前人的研究结果类似(陆日宇, 2001; Lu, 2001)。

综上所述,2012 年 7 月,虽然赤道中东太平洋海温已经转暖,但由于此时热带印度洋—西太平洋暖池区海温依然偏高,造成暖池区上空大气对流活动旺盛,热带大气对流加热的分布形势,仍体现了热带太平洋类 La Niña 背景下的大气响应状态。

为探究上述热带大气加热状况对华北降水的影响,我们计算了历史上 7 月对流纬向差指数与同期降水 and 高度场的相关分布(图 8)。图 8a 显示,当历史上 7 月西太平洋暖池区对流活跃时,我国东部降水异常偏多的区域主要位于华北一带,包括内蒙古中部、京津地区、山西省、河北省等地。而在 500 hPa 高度场上(图 8b),西北太平洋地区表现为“北高南

低”分布,与历史上华北降水偏多时环流异常分布十分相似(图 4a)。

综合图 8a 和 8b 可知,当北印度洋—西太平洋暖池区对流偏强时, Hadley 环流加强,使下沉支偏北,西太平洋副高北抬,有利于将西北太平洋地区充沛的水汽向华北地区输送。由此说明,大气加热场对前期 La Nina 条件的滞后响应可能是 2012 年 7 月华北降水偏多的主要原因。上述结果也表明西太平洋暖池区的对流活动,而非赤道东太平洋海温,是未来开展华北降水气候预测问题时应特别考虑的因素。

4.2 北太平洋海温影响

从图 5 还可以发现,北太平洋中东部地区海温偏暖。为分析北太平洋中东部海温与影响华北降水的大尺度环流之间的联系,我们定义了 7 月北太平洋中东部(25°~45°N、160°E~160°W)平均的海温

指数,并计算了指数与同期 500 hPa 场,以及整层积分水汽通量场的相关分布(图 9)。结果显示,北太平洋中东部海温偏高时,500 hPa 欧亚大陆中高纬度上,位势高度场由西向东呈“高一低一高”排列,西太平洋地区位势高度场呈“北高南低”分布(图 9a)。这与 2012 年 7 月 500 hPa 高度场(图 3)和历史上华北降水偏多时 500 hPa 高度场的异常分布特征(图 4a)十分类似。而海温指数与水汽通量相关场显示(图 9b),当北太平洋海温变暖时,中纬度东亚—北太平洋地区受反气旋异常环流控制,有异常的东南风水汽自西太平洋地区上向我国华北地区输送。不仅如此,2012 年 4—6 月北太平洋中东部海温早已维持正距平中心,且计算前期 4—6 月的北太平洋海温指数与后期 7 月环流的相关场发现,其特征与同期相关结果基本一致(图略)。因此,未来对 7 月华北降水异常进行预测时,可将北太平洋中部海温作为重点监测对象。

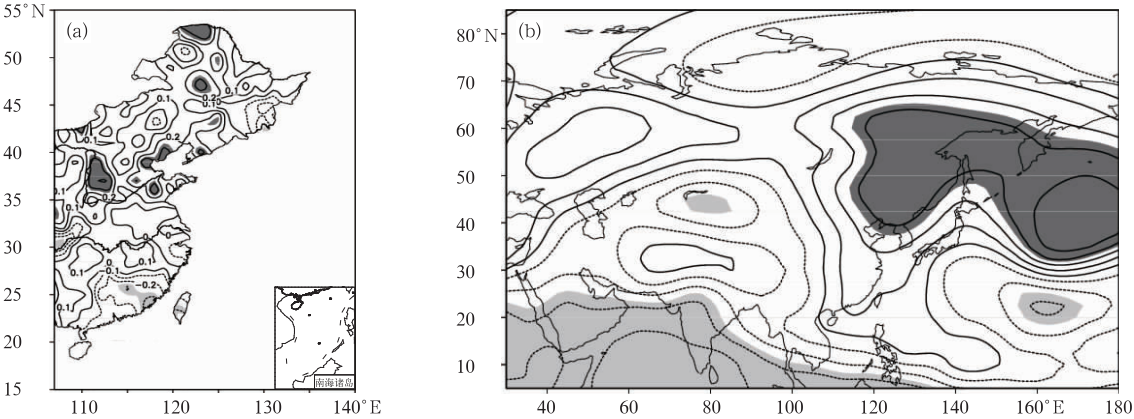


图 8 1959—2012 年 7 月速度势差指数与东部降水(a)和 500 hPa 高度(b)相关场  
(阴影为通过 0.05 显著性水平检验的区域)

Fig. 8 Linear correlation between the velocity potential index and the precipitation in eastern China (a) and between the index and the geopotential heights at 500 hPa (b) in July 1959—2012  
(Areas over 0.05 significant level are shaded)

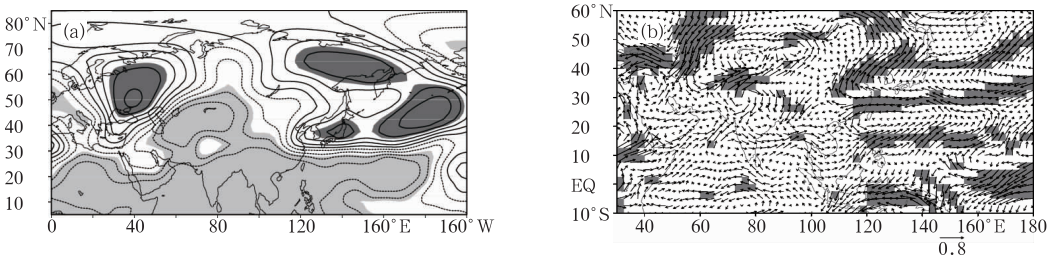


图 9 1959—2012 年 7 月北太平洋中部海温指数与 500 hPa 高度(a)和与水汽通量(b)相关场  
(阴影为通过 0.05 显著性水平检验的区域)

Fig. 9 Linear correlation between the SST index and the geopotential heights at 500 hPa (a), and between the index and the moisture transport anomalies (b) in July during 1959—2012  
(Areas over 0.05 significant level are shaded)

关于北太平洋中东部海温影响华北降水的具体物理机制,于润玲等(2002)认为,夏季北太平洋中部海温将会导致西太平洋副高北抬,贝加尔湖附近地区为低压槽控制,华北夏季降水将偏多。黄勇等(2011)指出,中纬度北太平洋地区大气和海洋的异常中心有很强的局地耦合性,当北太平洋中部海温偏暖时,低层风场为大范围反气旋异常,有利于我国降水出现南少北多的形势。

此外,朱益民等(2003)认为北太平洋海温与华北降水的联系可能与太平洋年代际振荡(Pacific Decadal Oscillation, PDO)有关。在 PDO 冷位相时,北太平洋中部海温偏高,华北地区降水偏多。

## 5 结 论

2012 年 7 月我国华北降水异常偏多,且降水影响范围广,期间发生的严重洪涝灾害,对社会经济造成了严重影响。为此,本文分析了造成 7 月华北降水异常偏多的可能原因,结果表明:

(1) 造成 7 月华北降水偏多环流形势为:中高纬环流呈现“两脊一槽”型,贝加尔湖地区为深厚冷槽控制,而在西北太平洋地区副高偏北,受上述系统的共同影响,冷空气和暖湿空气在华北地区交汇,导致华北地区降水偏多。

(2) 受西北太平洋地区海温偏暖影响,暖池地区强盛的对流活动,造成西太平洋副高偏北,使得华北降水偏多。

(3) 北太平洋中东部 4 月以来维持的偏暖海温,导致 7 月西北太平洋地区低层盛行异常反气旋环流,有利于副高位置偏北,且其西侧的异常偏南风有利于夏季风偏强,也是导致 7 月华北降水异常偏多的主要原因。

## 参考文献

- 陈文,康丽华,王玘. 2006. 我国夏季降水与全球海温的耦合关系分析. 气候与环境研究, 11(3): 259-269.
- 湛芸,孙军,徐珏,等. 2012. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考. 气象, 38(10): 1255-1266.
- 郭艳君,倪允琪. 1998. 赤道太平洋对流活动异常对我国夏季降水和气温的影响. 气象, 24(6): 11-16.
- 郝立生,丁一汇. 2012. 华北降水变化研究进展. 地理科学进展, 31(5): 593-601.
- 黄荣辉,李维京. 1988. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制. 大气科学, 12(特刊): 107-116.
- 黄荣辉,孙凤英. 1994. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 18(2): 141-151.
- 黄勇,李崇银,王颖. 2011. 东亚—北太平洋副热带海气耦合模态及其

- 对降水的影响. 热带气象学报, 27(6): 805-813.
- 梁萍,何金海,陈隆勋,等. 2007. 华北夏季强降水的水汽来源. 高原气象, 26(3): 460-465.
- 廖荃荪,赵振国. 1992. 我国东部夏季降水分布的季度预报方法. 应用气象学报, 3(增刊): 1-9.
- 刘海文,丁一汇. 2011. 华北夏季降水的年代际变化. 应用气象学报, 22(2): 129-137.
- 刘芸芸,丁一汇. 2012. 亚洲—太平洋夏季风系统的基本模态特征分析. 大气科学, 36(4): 673-685.
- 陆日宇. 2001. 西太平洋暖池上空对流对应的前期海温异常. 科学通报, 46(23): 2006-2009.
- 吕俊梅,张庆云,陶诗言,等. 2007. 东亚夏季风强弱年大气环流和热源异常对比分析. 应用气象学报, 18(4): 442-451.
- 孙燕,王谦谦,钱永甫,等. 2006. 华北地区夏季降水与全球海温异常的关系. 高原气象, 25(6): 1127-1138.
- 谭桂容,孙照渤,闵锦忠,等. 2009. 北太平洋海温异常的空间模态及其与东亚环流异常的关系. 大气科学, 33(5): 1038-1046.
- 陶亦为,孙照渤,李维京,等. 2011. ENSO 与青藏高原积雪的关系及其对我国夏季降水异常的影响. 气象, 37(8): 919-928.
- 田红,郭品文,陆维松. 2004. 中国夏季降水的水汽通道特征及其影响因子分析. 热带气象学报, 20(4): 401-408.
- 王艳姣,周兵,司东,等. 2013. 2012 年夏季我国降水异常及成因分析. 气象, 39(1): 118-122.
- 王有民,叶殿秀,艾婉秀,等. 2013. 2012 年中国气候概况. 气象, 39(4): 500-507.
- 王遵娅,任福民,王东阡,等. 2013. 2012 年海洋和大气环流异常及其对中国气候的影响. 气象, 39(4): 508-515.
- 严中伟. 1999. 华北降水年代际振荡及其与全球温度变化的联系. 应用气象学报, 10(增刊): 16-22.
- 于润玲,孙照渤,陈海山. 2002. 华北夏季降水与北半球环流及北太平洋海温关系的初步分析. 南京气象学院学报, 25(5): 577-586.
- 张礼平,张乐飞,曾凡平. 2012. ENSO 与中国东部夏季降水的关联. 热带气象学报, 28(2): 177-186.
- 张庆云. 1999. 1880 年以来华北降水及水资源的变化. 高原气象, 18(4): 486-495.
- 赵声蓉,宋正山. 1999. 华北汛期旱涝与中高纬大气环流异常. 高原气象, 18(4): 535-540.
- 周连童. 2009. 华北地区夏季降水的年际变化特征. 大气科学学报, 32(3): 412-423.
- 周宁芳. 2012. 2012 年 7 月大气环流和天气分析. 气象, 38(10): 1307-1312.
- 朱益民,杨修群. 2003. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系. 气象学报, 61(6): 641-654.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc, 77: 437-471.
- Lu Riyu. 2001. Atmospheric Circulations and Sea Surface Temperatures Related to the Convection over the Western Pacific Warm Pool on the Interannual Scale. Adv Atmos Sci, 18(2): 270-282.
- Nitta T. 1987. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. J Meteor Soc Japan, 65(3): 373-390.
- Smith T M, Reynolds R W, Peterson T C, et al. 2008. Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880—2006). J Clim, 21(10): 2283-2296.