

伯忠凯,胡桂芳,徐玮平.山东5月降水异常环流型及其与海温异常的联系[J].海洋气象学报,2021,41(2):119-125.
BO Zhongkai, HU Guifang, XU Weiping. The circulation pattern of precipitation anomaly in May in Shandong and its relation with SST anomaly [J]. Journal of Marine Meteorology, 2021, 41 (2) : 119- 125. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.02.012. (in Chinese)

山东5月降水异常环流型及其与海温异常的联系

伯忠凯^{1,2}, 胡桂芳^{1,2}, 徐玮平^{1,2}

(1.山东省气象防灾减灾重点实验室,山东 济南 250031;2.山东省气候中心,山东 济南 250031)

摘要: 利用1981—2019年NCEP/NCAR再分析资料和观测降水资料,对山东5月降水多(少)雨年环流特征进行分型,分析前期海温影响大气环流进而影响降水的过程。结果表明:典型多(少)雨年,亚洲中高纬环流呈“-、+”(“+、-”)距平分布,盛行纬(经)向环流,东亚大槽偏弱(强)。前期冬春季黑潮区和热带印度洋海温是影响山东5月降水的关键外强迫因子,黑潮区海温偏暖(冷)时,其上空500 hPa高度场为明显正(负)距平,低层风场呈现异常反气旋(气旋),山东受异常东南风(偏西风)控制,加强(削弱)了水汽输送,利于降水偏多(少)。热带印度洋偏暖年,山东地区500 hPa高度场上表现为西低东高,低层处于异常反气旋后部的东南气流中,这与典型多雨年的环流特征基本一致,印度洋偏冷年对应环流特征与偏暖年大致相反。

关键词: 山东5月降水;异常环流型;黑潮区海温;热带印度洋海温

中图分类号: P461.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2021)02-0119-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2021.02.012

The circulation pattern of precipitation anomaly in May in Shandong and its relation with SST anomaly

BO Zhongkai^{1,2}, HU Guifang^{1,2}, XU Weiping^{1,2}

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, China; 2. Shandong Climate Center, Jinan 250031, China)

Abstract Using the NCEP/NCAR Reanalysis and observed precipitation data from 1981 to 2019, the circulation characteristics of more (less) rainfall year in May in Shandong are classified, and the process of previous sea surface temperature (SST) affecting atmospheric circulation and further affecting precipitation is analyzed. The results show that in the typical more (less) rainfall year, the distribution of mid-high latitudinal circulations in Asia is “-, +” (“+, -”). With dominated latitudinal (meridional) circulations, the east Asian trough is weak (strong). Early winter Kuroshio area and the tropical Indian Ocean SST are the key external forced factors that affects the precipitation in May. When the Kuroshio area SST is warm (cold), the 500 hPa height field is significant positive (negative) anomaly distribution, and the low-level wind field renders anomalous anti-cyclonic (cyclonic). Controlled by the southeast wind anomalies (westerly) in Shandong, the water vapor transport is strengthened (weakened), which is beneficial to more (less) precipitation. In a warm year of the tropical Indian Ocean, the 500 hPa height field in Shandong region is low in the west and high in the east, and the lower

收稿日期:2021-01-20; 修订日期:2021-03-17

基金项目:山东省气象局科研项目(2017sdqxm03, SDYBY2019-02, 2020SDQN03)

第一作者:伯忠凯,男,工程师,主要从事短期气候预测业务及研究工作,bozhongkai@163.com。

通信作者:胡桂芳,女,高级工程师,主要从事短期气候预测业务及研究工作,guifanghu2009@163.com。

layer is dominated by the southeast airflow behind the anomalous anticyclone, which is basically consistent with the circulation characteristics of a typical more rainfall year, while the circulation in a cold year of the Indian Ocean is roughly opposite.

Key words precipitation in May in Shandong; anomalous circulation pattern; SST in Kuroshio; SST of the tropical Indian Ocean

引言

以往对山东气候异常成因的研究主要集中在夏季,对夏季环流的异常及外强迫因子均有较多研究^[1-5],而对春季尤其是其中某个月的研究较为少见。已有研究^[6]表明,华北春季降水异常成因与夏季有所不同,夏季降水主要受西太平洋副热带高压西侧西南气流的影响,春季降水主要受东亚上空的异常环流影响。华北春季降水偏多时,东亚地区上空呈现异常反气旋环流,使得东亚大槽偏东、偏弱,造成我国东部地区出现南风异常,这种南风异常一直延伸到华北地区,为降水提供有利条件^[7-8]。5月正是北半球大气环流和天气气候开始重大调整的过渡期,同时又是春播作物苗期和冬小麦生长的关键时期,此时雨量多少对农业生产起着至关重要的作用^[9]。前人研究^[10]发现,全球气候模式对春季气候尤其是降水有明显的预报障碍。对山东而言,春季降水主要集中在5月,因此研究该月降水异常及其成因对提高降水预测水平有重要意义。因而,预从降水异常年的环流特征入手,分析导致环流异常的可能外强迫因子,以期找到降水趋势预测物理意义清晰的前兆。

1 资料与指数

所用降水资料来源于山东省气象信息中心的123个国家级气象观测站降水数据。NCEP/NCAR逐月再分析资料,包括位势高度场和风场,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。逐月海温资料来自美国国家海洋大气管理局(NOAA),水平分辨率为 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ 。海温指数资料来自国家气候中心气候监测指数集,包括热带印度洋全区一致海温模态指数(IOBW),定义为 $20^{\circ}S \sim 20^{\circ}N, 40^{\circ} \sim 110^{\circ}E$ 区域内,海面温度距平的区域平均值,黑潮区海温指数定义为 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}N, 125^{\circ} \sim 150^{\circ}E$ 区域内海面温度距平的区域平均值。所用资料时段均为1981—2019年,两个指数计算海温距平所减去的平均值为1981—2010年的常年值。

2 山东5月降水异常环流型

首先确定5月降水的异常年份,前人研究发现,全球大气和海洋系统在20世纪70年代末发生了一次明显的年代际突变^[11-13],因此对5月降水异常年的挑选时段定为1981—2019年。图1为山东5月降水距平逐年演变,可以看出降水存在显著的年际变化,但年代际变化不明显。1981年以来,降水最多出现在1985、1990年,偏多52.4 mm;最少出现在2012年,偏少49.1 mm。以降水距平标准化值大(小)于0.7作为偏多(少)年(图略),1981年以来共出现10个降水偏多年,分别为1985、1990、1997、1998、2002、2006、2008、2009、2013、2018年;10个降水偏少年,分别为1981、1986、1987、1989、1994、1996、2001、2012、2017、2019年。影响山东5月降水的主要天气系统是西风带系统,因此大气环流分型的原则主要参考欧亚中高纬500 hPa位势高度场,以亚洲为主。

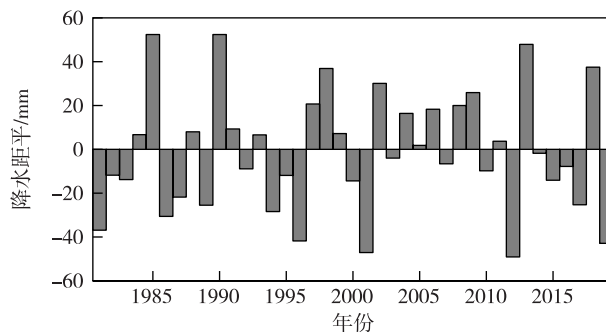


图1 1981—2019年山东5月降水距平逐年演变(单位: mm)

Fig.1 The precipitation anomaly in May in Shandong from 1981 to 2019 (units: mm)

10个多雨年中有7 a(1985、1998、2002、2006、2009、2013、2018年)表现为相似的环流型,图2a为7 a的500 hPa高度距平场合成。亚洲中高纬环流呈“-、+”距平分布,乌拉尔山到贝加尔湖以北地区为负距平,中心位于西西伯利亚平原,东亚沿岸为正距平,中心位于我国东北地区南部,反映亚洲中高纬槽脊较平均状态要弱,盛行纬向环流。东亚大

槽偏弱,意味着槽后偏北气流减弱,对应的下沉气流也减弱,有助于偏南气流带来较多的水汽^[7],利于山东降水偏多。其他环流型较为少见(图略),如1990年呈现“+、-、+”距平分布型,乌拉尔山到贝加尔湖为正距平,我国华北、东北南部地区为负距平,日本周围为正距平,利于来自东部海面的暖湿气流

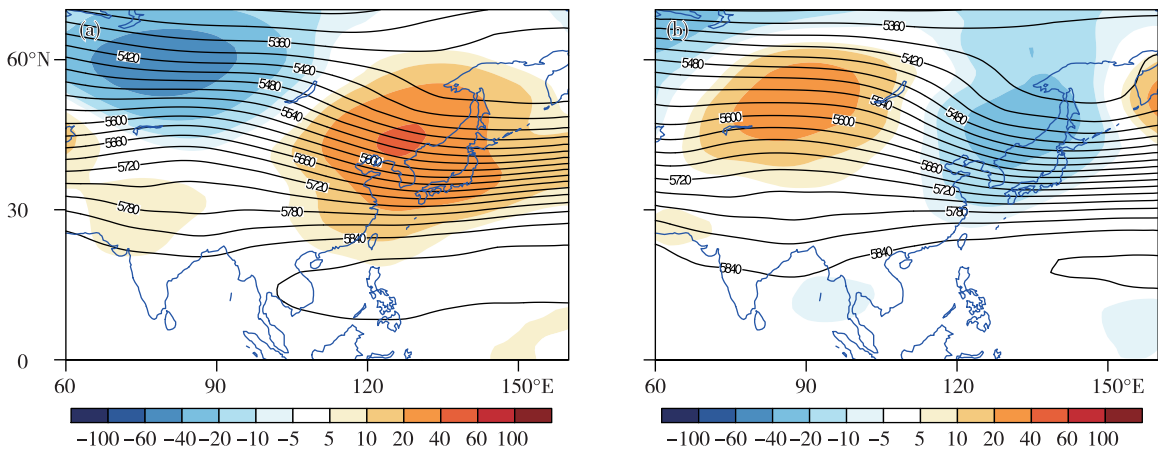


图2 山东5月典型多雨年(a)和少雨年(b)500 hPa位势高度场(等值线)及距平(色阶)合成(单位:gpm)

Fig.2 The composites of 500 hPa geopotential height field (contour) and anomaly (color scale) in typical more (a) and less (b) precipitation year in May in Shandong Province (units: gpm)

10个少雨年中有5 a(1981、1986、1989、1994、2001年)表现为与多雨年相反的环流形势,5 a的500 hPa高度场距平合成如图2b所示。亚洲中高纬环流呈“+、-”距平分布,东北、华北至日本为负距平控制,低值中心位于东北东部,乌拉尔山到贝加尔湖为正距平,巴尔喀什湖到贝加尔湖(以下简称“两湖”)之间为正距平中心。在这种环流形势控制下,亚洲中高纬盛行经向环流,东亚大槽偏强,不利于暖湿气流向北输送,造成山东降水偏少。其他环流分布型比较零散(图略),如2017年50°N以南地区均为正高度距平覆盖,大陆高压脊强盛,华东沿海为弱负距平区,山东因缺乏中高纬南下冷空气以及南方暖湿气流输送而降水偏少;1987年和2019年环流型虽为“-、+”距平分布,与多雨年环流型相近(图2a),但东亚沿岸的正距平和两湖之间的负距平均明显偏弱,影响山东的冷暖空气势力较弱从而导致降水偏少;1996年和2012年亚洲中高纬为“-、+、-”距平分布,山东受贝加尔湖脊前和东亚大槽后部的西北气流控制,造成降水偏少。

综上所述,亚洲中高纬环流呈“-、+”距平分布,盛行纬向环流,东亚大槽偏弱等特征为山东5月典型多雨年的环流型;典型少雨年的环流型正好相反,亚洲中高纬环流呈“+、-”距平分布,盛行经向

与华北、东北低槽带来的冷空气在山东相遇,导致降水偏多;1997年和2008年亚洲中高纬为“+、-”距平分布,与典型少雨年的环流形势相近(图2b),但东亚沿岸的负距平区较少雨年明显偏西,西伸至贝加尔湖地区,山东多受华北或东北冷涡(低槽)产生的对流性天气影响从而导致降水偏多。

环流,东亚大槽偏强。由于其他环流型比较少见,在后文与海温的关系中不做讨论。

3 典型多(少)雨年前期海温特征及影响分析

海温异常是影响大气环流异常的重要外强迫因子,为了寻求有预测意义的前兆,对典型多(少)雨年前期1—4月海温距平场进行合成分析,发现海温异常特征有较大差异。这里只给出1、4月的结果(图3)。差异最明显的区域首先位于黑潮区,多(少)雨年黑潮区海温持续偏暖(冷),且随着月份的临近呈逐渐加强北扩态势,以4月偏暖(冷)最为明显。其次为热带印度洋地区,多(少)雨年热带印度洋持续稳定的偏暖(冷),4月偏暖(冷)程度最强。北大西洋三极子在少雨年表现得比较突出,由南到北呈现为“-、+、-”的正位相特征;多雨年表现得非典型,表现为弱负位相的特征。ENSO作为年际气候预测最强信号,仅在少雨年的异常信号突出,表现为赤道中东太平洋呈现拉尼娜特征,且以1、2月表现比较突出。

由于4月黑潮区和热带印度洋的海温异常最明显,图4给出山东5月降水异常与前期4月海温的相关分布,显著正相关区大致位于黑潮区(25°~

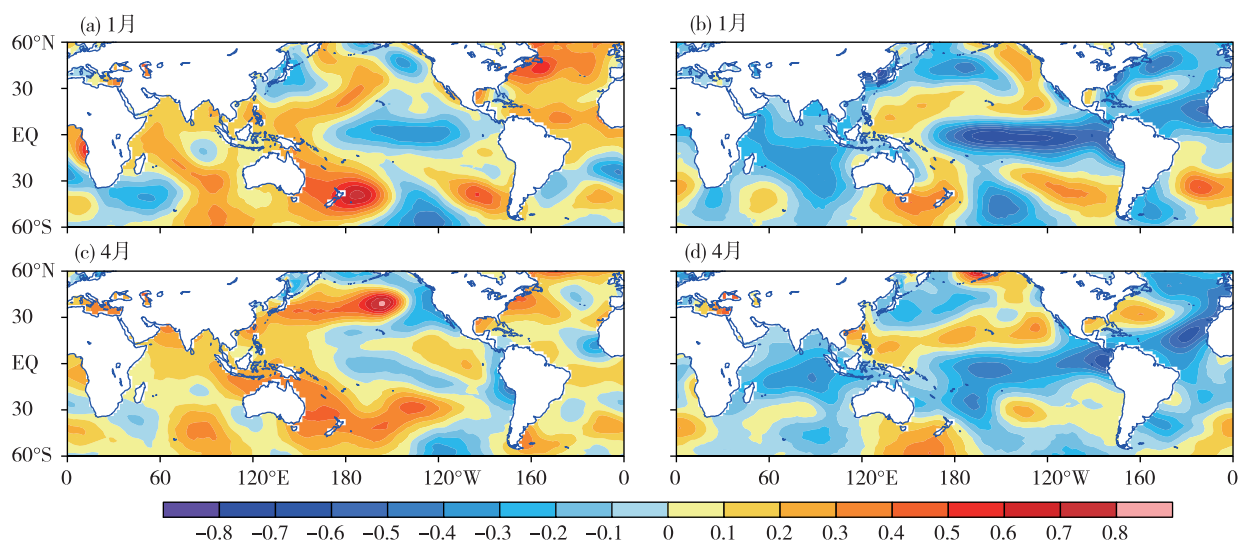


图3 典型多雨年(a,c)和少雨年(b,d)对应1月、4月海温距平(色阶,单位:°C)合成

Fig.3 The SST anomaly composites of the typical more (a/c) and less precipitation years (b/d) in January and April (color scale, units: °C)

40°N, 130°~160°E) 和热带印度洋(30°S~10°N, 60°~100°E), 这与合成分析的结果相吻合。综上所述, 前期黑潮区和热带印度洋海温异常是影响山东5月多(少)雨年的重要外强迫因子, 下文分析这两个关键海区海温影响东亚大气环流进而影响降水的过程。

3.1 黑潮区海温的影响

图5为1981—2019年4月黑潮区海温指数逐年演变, 可见, 黑潮区海温年际变化显著, 海温最高出现在1998年, 最低出现在1984年。2000—2010年, 黑潮区海温的变化较小。

进一步分析关键区海温与环流场的关系。图6为4月黑潮区海温指数与5月500 hPa高度场的相关, 我国东南部至西太平洋中纬度地区为显著正相

关, 表明前期黑潮区海温偏暖(冷)时, 该区域高度场易升高(降低), 对应东亚大槽易偏弱(强), 这与文献[14-15]中黑潮区暖(冷)时, 东亚大槽偏弱(强)的结论相一致。

据图5结果, 选择1981年以来4月黑潮区海温指数异常偏高的7 a(1983、1991、1998、1999、2015、2016、2018年)和偏低的7 a(1982、1984、1986、1993、1996、2011、2014年), 对其5月500 hPa高度场和850 hPa风场距平进行合成分析(图7)。差异最明显的区域是朝鲜半岛以东至太平洋的中纬度地区, 海温偏高(低)年, 黑潮区上空的500 hPa高度场为明显正(负)距平, 低层850 hPa异常反气旋(气旋), 山东为异常东南风(偏西风)控制, 加强(削弱)了水汽向山东的输送, 利于山东降水偏多(少)。

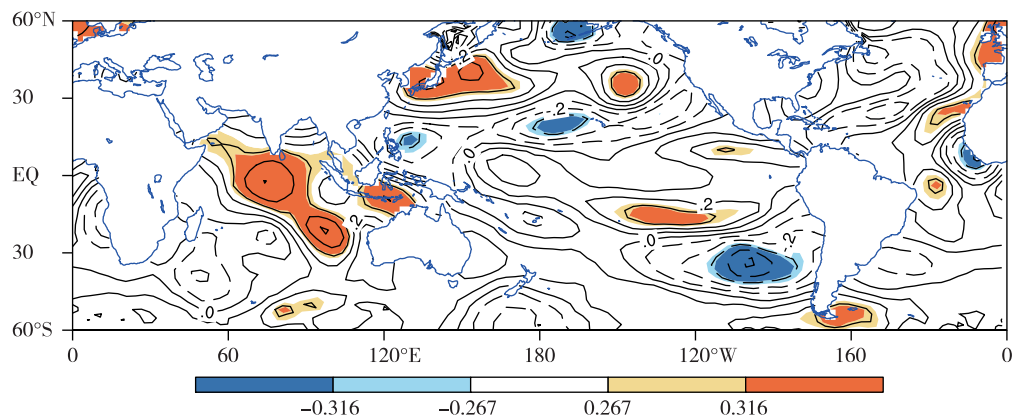


图4 山东5月降水异常与前期4月海温相关(填色区分别为通过0.1、0.05显著性水平检验的区域)

Fig.4 The correlation coefficient between precipitation anomaly in May in Shandong and SST in previous April (The colored areas have passed the significant level at 0.1 and 0.05 respectively)

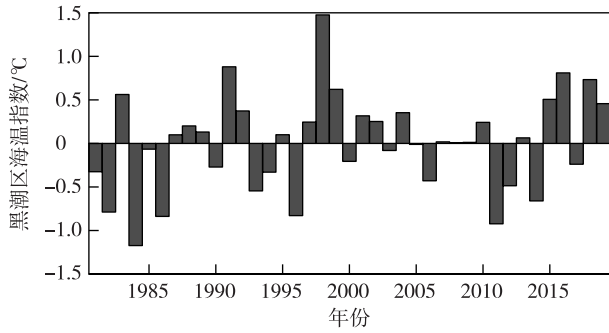


图 5 1981—2019 年 4 月黑潮区海温指数逐年演变 (单位:°C)

Fig.5 The Kuroshio region SST index in April from 1981 to 2019 (units:°C)

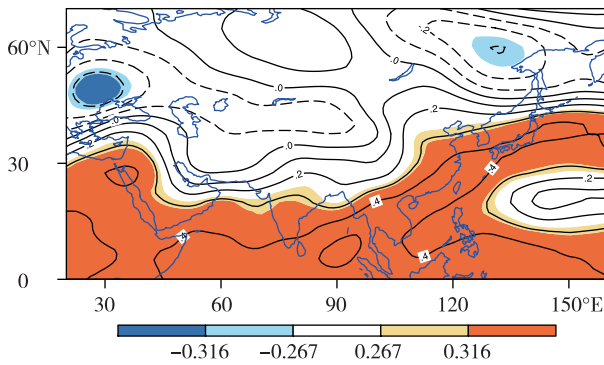


图 6 4 月黑潮区海温指数与 5 月 500 hPa 高度场相关 (填色区分别为通过 0.1、0.05 信度显著性检验的区域)

Fig.6 The correlation coefficient between the 500 hPa height field in May and SST index in the Kuroshio region in April (The colored areas have passed the significant level at 0.1 and 0.05 respectively)

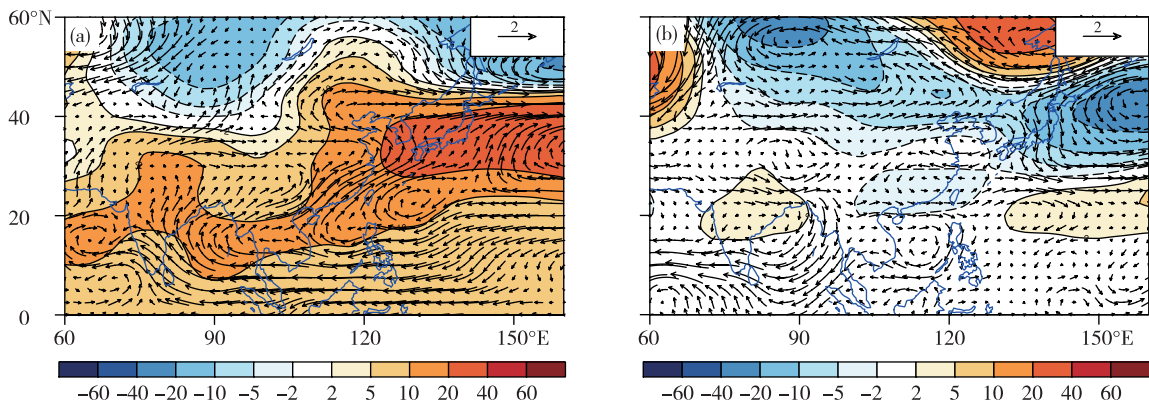


图 7 4 月黑潮区海温指数偏高年(a)和偏低年(b)5 月 500 hPa 高度距平场(色阶,单位:gpm)和 850 hPa 风场(矢量,单位:m·s⁻¹)距平合成

Fig.7 The composites of 500 hPa height anomaly field (color scale, units: gpm) and 850 hPa wind field (vector, units: m·s⁻¹) anomaly in May when SST index is high (a) and low (b) in the Kuroshio region in April

3.2 印度洋海温的影响

图 8 为 1981—2019 年 4 月 IOBW 指数的逐年演变,可见,IOBW 指数存在明显的年代际变化,2000 年之前 IOBW 指数偏低,2000 年之后 IOBW 指数明显上升,表明 21 世纪之后热带印度洋海温显著增暖。

4 月 IOBW 指数与 5 月 500 hPa 高度场相关(图 9),30°N 以南的大部地区为显著的正相关,亚洲中纬地区自西向东呈明显的“-、+”相关分布,巴尔喀什湖东侧为显著的负相关,东亚沿岸为显著正相关,反映了前期热带印度洋海温升高(降低),广大低纬地区及东亚沿岸的高度场易升高(降低),巴尔喀什湖东侧的高度场易降低(升高),文献[16]将亚洲中纬地区的这种异常分布解释为印度洋暖海盆模可以在亚欧地区大气中引起类似“MatsunoGill Pattern”的响应,在印度洋到亚欧地区对流层中上层形成异常波列。

据图 8 结果,选择 4 月 IOBW 指数异常偏高的 6 a(1998、2003、2010、2015、2016、2019 年)和偏低的 6 a(1981、1984、1986、1989、2008、2011 年),对 5 月 500 hPa 高度场和 850 hPa 风场距平进行合成分析(图 10),结果与图 9 相关场有很好的吻合。前期热带印度洋偏暖(冷)年,500 hPa 高度场从两湖地区到东亚沿岸表现为明显的“-、+” (“+、-”)距平分布,低层风场,两湖地区为异常气旋(反气旋),华北、东北至日本为异常反气旋(气旋),山东地区 500 hPa 高度场上表现为西低东高(西高东低),低层处于异常反气旋后部的东南(气旋底部的西北)气流中,与图 2 中典型多雨(少雨)的环流特征相吻合。

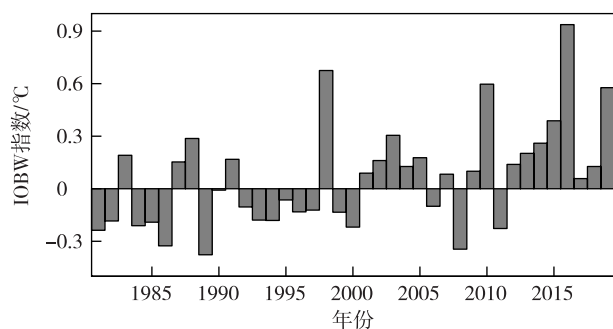


图8 1981—2019年4月IOBW指数逐年演变(单位:°C)

Fig.8 The IOBW index in April from 1981 to 2019 (units:°C)

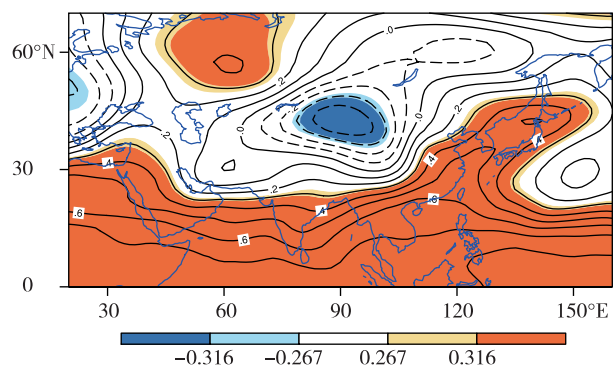


图9 4月IOBW指数与5月500 hPa高度场相关(填色区分别为通过0.1,0.05信度显著性检验的区域)

Fig.9 The correlation coefficient between the 500 hPa height field in May and IOBW index in April (The colored areas have passed the significant level at 0.1 and 0.05 respectively)

值得关注的是,前期热带印度洋偏冷年,500 hPa高度场及低层风场的异常程度较偏暖年要弱,可能与热带印度洋海温偏低的程度较弱有关,但两湖地区

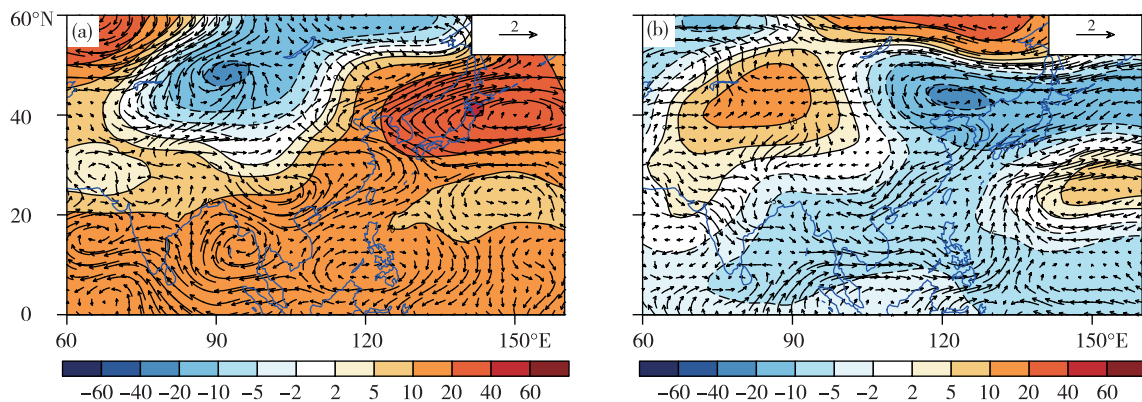


图10 4月IOBW指数偏高(a)和偏低(b)年5月500 hPa高度场(色阶,单位:gpm)和850 hPa风场(矢量,单位: $m \cdot s^{-1}$)距平合成

Fig.10 The composites of 500 hPa height anomaly field (color scale, units: gpm) and 850 hPa wind field (vector, units: $m \cdot s^{-1}$) anomaly in May when IOBW index is high (a) and low (b) in April

及东亚沿岸与偏暖年的风向相反还是比较明显。另外,500 hPa高度场上偏暖年西太平洋低纬地区为正距平,而偏冷年为负距平,反映了偏暖年西太平洋副热带高压明显比偏冷年偏强,从而有利于副热带高压西侧的西南气流向北输送水汽,这在低层风场上表现得也很清晰,偏暖年异常偏南风到达 $30^{\circ}N$ 附近,而偏冷年我国东部地区受一致的偏北风控制。

对比图7、10与图2a、b可以发现,前期黑潮区海温偏暖(冷)、热带印度洋海温偏暖(冷)与典型多(少)雨年的环流特征大致相似,表明前期黑潮区海温和热带印度洋海温对大气环流的影响可能是二者共同作用的结果。影响山东5月降水的环流异常是多因子协同作用的结果,这为准确预测带来了难度。

4 结论

利用1981—2019年NCEP/NCAR再分析资料和降水观测资料,对山东5月降水多(少)雨年的环流特征进行分型,分析了前期冬春季的海温异常,找到了黑潮区和热带印度洋两个关键海区,讨论这两个海区如何影响大气环流进而影响降水的过程,得到主要结论如下:

1) 山东5月典型多雨年,亚洲中高纬环流呈“-、+”距平分布,盛行纬向环流,东亚大槽偏弱;典型少雨年亚洲中高纬环流呈“+、-”距平分布,盛行经向环流,东亚大槽偏强。其他多(少)雨年的环流特征较为少见或分散。

2) 前期冬春季黑潮区和热带印度洋的海温是影响山东5月降水的关键外强迫因子,黑潮区海温

偏暖(冷)时,其上空 500 hPa 高度场为明显正(负)距平,低层风场呈现异常反气旋(气旋),山东受异常东南风(偏西风)控制,加强(削弱)了水汽输送,利于降水偏多(少)。热带印度洋偏暖(冷)年,500 hPa高度场从两湖地区到东亚沿岸表现为明显的“-、+”(“+、-”)距平分布,低层风场中两湖地区为异常气旋(反气旋),华北、东北至日本为异常反气旋(气旋),山东地区 500 hPa 高度场上表现为西低东高(西高东低),低层处于异常反气旋后部的东南(气旋底部的西北)气流中,这与典型多(少)雨的环流特征相一致。

本文仅对山东5月降水异常的典型多(少)雨年的前期海温异常特征进行了分析,没有研究非典型的多(少)雨年的环流特征,而这些年份往往又是预测难度更大的年份,今后还要进行后续研究。另外,所得结论仅是根据有限样本统计分析得到的,结论的可信度及完整性还需数值模拟进一步验证。

参考文献:

- [1] 胡桂芳,徐学义,高理.山东夏季不同雨型的前期异常大气环流及海温场特征[J]. 海洋预报,2012,29(1): 42-47.
- [2] 王娜,顾伟宗,孟祥新.山东夏季降水年际优势模态及对应大气环流特征[J]. 气象,2019,45(1):99-112.
- [3] 顾伟宗,陈丽娟.山东夏季降水异常的环流特征及降尺度解释应用预测方法研究[J]. 海洋气象学报,2019,39(4):83-89.
- [4] 孟祥新,王娜,商林.海温异常对山东夏季降水的影响分析[J]. 气象,2017,43(10):1259-1266.
- [5] 商林,顾伟宗,汤子东,等.山东省夏季降水与赤道中东太平洋前期冬季海温对应关系的年代际变化[J]. 干旱气象,2017,35(4):552-558.
- [6] 程慧萍,贾晓静.印度洋冬季海温异常对中国春季降水的影响[J]. 高原气象,2014,33(3):733-742.
- [7] 马京津,高晓清,曲迎乐.华北地区春季和夏季降水特征与气候相关的分析[J]. 气候与环境研究,2006,11(3):321-329.
- [8] 陆日宇.与华北地区春季降水量异常关联的大气环流异常[J]. 气候与环境研究,2001,6(4):400-408.
- [9] 王建波,张苏平,李春,等.华北5月降水年际变化特征及其成因[J]. 气象科学,2006,26(4):405-411.
- [10] WANG B, LUO X, SUN W Y, et al. El Niño diversity across boreal spring predictability barrier. [J] Geophys Res Lett, 2020, 47 (13), <https://doi.org/10.1029/2020GL087354>.
- [11] 江志红,屠其璞.国外有关海气系统年代际变率的机制研究[J]. 地球科学进展,2001,16(4):569-573.
- [12] 王绍武,朱锦红.国外关于年代际气候变率的研究[J]. 气象学报,1999,57(3):376-384.
- [13] 陈丽娟,袁媛,杨明珠,等.海温异常对东亚夏季风影响机理的研究进展[J]. 应用气象学报,2013,24(5):521-532.
- [14] 杨明珠,陈丽娟,宋文玲.黑潮区海温对中国北方初霜冻日期的影响研究[J]. 气象,2013,39(9):1125-1132.
- [15] 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.
- [16] 杨建玲,郑广芬,王素艳,等.印度洋海盆模影响西北东部降水的大气环流分析[J]. 高原气象,2015,34(3):700-705.