

华北地区4月降水异常的环流特征及其与海温异常的联系

宋燕¹ 李智才² 李艳娜³

(1 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 2 山西省气候中心, 太原 030006;

3 包头市气象局防雷中心, 包头 014030)

摘要: 利用1960—2007年华北地区81个测站月降水资料和美国NCEP/NCAR再分析等资料, 研究了华北地区4月份降水的时空变化特征及其与大气环流异常、关键区海温异常的关系。研究表明: 在华北地区4月份降水多雨年, 北半球中高纬度对流层中高层大气环流呈现出EU遥相关型的负位相, 东亚地区上空存在异常反气旋环流, 华北地区位于其西南侧, 中国东部地区南风强而深厚, 从南至北存在强水汽输送带, 给华北地区带来较为充沛的水汽; 同时, 北半球中高纬度地区存在纬向分布的异常大尺度环流和大尺度锋区, 华北地区处在异常暖脊和锋区的控制下, 冷暖空气交汇、大尺度锋区作用促使该地区降水偏多。而少雨年, 北半球中高纬地区大气环流异常以经向型为主, 大尺度锋区呈南北分布, 华北地区受异常气旋西南部冷平流控制, 降水偏少。多雨年华北地区4月份降水与前期或同期海洋关键区域海温异常关系显著, 并与海温异常从冬季到春季的演变有较为密切的关系; 少雨年与海温异常及其演变的关系不显著, 多雨年、少雨年与海洋关键区域海温异常及其演变的关系不对称。

关键词: 华北, 4月份降水, 大气环流异常, 海温异常, 不对称

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.04.005

Atmospheric Circulation Characteristics of Anomalous Precipitation in Northern China in April and Its Relationship to Sea Surface Temperature Anomalies

Song Yan¹, Li Zhicai², Li Yanna³

(1 CMA Training Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081 2 Shanxi Climate Center, Taiyuan 030006

3 Lightning Protection Center of Baotou Meteorological Bureau, Baotou 014030)

Abstract: Using monthly precipitation data from 81 observational stations in Northern China for 1960-2007 and American NCEP/NCAR reanalysis data, this paper studies temporal and spatial characteristics of precipitation in North of China in April and its relationship to anomalous atmospheric circulation and sea surface temperature anomalies (SSTA) in key oceanic areas. The results show that in rich rainfall years there was negative phase of EU teleconnection pattern in the upper level of troposphere on high latitude in Northern Hemisphere, and East Asia was controlled by and located at southwest of anomalous anticyclone. Accordingly, strong southerly prevailed over Eastern China, and there was strong water vapor transportation from south to north, which brought rich water vapor into North of China. At the same time, at middle and high latitudes were large-scale anomalous zonal circulation and front zone in Northern Hemisphere, and Northern China was controlled by anomalous warm ridge and large-scale front. Meeting of cold and warm air masses, and role of the large-scale front led to rich rainfall in North of China. In less rainfall years at middle and high latitudes were anomalous large-scale meridional circulation and front zone in Northern Hemisphere, and Northern China was affected by cold air flow at southwest of anomalous cyclone and was drought. In rich rainfall years precipitation in Northern China in April had close connections to previous and synchronous SSTA in key oceanic areas, as well as to SSTA evolution from winter to next spring; in less rainfall years, it was not so clear. Therefore, the relationships between rich rainfall and SSTA or its evolution, as well as between less rainfall and SSTA or its evolution, were obviously asymmetric.

Keyword: North of China, precipitation in April, anomalous atmospheric circulation, SSTA, asymmetry

收稿日期: 2012年2月13日; 修回日期: 2012年3月4日

第一作者: 宋燕(1965—), Email: songyan@cma.gov.cn

资助信息: 国家科技支撑计划课题(2007BAC29B02); 国家重大科学研究计划项目“天文与地球运动因子对气候变化的影响研究”第三课题“气候系统对天文与地球因子响应的物理过程及其效果检验”(2012CB957803)

1 引言

在气候变暖背景下, 作为我国增温幅度最大区域之一的华北地区, 自1965年以来降水明显减少, 干旱日趋严重^[1]。暖干化的趋势加重了华北地区水资源的匮乏, 严重影响了华北地区经济的可持续发展^[2]。因而, 对华北地区降水的变化特征及其预测研究成为我

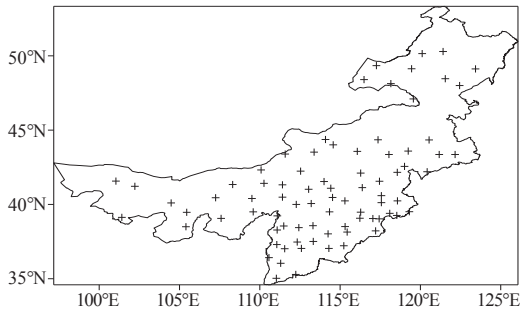


图1 华北地区81个测站的分布图

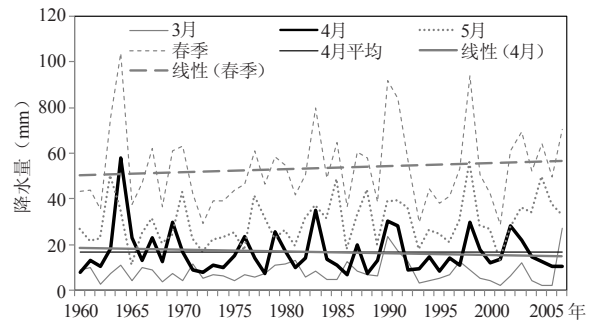


图2 华北地区春季各月降水量曲线

国当前研究的重要课题之一。

国内对华北地区降水已有大量研究^[3-10], 但多集中于对年际或夏季降水的研究, 而对春季降水的研究相对较少^[11-13]。然而, 华北春季降水与夏季的年代际和年际变化特征有明显的差别。顾伟宗等^[11]研究了华北地区春季降水特征及其与海温的关系, 认为影响华北地区春季降水的海温关键区为印度洋。

在已有对春季降水的研究中, 主要是以季节降水为研究对象^[11-13], 没有更多地考虑月际之间的差异, 而月际间的差异往往是显著而具有实际意义的。华北地区春季4月份降水量对农业生产而言是一个关键的指标, 4月份也是农业生产中的一个重要月份, 因为4月是农作物主要的春播期, 同时又是冬小麦生长的关键时期。4月份的旱情会严重地影响春播, 致使作物不能适时播种, 生长期缩短, 进而影响农作物的产量。因此, 本文以华北地区4月份降水异常为研究对象, 研究其变化规律, 选择降水的预报因子, 对华北地区农业生产具有十分重要的意义。

2 资料和方法

本研究所使用的资料主要有两部分, 一部分是1960—2007年华北地区81个测站月降水资料, 另一部分是美国NCEP/NCAR再分析资料、美国NOAA ($1^\circ \times 1^\circ$) 海温资料, 国家气候中心气候监测公报的海温指数等资料。

本文所用的研究方法主要是EOF分解、合成分析、相关分析、线性趋势和显著性检验等统计方法。

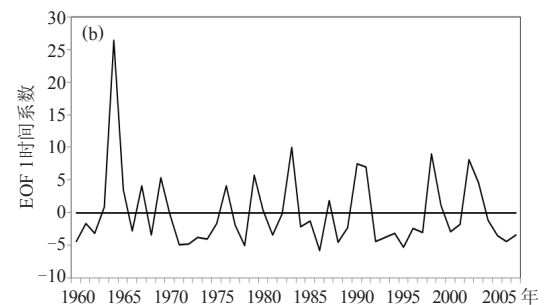
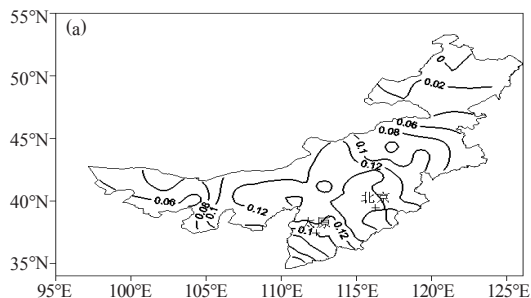


图3 华北地区4月份降水量EOF分解第一特征向量空间分布 (a) 及时间系数 (b)

另外, 本文从实际业务工作考虑, 所选的华北区域是当前实际的华北五省(区、市), 即北京、天津、山西、河北和内蒙古东北部(图1)。

3 研究结果

3.1 华北地区4月份降水特征分析

图2是华北地区春季及各月份降水的时间序列, 可以看出, 华北地区3, 4, 5月以及春季总降水的年际间差异比较明显, 并且通常3月降水少于4月, 4月降水少于5月。相关分析表明, 华北春季降水月际间的相关均不显著, 但各月与春季总降水量之间的相关均较显著, 其中3, 4, 5月与春季降水的相关分别为0.487, 0.745, 0.759, 均达到0.05显著性检验的水平。

对华北地区81个测站1960—2007年的4月降水量资料进行EOF分解, 其中第一特征向量场方差贡献率为40.4%, 第二特征向量场的方差贡献率为11.0%, 第三特征向量场的方差贡献率为6.3%, 前三个特征向量方差占到了总方差的57.7%, 第二、三特征向量场与第一特征向量场相比, 方差贡献率迅速减小, 说明第一特征向量场反映了异常降水分布的主要特征。从第一特征向量空间分布图(图3a)可以看到, 华北春季4月份具有降水偏多(少)一致性的特征。图3b为第一特征向量场的时间系数变化曲线, 它与春季4月份降水量变化曲线(图1)极为相似, 相关系数达到0.001显著性检验水平, 说明第一特征向量基本上反映了春季降水量年际变化的特征。

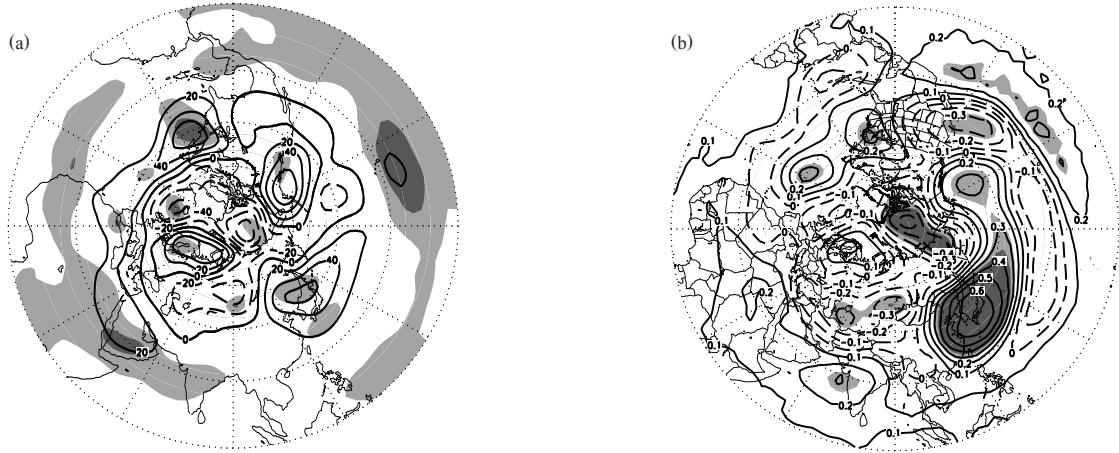


图4 华北地区4月份多雨年减少雨年500hPa位势高度场差值及t检验 (a)；华北地区4月份降水量与同期500hPa位势高度场相关 (b) (浅灰色区域通过0.01显著性水平检验, 深灰色区域通过0.05显著性水平检验)

3.2 华北地区4月份多雨年与少雨年大气环流异常特征

按照标准方差 $\geq 0.8\sigma$ 或者 $\leq -0.8\sigma$ 的标准, 选择华北地区春季4月份降水的多雨年: 1964, 1969, 1979, 1983, 1990, 1991, 1998和2002年; 少雨年: 1971, 1972, 1978, 1986和1995年。从华北地区4月多雨年和少雨年降水距平百分率的合成图(图略)上可以看出, 所选的多雨年全区均为正距平, 所选的少雨年除内蒙古东北部为小范围的正距平外, 全区其他区域均为负距平。

华北地区4月份多雨年减去少雨年500hPa高度场呈现出明显的EU型(欧亚遥相关型)的负位相(如图4a所示), 北欧一带为位势高度正异常, 西伯利亚为负异常, 有异常气旋存在, 东亚地区为显著的正异常, 受到异常反气旋的控制, 几个中心均有超过0.05显著性水平检验的区域。华北地区处于异常气旋的东南方向和异常反气旋的西南方向, 有利于冷暖气流的交汇, 异常南风 and 上升气流加强。华北地区4月份降水与同期500hPa位势高度场的相关也呈现类似的分布型(如图4b所示), 西伯利亚负中心与东亚地区正中心均有超过0.05显著性检验水平的区域, 东亚正中心尤其显著, 相关系数达到0.6, 通过0.01的显著性检验水平。说明在华北地区春季4月份降水偏多的年份, 东亚地区受反气旋式环流异常的影响。少雨年与此相反。

从华北地区4月份多雨年减去少雨年500hPa位势高度差值沿 40°N 的垂直分布图(图略)可以看出 120°E — 160°E 东亚地区上空对流层整层大气为显著的正位势高度异常, 强度随高度的升高而增强, 说明东亚地区受到相当正压结构的强高压异常的控制, 华北地区处在高压异常的西部。图5为华北地区4月份多雨年减去少雨年纬向风和垂直风合成流场差值场沿 40°N 的剖面图。可以看到, 多雨年在 90° — 130°E 异常反气

旋的西侧上升气流异常明显。经向风异常在华北4月份多雨年减去少雨年差值沿 40°N 的垂直分布图(图略)显示, 东亚地区异常反气旋的西侧对流层整层大气为一致的显著的南风异常, 而其东侧为北风异常。这充分说明东亚异常强的反气旋环流使得中国东部地区南风异常增强, 给华北地区带来较为充沛的水汽, 而向西略倾斜的异常反气旋环流也为扰动的发展提供了环流背景。

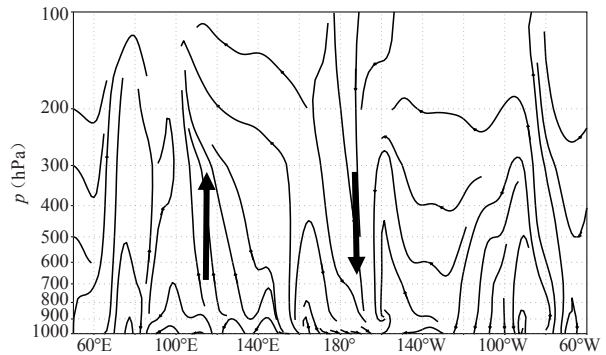


图5 华北地区4月份多雨年减去少雨年纬向流场差值场沿 40°N 的垂直剖面图

图6是华北地区4月份多雨年和少雨年500hPa位势高度距平场、温度距平场以及风矢量场合成成分图。很明显, 华北地区4月份多雨年500hPa的环流形势以中高纬度地区盛行异常纬向环流为主(图6a), 在中高纬从中亚到贝加尔湖一带的高度场为负异常, 对应一个异常气旋; 东亚中纬度大部分地区的高度场为正异常, 对应一个显著的异常反气旋, 对应西太平洋副热带高压强而偏北。这种情况下, 中国东部地区处在异常高压的西部地区, 为一致的偏南风异常, 华北区域受强南风异常控制。在温度距平场上, 上述气旋(反气旋)距平环流中心分别对应着冷(暖)异常中心, 这些冷暖中心均通过显著性检验。华北地区处于

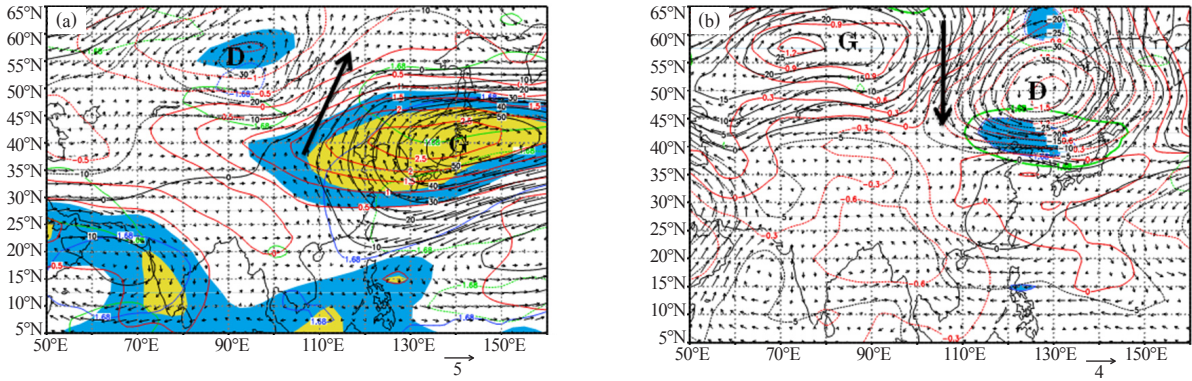


图6 华北地区4月份多雨年 (a)、少雨年 (b) 500hPa温度场、高度场及风矢量距平场合成图 (图中黑线为位势高度距平, 红线为温度距平, 蓝线和绿线分别为高度异常和温度异常通过0.05显著性水平检验区域, 阴影区是风矢量场分别通过0.05和0.01的显著性水平检验的区域)

呈东北、西南近乎纬向的异常温度梯度密集带中, 西北地区有明显的异常冷平流, 而中国东部地区为显著的异常暖平流, 华北地区处在异常暖脊和纬向大尺度异常锋区的控制下, 冷暖空气频繁交汇于华北地区, 致使该区域降水增多。

在少雨年 (图6b), 北半球中高纬地区环流异常以经向型为主, 从乌拉尔山到贝加尔湖一带的高度场为正异常, 对应异常反气旋环流, 从贝加尔湖以西到鄂霍次克海上空高度场对应异常气旋环流, 西太平洋副热带高压明显偏南、偏弱, 华北地区处在异常气旋环流的南部, 盛行西北偏西气流。大尺度异常锋区呈南北走向, 位置偏北, 距华北地区较远, 华北地区处在冷空气控制下, 受到异常强冷空气影响, 降水较常年减少。

在整层对流层大气水汽通量距平场的合成图上 (图7), 4月份多雨年华北地区来自东太平洋、南海地区和西南方向的水汽通量输送较强, 从南方地区经过华北地区到东北地区呈现一条显著的近乎南北走向的水汽输送带, 其中来自东南太平洋上的水汽输送强而显著, 说明东亚地区反气旋异常的存在为水汽从南至北的输送提供了强有力的环流背景和条件, 为华北

地区中部和东部带来较为充沛的水汽, 其中华北中部地区通过了0.01显著性检验水平。在少雨年水汽输送很弱, 水汽输送只能到达中国的西南部地区, 范围也小了很多。

3.3 华北地区4月份多雨年与少雨年海温异常分析

影响华北地区降水变化的因素很多, 一些研究^[9-11,14]表明, 海温异常也是其中的一个重要方面, 但这些研究多以夏季降水或者秋季降水为研究对象。本文则着重分析了海温场与华北地区春季4月份降水的联系。

计算华北4月份降水与前期及同期 (前一年11, 12月; 当年1, 2, 3月) 海温的相关系数。从相关系数分布图 (图略) 上可看出华北4月降水与较早期海温场 (前一年11, 12月; 当年1月) 相关较为散乱, 而与2, 3, 4月海温场相关分布较好。图7显示了与华北地区4月份降水关系密切的2, 3和4月海温的相关分布, 华北地区4月降水与2月印度洋和中东太平洋海温呈现显著正相关; 而与3月中太平洋海温呈现显著的负相关, 与印度洋和中东太平洋海温的相关明显减弱; 与4月西北太平洋海温呈现同期的显著正相关, 与热带中东太平洋海温的相关明显减弱。

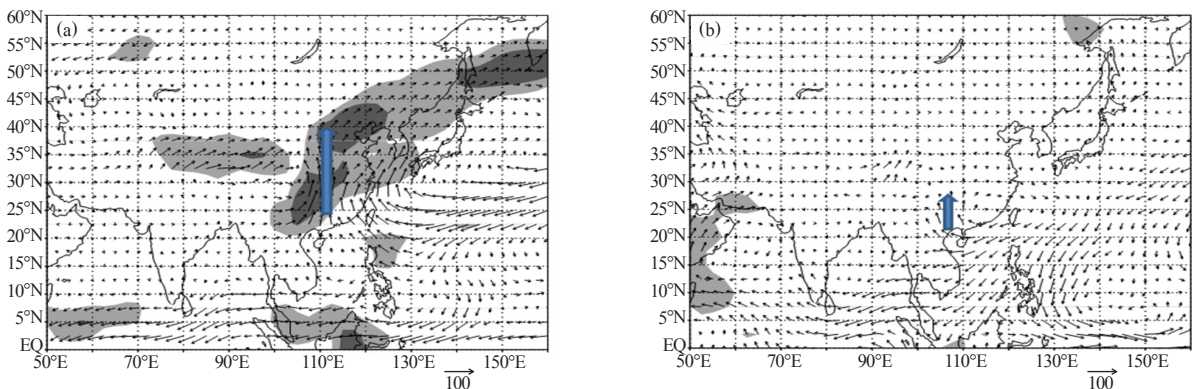


图7 华北地区4月份多雨年 (a)、少雨年 (b) 1000~300hPa水汽通量距平场合成图 (浅色阴影区为通过0.05显著性水平检验的区域, 深色阴影区为通过0.01显著性水平检验的区域)

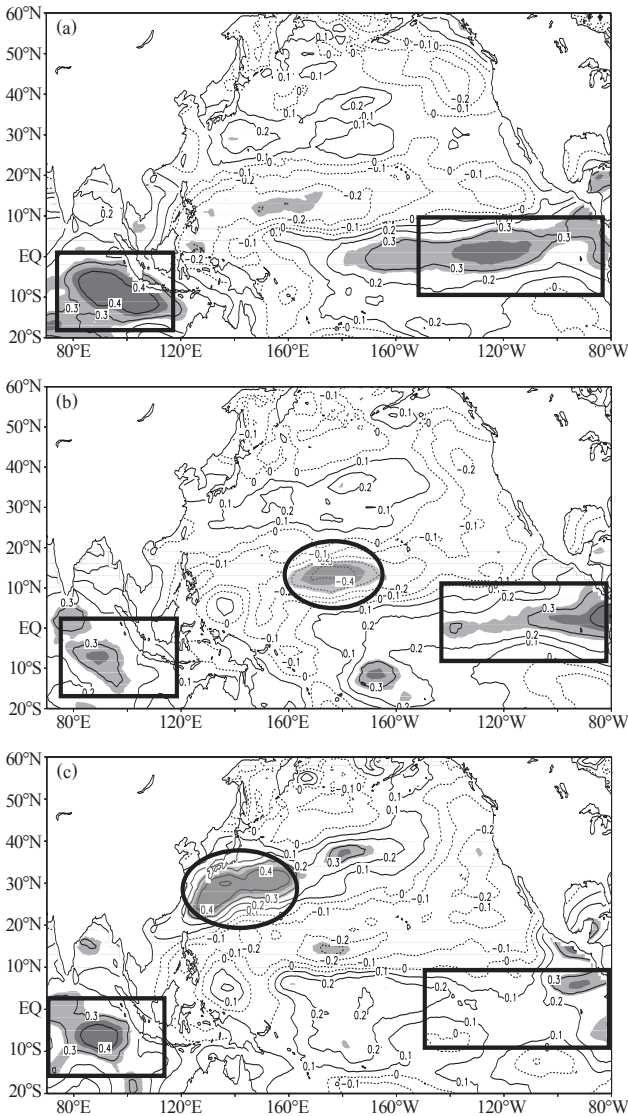


图8 华北地区4月份降水与2月(a)、3月(b)、4月(c)海温相关系数分布图(浅色阴影区为通过0.05显著性水平检验的区域,深色阴影区为通过0.01显著性水平检验的区域)

利用这几个显著性相关区域随时间的变化特征,可以为华北地区4月降水预测提供更为明确的前期指示信号。在图8中,华北地区4月降水与赤道中东太平洋的显著性相关区域从2月到4月呈现减小且向东收缩的趋势;与赤道印度洋的显著性相关区域也呈现减小的趋势,但其显著性位置基本没有变化;与西北太平洋的显著性区域为明显增大趋势;与热带中太平洋的显著性负相关区域在3月达到最大。

为了更好地分析前期海温异常的变化特征,对前面所选的华北地区4月降水多雨年和少雨年所对应的2,3,4月海温场进行合成(图9)。可以看出,在华北地区4月多雨年所对应的2,3,4月海温距平合成场上,最明显的特征是赤道中东太平洋海温为下降的趋势,在2月时海温距平中心为 1.0°C 以上,3月海温

距平中心为 0.6°C 以上,4月海温距平中心 0.6°C 以上的区域已经收缩到南美沿岸,这表明ENSO的暖位相处于衰减阶段。说明在前期El Niño减弱时华北地区4月份降水异常偏多;值得注意的是,西北太平洋地区海温自2月到4月有明显的升高;同时,热带印度洋海温从2月到4月有所下降,但没有赤道东太平洋海温的下降来得剧烈。在华北地区4月少雨年所对应的2,3,4月份海温距平合成场上,赤道东太平洋一直为弱的ENSO冷位相,赤道印度洋为负距平,中太平洋为正距平,但它们的变化趋势都不明显。变化比较明显的是东北太平洋在持续增温,其中心从2月的 0.2°C 增加到4月的 0.5°C ,但是不够显著。综合之,当前期El Niño减弱时华北地区4月降水异常偏多,而华北地区4月降水偏少年海温场的变化不明显。

通过以上分析得到:当赤道中东太平洋和印度洋海温自冬季向春季呈现减弱、而西北太平洋有增暖的态势时,华北4月多雨;而少雨年与海温演变相关特征并不显著。因此,华北地区4月降水多雨年、少雨年与海温异常的关联呈现不对称特征。

为了进一步考查海洋这几个显著性相关区域与华北地区4月降水的相关性,选择2月印度洋(5°S — 15°S , 80°E — 110°E)区域、2月赤道东太平洋(0° — 5°S , 140° — 110°W)区域、3月中太平洋(10° — 15°N , 170°E — 175°W)区域和4月西北太平洋(25° — 32°N , 125° — 160°E)区域的海温资料,对各区域海温资料进行区域平均,然后对所得序列再进行标准化处理,分别命名为IND, EEP, MP, NWP区域海温标准化指数,利用这4个时间序列与华北地区4月份降水量的标准化数值求相关,结果得到IND, EEP, MP, NWP区域海温标准化指数与华北地区4月份降水的相关系数分别为:0.46, 0.31, -0.40, 0.42,全部通过0.05显著性检验水平。

海洋关键区域海温的演变与华北地区4月份降水的关系怎样呢?图10是采用美国气候预测中心公布的海温指数ONI计算的华北地区4月份多雨年和少雨年Niño3,4区域海温从2月份开始的演变合成图。从图10a中可以看出,华北4月多雨年共有8年,其中5年Niño3,4区海温有明显的降低,1年几乎没有变化,2年略微升温。图10b是华北地区4月份少雨年份ONI指数的演变,5个少雨年中有2年海温明显升温,2年降温,1年变化不大。这也证明了华北地区4月份多雨年份和少雨年份海温演变的不对称性。华北地区4月份多雨年ONI指数会有所下降,但也不排除在个别年份由于其他因子的作用使得ONI指数变化并不明显;而少雨年则完全没有规律可循。

热带印度洋海温演变情况又如何呢?图11给出利用国家气候中心气候监测公报给出的热带印度洋海

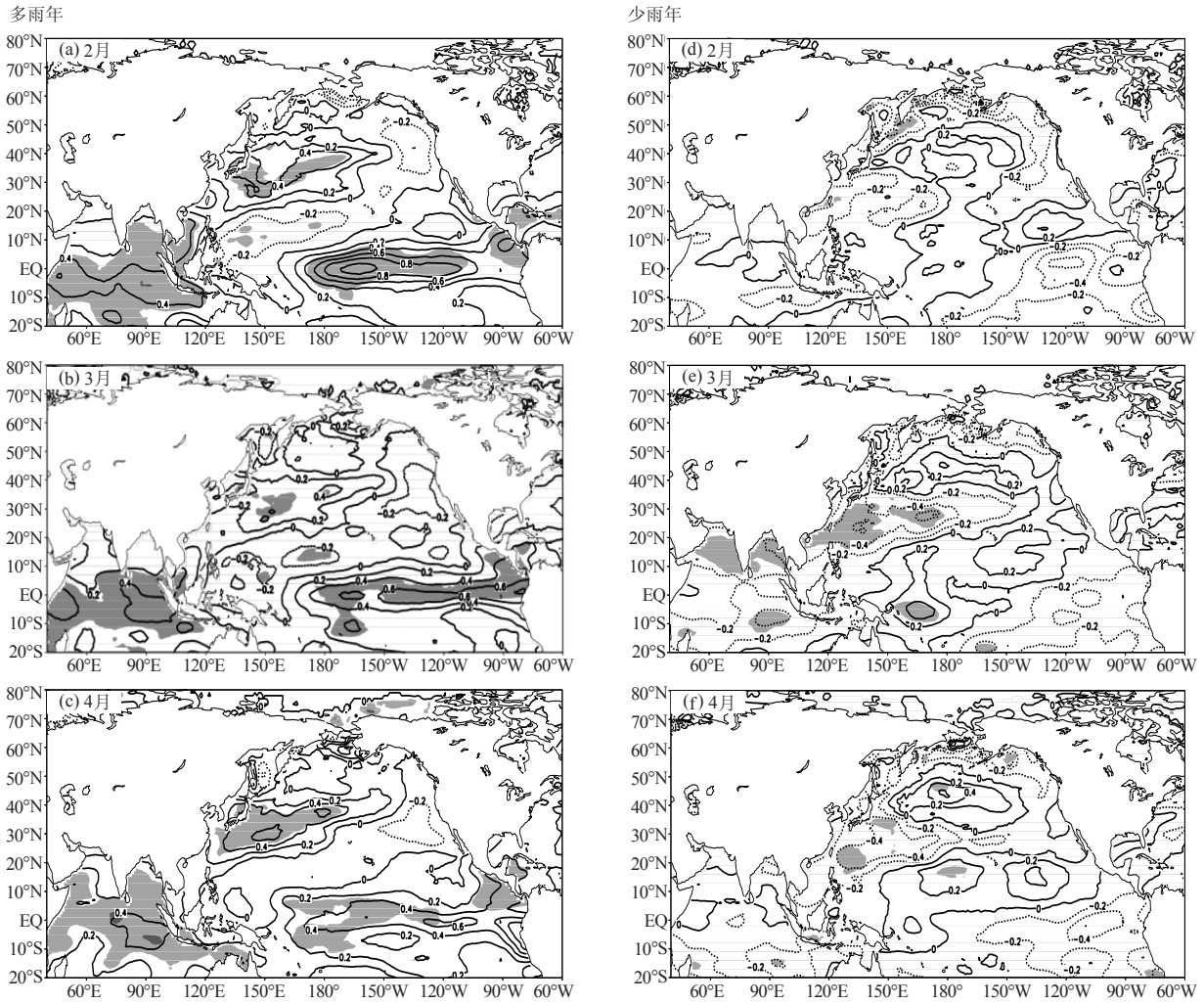


图9 华北地区4月份降水多雨年所对应的2, 3, 4月海温场合成 (a, b, c) 和少雨年对应的2, 3, 4月海温场合成 (d, e, f)

(浅色阴影区为通过0.05显著性水平检验的区域, 深色阴影区为通过0.01显著性水平检验的区域)

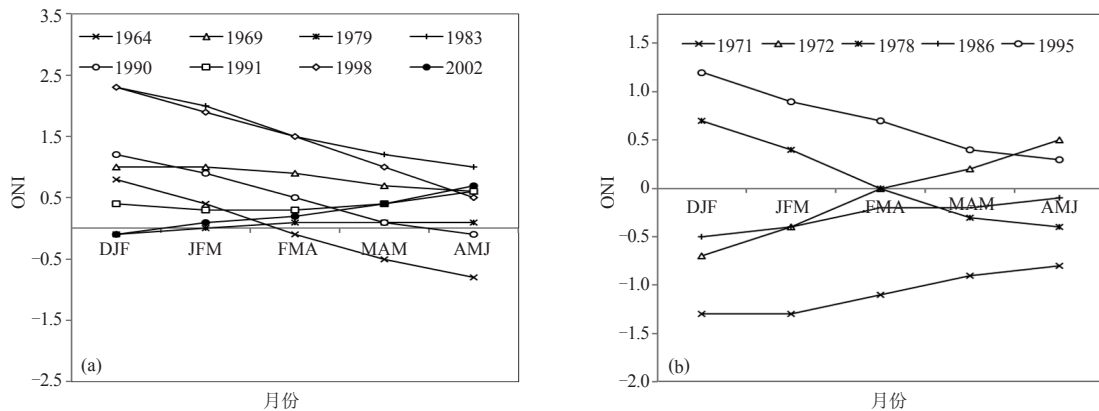


图10 华北地区4月份降水多雨年 (a) 和少雨年 (b) ONI指数月际变化

(DJF: 12—2月, JFM: 1—3月, FMA: 2—4月, MAM: 3—5月, AMJ: 4—6月)

温指数从1月份开始的演变情况。在华北4个多雨年份中, 有2年印度洋海温有明显的下降, 2年不明显; 华北地区2个少雨年份中, 1年印度洋海温有略微下降, 1年略微有上升。这种情况与Niño3, 4区海温演变很

相似。可见在华北4月份降水多雨年份的预测中, 除去考虑前期或同期海温具有显著相关的海域外, 赤道太平洋和印度洋海温演变情况具有一定的参考价值; 而少雨年份的预测会更加复杂。

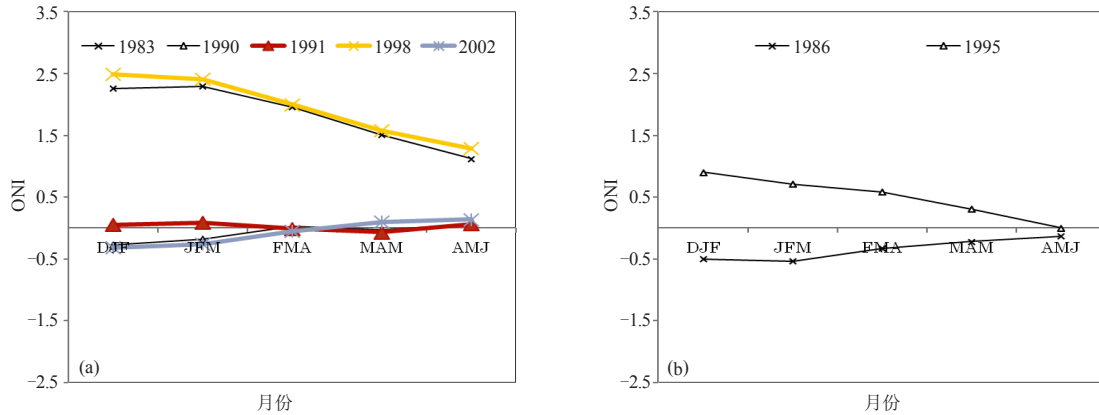


图11 华北地区4月份降水多雨年 (a) 和少雨年 (b) ONI温指数月际变化

4 结论和讨论

(1) 华北地区4月降水的空间主要特征是一致多雨或少雨分布型。华北地区4月多雨年500hPa高度场呈现遥相关EU分布型的负位相，华北地区处于异常气旋的东南方向和异常反气旋的西南方向，有利于冷暖气流的交汇、华北地区南风 and 上升气流加强。

(2) 华北4月多雨年500hPa的环流形势以中高纬度地区盛行异常纬向环流为主，华北地区处在异常暖脊和东西向大尺度异常锋区的控制下；少雨年环流以经向型为主，大尺度异常锋区呈南北分布，位置偏北，距华北地区较远，华北地区处在冷空气控制下。

(3) 水汽通量距平显示，华北地区4月多雨年来自东太平洋、南海地区和西南方向的水汽通量输送强盛，尤以来自太平洋上的东南气流水汽输送最强，水汽可到达我国东北地区；而少雨年水汽输送较弱，仅限于我国西南地区。

(4) 华北地区4月降水多寡与海洋关键区海温显著相关，尤其是印度洋、赤道中东太平洋、中太平洋和西北太平洋地区，具有超过0.05显著性检验水平的显著相关区域。华北地区4月降水与2月印度洋和赤道中东太平洋海温呈现显著正相关，而与3月中太平洋海温呈现显著的负相关，与4月西北太平洋海温呈现同期的显著正相关。

(5) 华北地区4月降水多雨年与海洋关键区海温的演变关系密切。当赤道中东太平洋和印度洋暖海温自冬季向春季呈现减弱、西北太平洋海温呈现升高的态势时，华北4月多雨；而少雨年与海温异常相关并不显著。因此，华北4月降水多少与海温异常的关系呈现不对称特征。

(6) 在实际预测业务中，除去考虑前期或同期具有显著相关的海域海温外，赤道太平洋和印度洋海温演变情况对华北地区4月份多雨年预测具有一定的

参考价值；而少雨年份的预测比较复杂。

总之，根据研究结果，考虑到实际业务的需要，建议华北4月降水预测应当适当考虑2月印度洋和赤道中东太平洋高海温的衰减特征。这需要定义这两个海域的海温衰减指数作为预报华北地区4月降水的预报因子。而目前所用海温异常指数选择美国ONI指数和国家气候中心的印度洋海温指数作为研究对象，与本职工作实际海温异常的显著区域仍有较大区别。所以，下一步工作，本研究将以自定义海温指数作为预报因子，并对降水的影响机理做进一步的探讨。

参考文献

- [1] 黄荣辉, 徐子红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, 18(4): 465-475.
- [2] 官德吉. 华北干旱和半干旱地区的水环境现状和水资源应用问题. 气候与环境研究, 1997, 2(2): 193-198.
- [3] 孙安健, 高波. 华北地区夏季严重旱涝特征诊断分析. 大气科学, 2000, 24(3): 393-402.
- [4] 陈烈庭. 华北各区夏季降水年际和年代际变化的地域性特征. 高原气象, 1999, 18(4): 477-485.
- [5] 魏凤英, 曹鸿兴. 华北干旱异常的地域特征. 应用气象学报, 1998, 9(2): 205-212.
- [6] 杨修群, 谢倩. 华北降水年代际变化特征及其与全球海气系统变化的联系. // 黄荣辉. 我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京: 气象出版社, 2003, 365-375.
- [7] 张利平, 牛存稳, 夏军. 华北地区降水变化的多时间尺度分析. 干旱区地理, 2004, 27(4): 548-552.
- [8] 卫捷, 张庆云, 陶诗言. 近20年华北地区干旱期大气环流异常特征. 应用气象学报, 2003, 14(2): 143-151.
- [9] 朱平盛, 张苏平. 华北夏季旱涝的前期环流异常及其与北太平洋海温的关系. 应用气象学报, 1997, 8(4): 437-443.
- [10] 于润玲, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季降水与北半球环流及北太平洋海温关系初步分析. 南京气象学院学报, 2002, 25(5): 577-586.
- [11] 顾伟宗, 陈海山, 孙照渤. 华北春季降水与前期印度洋海温的关系. 南京气象学院学报, 2006, 29(4): 484-490.
- [12] 陆日宇. 与华北地区春季降水量异常关联的大气环流异常. 气候与环境研究, 2001, 6(4): 400-408.
- [13] 马京津, 高晓清, 曲迎乐. 华北地区春季和夏季降水特征及与气候相关的分析. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 321-329.
- [14] 肖子牛, 晏红明, 李崇银. 印度洋地区异常海温的偶极振荡与中国降水及温度的关系. 热带气象学报, 2002, 18(4): 335-344.