

程乘,朱益民,丁黄兴,等.中国东部地区夏季降水和环流的年代际转型及其与PDO的联系.气象科学,2017,37(4):450-457.
CHENG Cheng, ZHU Yimin, DING Huangxing, et al. The interdecadal shift of summer precipitation and atmospheric circulation over East China and its relationship with PDO. Journal of the Meteorological Sciences, 2017, 37(4): 450-457.

中国东部地区夏季降水和环流的年代际转型 及其与 PDO 的联系

程乘^{1,2} 朱益民² 丁黄兴³ 于斌¹ 马孝通¹

(1 解放军 95178 部队, 南宁 530226; 2 国防科技大学 气象海洋学院, 南京 211101; 3 解放军 95871 部队, 湖南 衡阳 421002)

摘要 利用 1951—2013 年全国 160 个测站逐月降水资料、NCEP/NCAR 月平均再分析资料和 NOAA 全球月平均海表温度等资料, 分析了中国东部地区夏季降水的年代际转型及相关大气环流变化。研究表明, 1970s 中后期和 1990s PDO 两次位相转换给中国东部地区夏季降水带来显著的年代际变化, 前者使得东亚夏季风进一步减弱, 夏季雨带南退至长江中下游地区, 后者使得东亚夏季风恢复增强, 雨带北移至淮河流域。进一步研究发现, 1990s PDO 年代际突变导致东亚夏季大气环流场发生显著变化, 贝加尔湖地区增暖导致向北的经向温度梯度增大以及副热带高压的东退北抬是导致 1990s 东部地区夏季降水年代际变化的可能原因。

关键词 夏季降水; 年代际气候转型; 1990s 后期

分类号: P466

doi: 10.3969/2016jms.0023

文献标识码: A

The interdecadal shift of summer precipitation and atmospheric circulation over East China and its relationship with PDO

CHENG Cheng^{1,2} ZHU Yimin² DING Huangxing³ YU Bin¹ MA Xiaotong¹

(1 Unit 95178 of PLA, Nanning 530226, China;

2 School of Meteorology and Oceanography, National University of Defense Technology, Nanjing 211101, China;

3 Unit 95871 of PLA, Hunan Hengyang 421002, China)

Abstract By using the monthly precipitation data from 160 observational stations of China during 1951–2013, the monthly mean NCEP/NCAR reanalysis data and global monthly mean Sea Surface Temperature (SST) data from NOAA, the interdecadal shift and related atmospheric circulation variation of summer precipitation over eastern China were investigated. Results show that the Pacific Decadal Oscillation (PDO) had two interdecadal shifts in the mid and late 1970s and the late 1990s. The former one caused the further weakening of East Asia Summer Monsoon (EASM) and the southward moving to the middle and lower reaches of Yangtze River of summer rain belt. On the contrary, the latter one led to the recovery of EASM, so that the summer rain belt can be moved northward to the reaches of Huai River. The further study finds that the atmospheric circulation of East Asia has changed dramatically after the PDO shift in the late 1990s, moreover, the warming over Lake Baikal and the eastward and northward moving of West Pacific Subtropical High (WPSH) are the possible causes for the interdecadal precipitation change.

收稿日期 (Received): 2016-01-24; 修改稿日期 (Revised): 2016-03-29; 网络出版日期 (Published on-line): 2017-8-31

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1243.P.20170831.1148.028.html>

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106017); 国家自然科学基金(41330420)

通信作者 (Corresponding author): 朱益民 (ZHU Yimin). zhuyim@21cn.com

Key words Summer precipitation; Interdecadal climate shift; The late 1990s

引 言

年代际气候变化不仅能对区域气候异常造成深远影响,而且对年际气候预测具有重要意义。我国地处东亚季风区,东亚季风的年代际振荡会直接影响夏季风雨带的分布形势,进而改变我国年代际降水的分布格局。

通常,东亚夏季风偏强年我国夏季雨带偏北,降水呈现“北涝南旱”的分布形势;而东亚夏季风偏弱年雨带偏南,降水呈现“南涝北旱”的分布形势^[1]。对于东亚夏季风的年代际变化,已有的研究表明,东亚夏季风在 1960s 中和 1970s 末有两次明显的年代际减弱,导致季风雨带由华北地区回落到长江中下游地区^[2,3]。最近有学者指出 1990s 末以来东亚夏季风开始恢复增强,导致我国夏季雨带北移,造成淮河流域夏季降水增加而长江流域夏季降水减少^[4]。这种降水趋势的变化对未来我国夏季旱涝分布的预测具有重要意义,值得进一步研究。

东亚夏季风的年代际变化与海温的年代际变化息息相关。太平洋年代际振荡(Pacific Decadal Oscillation, PDO)是海洋中最强的年代际信号,它是北太平洋海表面温度“类 ENSO”形态的长生命史的气候变率^[5],年代际时间尺度上包含准 20 a 和准 50 a 两个模态,并有沿北太平洋海盆做顺时针旋转的特征^[6]。北太平洋海温在 1990s 共发生 4 次年代际突变,分别是 1924/1925 年、1945/1946 年、1977/1978 年和 1999/2000 年,并对北太平洋洋及周边海域渔业资源和海洋生态环境造成了深远影响^[4,7]。其中,1977/1978 年 PDO 由冷位相向暖位相的年代际突变,对应着东亚夏季风的年代际减弱,从而导致夏季雨带偏南,中国夏季降水由“北多南少”转换为“南多北少”。而 1990s 末 PDO 由暖位相转为冷位相,这次位相转换将如何影响东亚地区大气环流的变化?与中国东部地区夏季气候的年代际转型有什么联系?这些是本文重点讨论的内容。

1 资料和方法

本文所用的降水资料取自中国气象局整编的 1951—2013 年 160 站逐月降水资料;大气环流资料为美国国家环境预报中心和大气研究中心(NCEP/NCAR)1951—2013 年逐月再分析资料,包括位势高度场、水平风场、垂直运动场等变量,分辨率为 2.5°

$\times 2.5^\circ$;海温资料取自美国国家海洋与大气局(NOAA)发布的 1951—2013 年月平均海表面温度资料,分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$;PDO 指数来自 <http://www.jisao.washington.edu/pdo/PDO>,时间范围为 1951—2012 年。

为提取原始资料中的年代际分量,本文采用 Gauss 9 a 滤波器和 11 a 滑动平均法滤去原始资料中年际时间尺度的气候变率。本文使用的分析方法主要为合成分析、相关分析、经验模态分解(EMD)和 EOF 分解。

2 PDO 与东亚夏季风的年代际变化

2.1 PDO 冷暖位相的年代际转换

PDO 指数的正负变化可以代表 PDO 冷暖位相的转换,图 1 给出了 PDO 指数的标准化时间序列,从图中可以看出,PDO 不仅有年际变化,还有显著的年代际变化,其中 1951—1976 年时间序列主要为负值,1977—1998 年时间序列主要为正值,1999—2012 年时间序列主要为负值。1970s 中后期 PDO 发生了由冷位相到暖位相的转换,已有许多研究表明,这次年代际突变对东亚大气环流和中国区域气候都产生了深远影响^[8]。从图中不难发现,最近 PDO 发生了由暖位相向冷位相的年代际突变,转折年出现在 1990s 末。

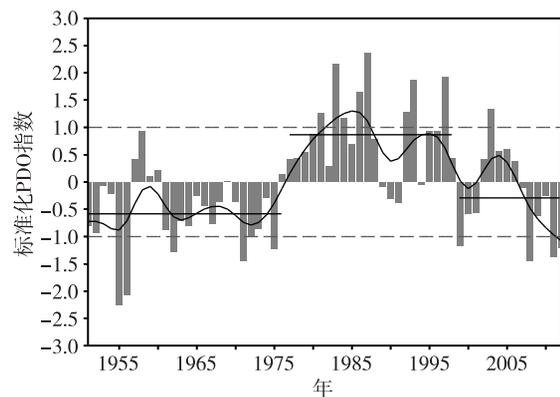


图 1 PDO 指数的标准化时间序列曲线为 9 a Gauss 滤波的结果; 直实线表示年代际平均值;虚线表示标准差为 $\pm 1\sigma$
Fig.1 Time series of PDO indexes as a result of the 9-year Gauss Filter analysis; the straight full line indicates the interdecadal average value; the dash line indicates the standard deviation $\pm 1\sigma$

2.2 东亚夏季风强度的年代际变化

为了清楚地刻画东亚夏季风强度的年代际变化,图 2 分别给出了两种定义下的东亚夏季风强度指数,其中图 2a 将 ($20 \sim 30^\circ \text{N}$, $110 \sim 130^\circ \text{E}$)

850 hPa 经向风区域平均值定义为夏季风指数^[9],用来描述海陆动力差异。图 2b 将 110 °E 与 160 °E 之间的海平面气压差定义夏季风指数^[10],用来描述海陆热力差异。两种指数的相关系数达到了 0.72,说明这两种指数能较好体现由于海陆热力及动力差异

引起的东亚夏季风的变化。两图均清楚地描述了 1960s 中和 1970s 末的两次年代际减弱,此外,在 1999 年 PDO 由暖位相转为冷位相以后,东亚夏季风指数都在增大,表明东亚夏季风有恢复增强的趋势,有利于中国东部地区夏季雨带北移。

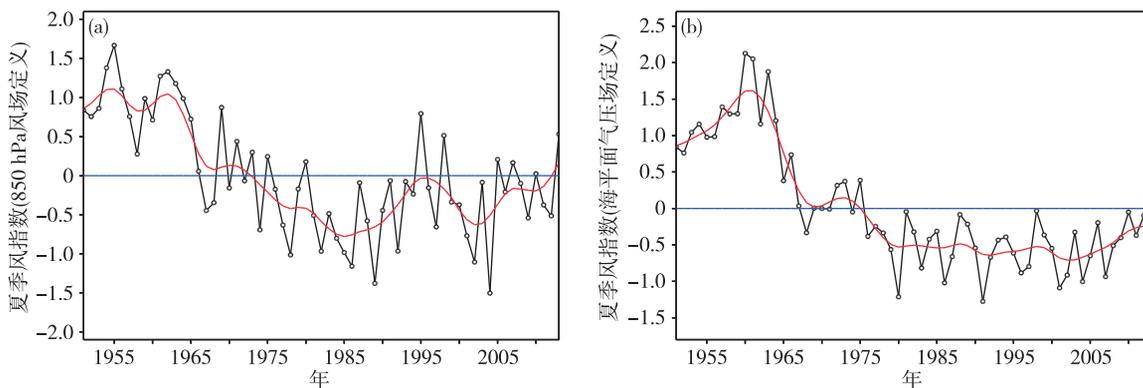


图 2 1951—2013 年东亚夏季风指数:
(a) 850 hPa 风场定义;(b) 海平面气压场定义(曲线为 9 a Gauss 滤波后的结果)

Fig.2 Time series of East Asian summer monsoon index of 1951—2013:
(a) Index defined by 850 hPa wind;(b) Index defined by sea layer pressure(The curve indicates the 9-year Gauss Filter result)

2.3 东亚夏季风年代际变化与 PDO 的关系

将图 2b 中用海平面气压差定义的东亚夏季风指数进行 EMD 分解,得到结果如图 3 所示。图中 *signal* 表示东亚夏季风指数的原始序列,*imf1* 和 *imf2* 表示准 2~9 a 的年代际变化的分量,*imf3* 表示准 20 a 的振动,*imf4* 表示 60~80 a 的振动,*imf3* 和 *imf4* 均为年代际变化的分量,*R_{es}* 表示趋势项。EMD 分解得到的年际与年代际周期与丁一汇用中国 123 a (1880—2002 年)的资料分析的结果一致^[11]。从结果可以发现,东亚夏季风不仅有年际变化,还存在明显的年代际变化,这可能通过海气相互作用导致中

国东部夏季降水的年代际变化。

图 4 给出了东亚夏季风指数与 PDO 指数的年代际变化。其中实线为东亚夏季风指数 EMD 分解后年代际模态 IMF 分量的合成,用来表示东亚夏季风的年代际变化,点虚线为 PDO 指数 EMD 分解后年代际模态 IMF 分量的合成,用来表示北太平洋海温的年代际变化,两者的相关系数达到了 -0.63,可以通过 $\alpha=0.01$ 的信度检验,说明二者存在较好的反相关关系。从图中可以看出,1970s 初东亚夏季风指数由正转负,东亚夏季风开始逐渐减弱,紧接着 1970s 末 PDO 发生了年代际突变,PDO 指数由负转正。20 世纪末,东亚夏季风指数与 PDO 指数几乎同时发生了位相转换,东亚夏季风指数由负转正,

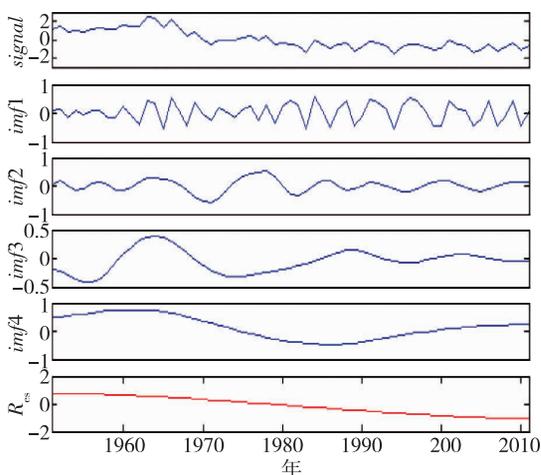


图 3 东亚夏季风指数的 4 个 IMF 模态及趋势
Fig.3 Four IMF modes and trend of East Asian summer monsoon index

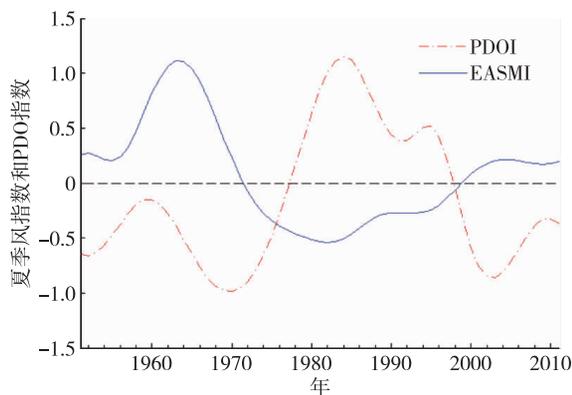


图 4 东亚夏季风指数与 PDO 指数的年代际变化
Fig.4 Interdecadal change of East Asian summer monsoon index and PDO index

PDO 指数由正转负,这说明 PDO 在 20 世纪末的年代际变化可能导致东亚夏季风的恢复增强,从而引起中国东部夏季降水的年代际转型。

3 中国东部地区夏季降水的年代际变化

3.1 中国东部地区夏季年代际降水距平场的空间分布

为检验 PDO 对中国降水的影响,本文根据 PDO 冷暖位相年代际转换时间将降水分成 1951—1976 年、1977—1998 年和 1999—2013 年 3 个时段进行合成分析。图 5 表示 PDO 不同位相时期中国东部地区夏季降水距平分布的年代际变化。1951—1976 年中国东部夏季降水距平(图 5a)呈现由北至南“+、-、+”的经向三极子分布形势,即华北和华南地区降水显著偏多,长江中下游地区降水显著偏少;在

1976/1977 年 PDO 由冷位相转为暖位相以后,1977—1998 年中国东部夏季降水距平(图 5b)分布发生了相反的改变,分布形势变为由北至南“-、+、-”的经向三极子分布,即华北和华南地区降水显著偏少,长江中下游地区降水显著偏多,黄荣辉等^[12]认为这是夏季降水第一主模态年代际变化的结果;1990s 末 PDO 由暖位相转为冷位相,中国东部夏季降水距平(图 5c)呈现由北至南“-、+、-、+”的经向分布,即华北地区降水显著偏少,淮河流域降水显著偏多,长江中下游地区降水显著偏少,华南地区降水显著偏多。此外,从图 5c 可看出,之前处于降水极大值区域的长江中下游地区目前是降水负距平分布,中国东部地区夏季降水雨带已北移至淮河流域,这可能是由于东亚夏季风增强导致的。

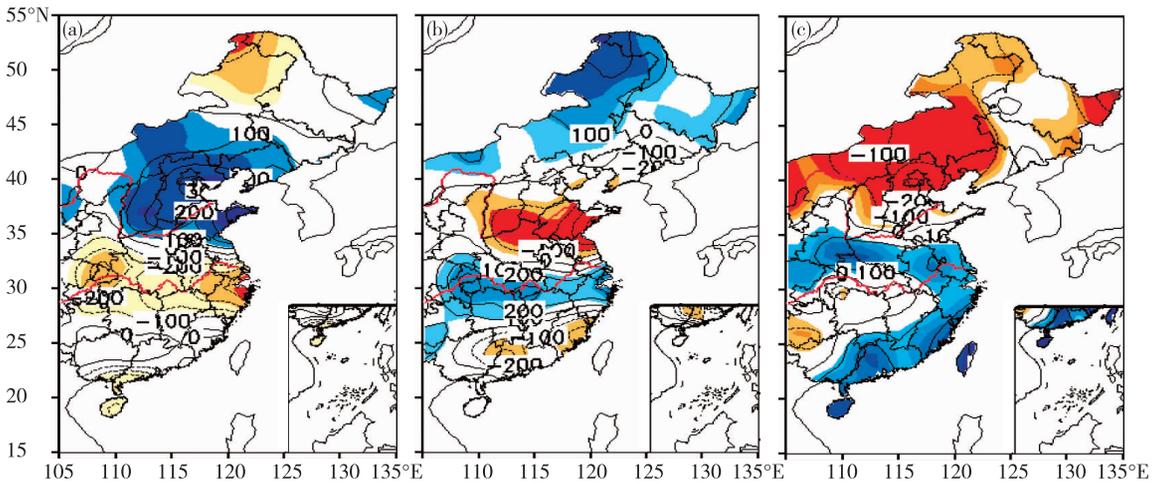


图 5 中国东部地区夏季降水距平的年代际变化(单位:mm;阴影区为通过 $\alpha=0.1$ 信度检验的区域):
(a) 1951—1976; (b) 1977—1998; (c) 1999—2013(气候平均态取 1951—2013 年平均)

Fig.5 Interdecadal change of summer precipitation anomalies over eastern China(unit:mm;shaded areas pass the 90% confidential level):
(a) 1951—1976; (b) 1977—1998; (c) 1999—2013 (Climate average is defined from 1951 to 2013)

从中国东部地区纬向平均夏季降水距平纬度-时间剖面图(图 6)可以看出,在 1951—1976 年 PDO 处于冷位相期间,中国东部地区夏季雨带主要位于 35°N 附近的黄河流域,华北和华南地区降水偏多,长江中下游地区降水偏少;1977—1998 年 PDO 处于暖位相期间,中国东部地区夏季雨带南落至 30°N 附近的长江中下游地区,其中 1977—1992 年表现为华北和华南夏季降水偏少的年代际特征,1993—1998 年表现为整个东部地区夏季降水一致偏多的分布特征,特别是华南地区的夏季降水量为 60 a 来的最高值。有研究指出,这可能与中国东部季风区夏季降水第二主模态作用增大,我国东部夏季降水异常为从南到北经向三极子型与偶极子型模态的结

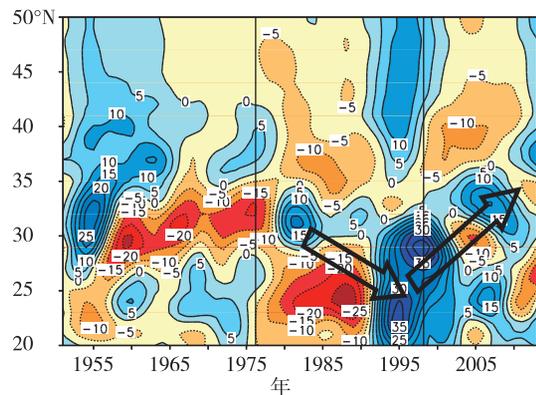


图 6 中国东部地区(105—122°E)9 a Gauss 滤波的纬向平均夏季降水距平纬度-时间剖面图(单位:mm)
Fig.6 Latitude-time profile of summer precipitation anomalies over eastern China(105—122°E) (unit:mm)

合,导致华南夏季降水明显增加有关^[12];1990s 末 PDO 冷暖位相转换之后,中国夏季雨带主要位于 32°N 附近的淮河流域,从近几年的结果看还有进一步北移的趋势,而长江中下游地区正在经历一次变干的过程,这对我国汛期降水预测具有重要的参考价值。

3.2 中国东部夏季降水距平场的 EOF 分解

将中国东部地区夏季降水距平场进行 EOF 分解,得到 3 种模态 EOF1、EOF2、EOF3,其方差贡献率分别为 14%、12.1% 和 6.7%,均通过了 North 准则检验^[13]。

已有学者^[10]对第一和第二模态进行过详细的描述和分析,本文结果与前人一致,故不再赘述,这里主要讨论之前并未引起重视的第三模态。EOF3 的空间模态(图 7a)表现为由北至南“+、-、+、-”的分布特征,从其对应的 11 a 滑动平均的时间系数

(图 7b)可以看出,1999 年之前时间系数以正值为主,对应夏季华北地区降水偏多,淮河流域降水偏少,长江中下游地区降水偏多,华南地区降水偏少。1999—2013 年期间时间系数主要为负值,对应夏季华北地区降水偏少,淮河流域降水偏多,长江中下游地区降水偏少,华南地区降水偏多。EOF3 主要体现了中国东部夏季降水在 1990s 末的年代际转型,这次转型的主要特征是长江中下游地区夏季降水减少,而淮河流域夏季降水偏多,即中国东部夏季雨带由长江流域北移至淮河流域。这与这一时期我国东部地区夏季降水分布的观测场(图 5c)完全一致,说明 EOF3 能较好刻画最近的年代际阶段东部地区夏季降水的年代际变化。另外,注意到 2010 年以来 EOF3 的时间系数有由负转正的趋势,可能预示着东部地区夏季降水雨带将继续北移至华北地区。

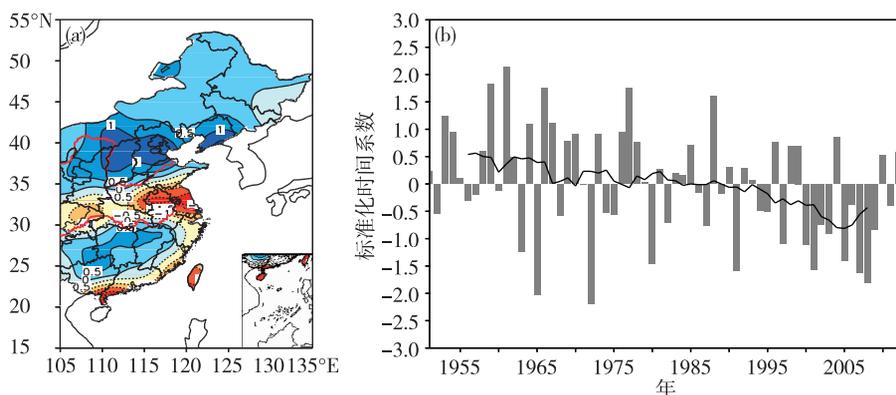


图 7 中国东部地区夏季降水距平场的 EOF 分解第三模态的空间分布及其标准化时间系数:
(a)空间分布;(b)时间系数(黑色实线表示 11 a 滑动平均值)

Fig.7 EOF3 spatial mode and time coefficient of summer precipitation anomalies over eastern China:
(a)spatial mode;(b)time coefficient(Black full line indicates the 11 a moving average)

4 中国东部夏季降水年代际变化的海气异常型

4.1 北太平洋夏季海表面温度距平场

图 8 给出了 1951—1976、1977—1998 和 1999—2012 年夏季平均的北太平洋海表面温度距平场。从图 8a 可以看出,1951—1976 年期间北太平洋中部地区海温显著偏暖,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温显著偏冷,赤道西太平洋海温显著偏冷,具有 PDO 冷位相的特征;从图 8b 可以看出,1977—1998 年期间海温场的分布与前一个阶段刚好相反,北太平洋中部地区海温显著偏冷,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温显著偏暖,赤道西太平洋海温显著偏暖,具有 PDO 暖位相的分布特征;从图 8c 可以看

出,1999—2012 年期间北太平洋海表面温度分布出现了明显的年代际变化,具有 PDO 冷位相的分布特征,即北太平洋中部地区海温显著偏暖,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温显著偏冷,此外,这一时期赤道西太平洋海温显著偏暖,这有别于 1951—1976 年 PDO 冷位相时期赤道西太平洋的海温分布特征,可能通过影响东亚夏季风环流导致中国东部地区夏季降水发生年代际变化。龚志强等^[14]的研究表明,1999—2009 年赤道西太平洋海温偏暖可能导致中国东部地区的降水呈现出“-、+、-、+”的分布特征。

4.2 东亚地区夏季海陆表面温度距平场

东亚夏季风的强弱与海陆热力差异密切相关^[15],图 9 给出了 PDO 不同位相阶段东亚地区夏

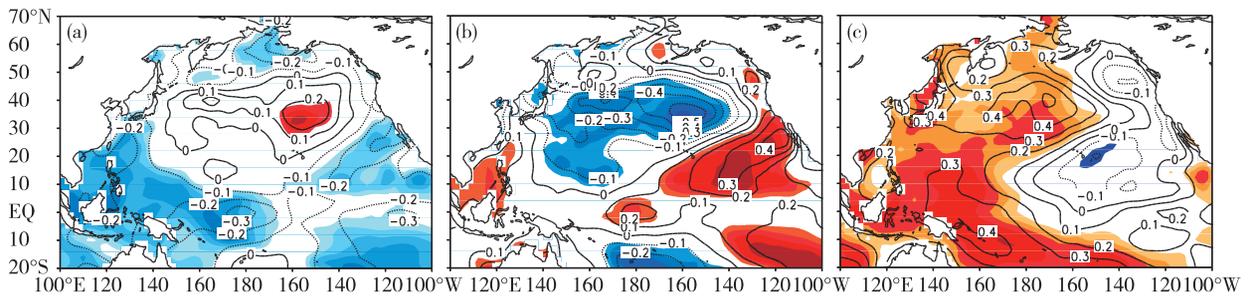


图 8 夏季平均的北太平洋海表面温度距平图(单位:℃;阴影区为通过 $\alpha=0.05$ 信度检验的区域):
(a) 1951—1976; (b) 1977—1998; (c) 1999—2012

Fig.8 Summer SST anomalies of North Pacific(unit: ℃; shaded areas pass the 95% confidential level):
(a) 1951—1976; (b) 1977—1998; (c) 1999—2012

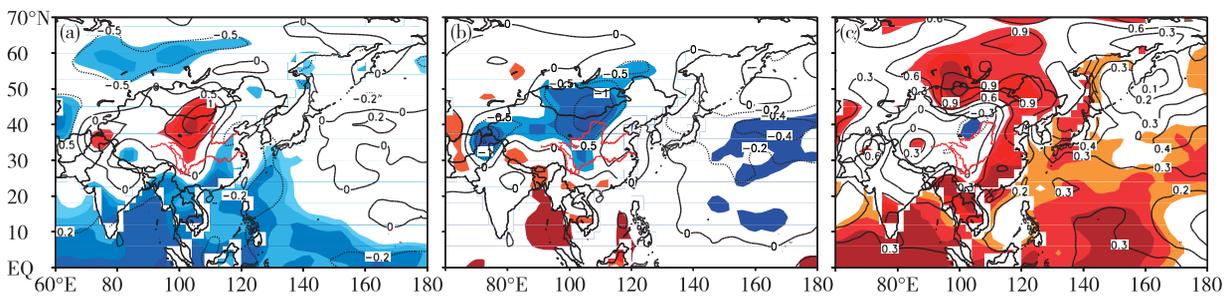


图 9 夏季平均的东亚地区海陆表面温度距平图(单位:℃):

(a) 1951—1976; (b) 1977—1998; (c) 1999—2012(阴影区为通过 $\alpha=0.05$ 信度检验的区域)

Fig.9 Summer SST and land surface temperature anomalies over East Asia
(unit: ℃;shaded areas pass the 95% confidential level): (a) 1951—1976; (b) 1977—1998; (c) 1999—2012

季平均的海陆表面温度距平场。从图 9a 可以看出,在 1951—1976 年期间,贝加尔湖以南的内蒙古地区显著偏暖,东亚地区陆地表面温度偏暖,南海及孟加拉湾地区海温显著偏冷,中国东部地区有向北的温度梯度,这可能导致东亚夏季风增强,中国东部夏季雨带偏北。相反,在 1977—1998 年期间(图 9b),贝加尔湖以南的内蒙古地区显著偏冷,东亚地区陆地表面温度偏冷,南海及孟加拉湾地区海温显著偏暖,中国东部地区有向南的温度梯度,可能导致东亚夏季风减弱,中国东部夏季雨带偏南。1999—2012 年期间(图 9c),贝加尔湖以南的蒙古地区存在两个暖中心,其较 1951—1976 年期间位置偏北,强度偏弱,东亚地区陆地表面温度偏暖,南海及孟加拉湾地区海温虽然显著偏暖,但增温幅度远不及陆地表面温度,中国东部地区有向北的温度梯度,可能导致东亚夏季风增强,中国东部夏季雨带北移。

4.3 夏季 500 hPa 位势高度场

西太平洋副热带高压是影响我国夏季气候的主要天气系统,它的北抬南落、西伸东退能改变东亚夏季风的强弱,进而影响中国东部地区夏季雨带的位置。图 10 给出了年代际合成的西太平洋副热带高压 5 860 线的位置变化。从图中可以清楚地看出,

1951—1976 年副热带高压较气候平均态西脊点偏东,面积偏小,有利于夏季风偏强,造成长江中下游夏季降水偏少而华北和华南地区夏季降水偏多。1977—1998 年副热带高压较气候平均态西脊点偏西,面积明显增加,副热带高压控制中国华南地区,暖湿气流沿副热带高压边缘北上在长江中下游地区凝结形成降水,造成长江中下游地区夏季降水偏多,华北与华南地区夏季降水偏少。1999—2012 年期间,较 1977—1998 年东退北抬,面积减少,有利于东亚夏季风增强,使得中国东部地区夏季雨带进一步

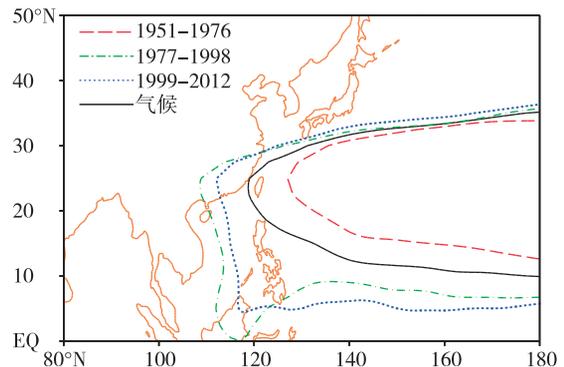


图 10 夏季 500 hPa 5 860 线位置的年代际变化
Fig.10 Interdecadal change of summer 500 hPa height

向北推进。但可以看到,与气候平均态和 1951—1977 年相比,副热带高压仍然偏西,面积偏大。因此,东亚夏季风的恢复是一个渐进的过程,夏季风的强度未能达到 1978 年之前的强度。

5 我国东部夏季降水年代际转型的成因分析

以上的分析表明,我国东部夏季降水的年代际转型与 PDO 的年代际位相转换存在紧密的联系,其可能物理机制如图 11 所示。1970s 末之前, PDO 位于冷位相,北太平洋中部海温偏暖,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温偏冷,西太平洋海温偏冷,贝加尔湖以南陆地表面温度偏暖,导致向北的经向温度梯度增大,副热带高压东退北抬,东亚夏季风恢复增强,中国东部地区夏季雨带北移。

度增大,副热带高压偏弱偏东,进一步导致东亚夏季风偏强,我国东部地区夏季雨带偏北。1970s 末—1990s 末, PDO 位于暖位相,北太平洋中部海温偏冷,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温偏暖,西太平洋海温偏暖,贝加尔湖以南陆地表面温度偏冷,导致向北的经向温度梯度减小,副热带高压偏强偏西,进一步导致东亚夏季风偏弱,我国东部地区夏季雨带偏南。1990s 末, PDO 由暖位相转为冷位相,北太平洋中部海温偏暖,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温偏冷,西太平洋海温偏暖,贝加尔湖以南地区偏暖且陆面增温强于海面增温,导致向北的经向温度梯度增大,副热带高压东退北抬,东亚夏季风恢复增强,中国东部地区夏季雨带北移。

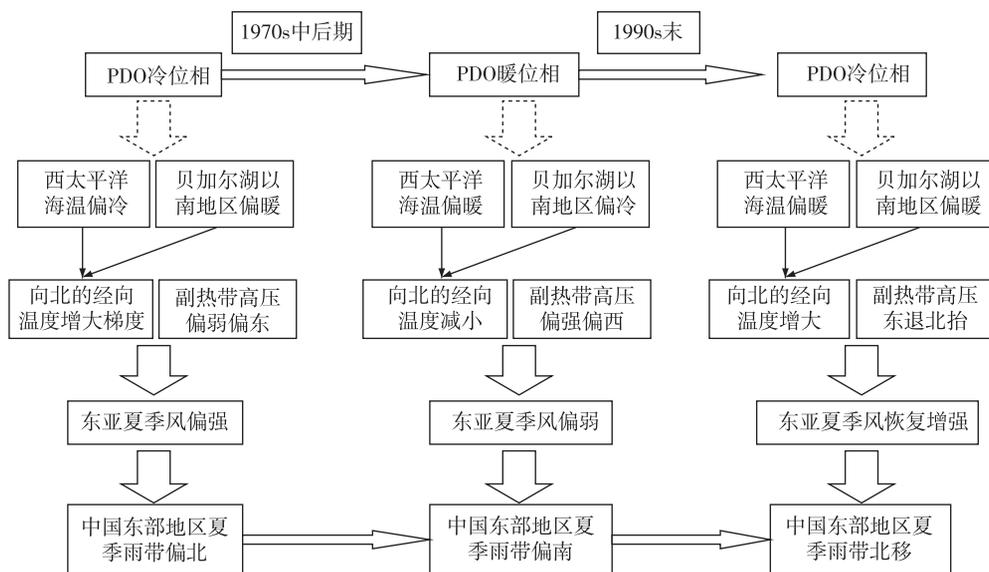


图 11 PDO 位相转换与我国东部夏季降水年代际变化的关系

Fig.11 Possible relationship between PDO and interdecadal change of summer precipitation over East China

6 结论与讨论

本文利用 1951—2013 年中国 160 站逐月降水资料、NCEP/NCAR 逐月再分析资料、NOAA 海表面温度资料和 PDO 指数等资料,采用 EOF 分解、EMD 分解、合成分析和相关分析等方法,结合 PDO 冷暖位相的年代际突变,揭示了 1990s 末中国东部地区夏季降水场的年代际转型及相关的海气异常型,结果表明:

(1) 中国东部地区夏季降水距平场 EOF 分解的结果表明, EOF 第三模态主要体现了 1999—2013 年中国东部夏季降水的年代际变化,即长江中下游地区夏季降水减少正在经历一个变干的过程,而淮河流域夏季降水偏多,并且中国东部夏季雨带有进一

步北进的趋势。

(2) 通过分析两种定义的东亚夏季风指数,发现不管从海陆热力差异还是海陆动力差异上看,东亚夏季风都在 1990s 末开始恢复增强。进一步对东亚夏季风指数及 PDO 指数进行 EMD 分解发现,东亚夏季风在 1990s 和 1990s 的两次年代际突变与 PDO 的两次位相转换关系比较密切,说明 PDO 可能通过海气相互作用改变东亚夏季风的强弱,进而影响中国东部地区的夏季气候异常。

(3) 近 63 a 以来,伴随着 PDO 的两次年代际位相转变,中国东部夏季降水场发生了显著的年代际变化,我国东部夏季降水的年代际转型与 PDO 的年代际位相转换密切相关,其可能物理机制为:1951—1976 年, PDO 处于冷位相,北太平洋中部海温偏暖,

北美沿岸以及赤道中东太平洋海温偏冷,西太平洋海温偏冷,贝加尔湖以南陆地表面温度偏暖,导致向北的经向温度梯度增大,副热带高压偏弱偏东,进一步导致东亚夏季风偏强,造成长江中下游地区夏季降水偏少,华北和华南夏季降水偏多。1977—1998年, PDO 转为暖位相,北太平洋中部海温偏冷,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温偏暖,西太平洋海温偏暖,贝加尔湖以南陆地表面温度偏冷,导致向北的经向温度梯度减小,副热带高压脊点偏西,面积偏大,强度偏强,并控制整个华南地区,进一步导致东亚夏季风偏弱,造成长江中下游地区夏季降水偏多,而华北和华南夏季降水偏少。1999—2013年, PDO 转为冷位相,北太平洋中部海温偏暖,北美沿岸以及赤道中东太平洋海温偏冷,西太平洋海温偏暖,贝加尔湖以南地区偏暖且陆面增暖幅度大于海面增暖幅度,导致向北的经向温度梯度增大,加之副热带高压东退北抬,强度减弱,进一步导致东亚夏季风恢复增强,造成淮河流域夏季降水偏多,而长江中下游地区降水减少,中国东部地区夏季雨带出现北移趋势。

由于东亚季风与中国气候变化联系密切,关于东亚季风的变化及预测成为全世界气象学家关注的焦点,而 PDO 也是影响东亚季风年代际变化的重要因子之一,尽管前人已对太平洋海温年代际异常及 PDO 的形成机理做了大量工作,但 PDO 的形成机制至今仍不清楚, PDO 如何通过影响东亚季风的变化引起中国东部地区春夏季气候年代际异常值得深入研究。

参 考 文 献

- [1] 卢明,谭桂容,陈海山,等. 江淮夏季降水异常与西印度洋地区大气环流异常的关系. 气象科学, 2013, 33(5): 510-518.
LU Ming, TAN Guirong, CHEN Haishan, et al. The relationship between summer rainfall anomalies in Yangtze-Huaihe valley and atmospheric circulation anomalies over western Indian Ocean. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2013, 33(5): 510-518.
- [2] 丁一汇,孙颖,刘芸芸,等. 亚洲夏季风的年际和年代际变化及其未来预测. 大气科学, 2013, 37(2): 253-280.
DING Yihui, SUN Ying, LIU Yunyun, et al. Interdecadal and interannual variabilities of the Asian summer monsoon and its projection of future change. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2013, 37(2): 253-280.
- [3] 王会军,范可. 东亚季风近几十年来的主要变化特征. 大气科学, 2013, 37(2): 313-318.
WANG Huijun, FAN Ke. Recent changes in the East Asian monsoon. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2013, 37(2): 313-318.
- [4] ZHU Yali, WANG Huijun, WEN Zhou, et al. Recent changes in the summer precipitation pattern in East China and the background circulation. Climate Dyn., 2011, 36(7-8): 1463-1473.
- [5] 何鹏程,江静. PDO 对西北太平洋热带气旋活动与大尺度环流关系的影响. 气象科学, 2011, 31(3): 266-273.
HE Pengcheng, JIANG Jing. Effect of PDO on the relationships between large scale circulation and tropical cyclone activity over the western North Pacific. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 2011, 31(3): 266-273.
- [6] 咸鹏,李崇银. 北太平洋海温变化的年代际模及其演变特征. 大气科学, 2003, 27(5): 861-868.
XIAN Peng, LI Chongyin. Interdecadal modes of sea surface temperature in the North Pacific Ocean and its evolution. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2003, 27(5): 861-868.
- [7] DONG Buwen, LU Riyu. Interdecadal enhancement of the walker circulation over the Tropical Pacific in the late 1990s. Adv. Atmos. Sci., 2013, 30(2): 247-262.
- [8] 宇如聪,周天军,李建,等. 中国东部气候年代际变化三维特征的研究进展. 大气科学, 2008, 32(4): 893-905.
YU Rucong, ZHOU Tianjun, LI Jian, et al. Progress in the studies of three-dimensional structure of interdecadal climate change over eastern China. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2008, 32(4): 893-905.
- [9] ZHANG Renhe, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events. J. Meteor. Soc. Japan, 1996, 74(1): 49-62.
- [10] 郭其蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析. 地理学报, 1983, 38(3): 207-217.
GUO Qiyun. The summer monsoon intensity index in East Asia and its variation. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 1983, 38(3): 207-217.
- [11] DING Yihui, WANG Zunya, SUN Ying. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I. Observed evidences. Inter. J. Climatol., 2008, 28(9): 1139-1161.
- [12] 黄荣辉,陈际龙,刘永. 我国东部夏季降水异常主模态的年代际变化及其与东亚水汽输送的关系. 大气科学, 2011, 35(4): 589-606.
HUANG Ronghui, CHEN Jilong, LIU Yong. Interdecadal variation of the leading modes of summertime precipitation anomalies over Eastern China and its association with water vapor transport over East Asia. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2011, 35(4): 589-606.
- [13] North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function. Mon. Wea. Rev., 1982, 110(7): 699-706.
- [14] 龚志强,赵俊虎,封国林. 中国东部 2012 年夏季降水及年代际转型的可能信号分析. 物理学报, 2013, 62(9): 099205.
GONG Zhiqiang, ZHAO Junhu, FENG Guolin. Analysis of the summer precipitation of 2012 in East China and its possibility of decadal shift. Acta Physica Sinica (in Chinese), 2013, 62(9): 099205.
- [15] ZHOU Tianjun, ZOU Liwei. Understanding the predictability of East Asian summer monsoon from the reproduction of land-sea thermal contrast change in AMIP-type simulation. J. Climate, 2010, 23: 6009-6026.