

李宏毅, 林朝晖, 宋燕, 等. 2013. 我国华南 3 月份降水异常的可能影响因子分析 [J]. 大气科学, 37 (3): 719–730, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2012.11252. Li Hongyi, Lin Zhaohui, Song Yan, et al. 2013. Analysis of the possible factors that influence March precipitation anomalies over South China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 37 (3): 719–730.

## 我国华南 3 月份降水异常的可能影响因子分析

李宏毅<sup>1,2</sup> 林朝晖<sup>2</sup> 宋燕<sup>1</sup> 陈红<sup>2</sup> 许建玉<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081

<sup>2</sup> 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029

<sup>3</sup> 中国气象局武汉暴雨研究所暴雨监测预警湖北省重点实验室, 武汉 430074

**摘 要** 利用 1951~2005 年华南地区 3 月份的降水资料、NOAA 海温资料、Niño3.4 指数和 NCEP 再分析资料, 分析了华南 3 月份降水异常与同期环流场、全球海温场的关系, 从环流和海温的角度揭示了华南 3 月份降水异常的可能原因。结果表明, 当华南 3 月份降水偏多(少)时, 在对流层中低层, 北太平洋海区存在气旋(反气旋)性环流异常, 西太平洋及南海海面上存在反气旋(气旋)性环流异常, 这样的环流异常有利(不利)于东南暖湿气流与北方东部异常冷空气在华南地区形成水汽辐合, 导致降水显著增多(减少)。进一步的分析表明, ENSO 和北印度洋及南海附近海温是影响华南 3 月份降水异常的重要外强迫因子, ENSO 对华南 3 月降水异常的影响是通过影响春季西太平洋副热带高压和低层风场异常实现的, 而北印度洋及南海附近海温对华南 3 月降水异常的影响则是通过垂直环流场异常和低层风场以及西太平洋副热带高压异常来实现的。

**关键词** 华南 3 月份降水 大气环流异常 ENSO 北印度洋和南海海温异常

**文章编号** 1006-9895(2013)03-0719-12

**中图分类号** P461

**文献标识码** A

**doi:**10.3878/j.issn.1006-9895.2012.11252

## Analysis of the Possible Factors that Influence March Precipitation Anomalies over South China

LI Hongyi<sup>1,2</sup>, LIN Zhaohui<sup>2</sup>, SONG Yan<sup>1</sup>, CHEN Hong<sup>2</sup>, and XU Jianyu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081

<sup>2</sup> International Center for Climate and Environment Science, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

<sup>3</sup> Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430074

**Abstract** The relationships of the March precipitation anomalies over South China with the associated circulation and the global sea surface temperature (SST) field are analyzed by using observations of March rainfall over South China, NOAA SST data, Niño3.4 index, and NCEP reanalysis data for the period 1951–2005. The possible causes of the March precipitation anomalies over South China were revealed from the point of view of the atmospheric circulation and SST field. The results show that when March rainfall over South China is above (below) normal, a cyclonic circulation (an anticyclonic) anomaly exists in the middle-low-level of the troposphere over the North Pacific Ocean, and an anticyclonic (a cyclonic) circulation anomaly appears over the western Pacific Ocean and the South China Sea. These circulation anomalies are favorable (unfavorable) to the southeast warm-moist air flow and the abnormal cold air in the east of

**收稿日期** 2011-12-27, 2012-09-27 收修定稿

**资助项目** 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421406、2010CB428403, 公益性行业(气象)科研专项 GYHY201206041, 中国气象局成都高原气象研究所高原气象开放基金课题 LPM2012004, 国家自然科学基金青年科学基金项目 41105073

**作者简介** 李宏毅, 女, 1981 年出生, 博士, 主要从事气候年代际变化方面的研究。E-mail: lihongyi@cma.gov.cn

northern China which form a water vapor convergence over South China, leading to a significant increase (decrease) of precipitation. Further analysis showed that the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and North Indian Ocean and South China Sea SST are important external factors that influence the March precipitation anomalies over South China. The influence of ENSO on the March precipitation anomalies over South China is through the western Pacific subtropical high and low-level wind field anomalies, and the influence of the North Indian Ocean and South China Sea SST on the March precipitation anomalies over South China is affected by the vertical circulation and low-level wind field anomalies, as well as the abnormal western Pacific subtropical high.

**Keywords** March precipitation over South China, Atmospheric circulation anomalies, ENSO, North Indian Ocean and South China Sea

## 1 引言

华南是我国旱涝灾害发生频繁的地区之一,严重旱涝灾害对社会经济和人民生命财产安全造成不可忽视的影响,因此研究华南地区旱涝的分布及其成因是一项非常有意义的工作。关于华南汛期降水的成因目前已有不少研究,许多研究从海温的角度出发进行了大量分析,如邓立平和王谦谦(2002)、陈艺敏和钱永甫(2005)的研究表明我国近海西太平洋暖池附近海温与华南前汛期降水有显著的负相关关系。谢炯光和纪忠萍(1999)分析了广东省汛期(4~9月)降水与西北太平洋海温的关系,并建立了汛期各月降水与海温的预报方程。李春晖等(2004)、梁建茵和吴尚森(2001)的研究表明春季西太平洋暖池海温与广州前汛期降水为负相关关系,表明当海温降低(升高)时,广州前汛期降水偏多(偏少)。研究还表明广州降水与厄尔尼诺事件有着密切的相关关系,在中、强厄尔尼诺当年,广州雨水偏多,在弱厄尔尼诺当年,广州雨水偏少(梁暖培和梁必骐,1995)。Niño 3 区的海温异常是广州春季降水最强的前兆信号,当前冬 Niño 3 区海温正异常时,春季副热带高压偏强、位置偏西,华南处于副高边缘垂直运动的上升区,菲律宾以东的低层反气旋环流增加了向华南的水汽输送,从而使得广州春季降水偏多(谷德军等,2005)。徐海明(1997)研究了华南夏季降水与全球海温的关系,结果表明华南夏季降水与前期冬季 1 月份的黑潮海温存在显著的负相关,与前期春季和同期夏季的菲律宾和中国台湾一带的海温以及北大西洋中纬度海温存在显著的负相关。梁建茵(1991)研究发现,南海地区暖水年广东的雨量大于冷水年。吴晓彤等(1995)用数值模拟研究表明,南海初夏海温增暖后,华南地区低层有水汽辐合,并有较强的上升运动配置,使该地区降水增加。

除海温的影响外,其他相关研究则指出我国华南汛期降水会受到副热带高压、极涡、南海季风以及南极海冰等的影响(梁建茵,1994;高绍凤等,1994;吴尚森等,1998;吴恒强等,1998;Yang et al., 2004),青藏高原、欧亚大陆的积雪覆盖也会对我国华南夏季降水产生影响(陈烈庭和阎志新,1979;蔡学湛,2001;Wu and Kirtman, 2007)。但总的来说,上述研究大都是对华南汛期降水的成因进行分析,针对华南春季降水成因的研究则较少。前期研究表明,华南春季降水占全年总降水量的比重较大,达到 32%,因此对华南春季降水进行研究是非常有必要的(李宏毅,2009)。又由于春季正是华南农作物播种和生长期,自然降雨是作物需水的主要来源,因而对影响华南春季降水的因子进行研究具有重要的实际意义。

华南春季每个月份的降水影响系统是不同的,3 月,华南处于冬季风控制时期,夏季风还没有爆发,华南主要为锋面降水;4 月,是北半球春季代表月,华南处于冬季风向夏季风过渡的季节;5 月下旬,夏季风爆发,华南主要为夏季风降水。前期研究表明(李宏毅,2009),华南 3、4、5 月份降水分别占年降水总量的 7%、10%、15%,且华南地区 3 月份降水异常与 4、5 月份有明显的不同(图略),海温显著异常的区域也不相同,表明影响 3 月份降水的海温因子与 4、5 月份有所不同。因此,单独研究 3 月份降水异常的环流特征和海温场特征有较为重要的意义,以期揭示华南 3 月份降水异常的成因,为国家防灾减灾提供依据。

## 2 资料与方法介绍

本文选取广东、广西、海南、福建四省作为华南区域来研究,主要包括以下 18 个气象站点:浦城、福州、永安、厦门、梅县、汕头、曲江、河源、广州、阳江、湛江、海口、桂林、柳州、梧州、南

宁、北海、百色，本文研究中使用了这些站点的逐月降水资料，时间范围为 1951~2005 年。李宏毅（2009）对华南地区上述的 18 站春季降水量距平场进行 EOF 分析，第一特征向量反映的是华南春季降水异常具有全区一致性降水偏多或偏少的特征，其方差贡献率为 47.05%，在各特征向量中占绝对主导地位，因此在本文中把华南区域 18 站的降水作为整体来分析，是有意义的。在 NCEP/NCAR 资料中，选取为（18°N~28°N，104°E~120°E）作为华南区域来进行研究。

本文所用的资料还有 NCEP/NCAR 的 3 月份 850 hPa 风场、500 hPa 高度场和海平面气压场格点数据，分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，时间范围为 1951~2005 年；NOAA 月平均海温数据，分辨率为  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ，覆盖时段为 1951~2005 年。本文所用的 Niño3.4 指数为 Niño3.4 海区（5°S~5°N，170°W~120°W）的海温距平序列。

本文以相关分析法及合成分析法作为主要研究方法。

### 3 华南 3 月份降水与同期环流场的相关分析

#### 3.1 华南 3 月份降水异常与同期海平面气压的相关

图 1 为华南 3 月份降水异常与同期海平面气压的相关。由图可见，华南 3 月份降水与西太平洋及我国南海海区的海平面气压有显著的正相关关系，相关系数最大值超过了 0.6，与北太平洋以及赤道东太平洋的海平面气压有显著的负相关关系，相关系数最小值小于 -0.4，这些相关系数均通过了 95% 的

信度检验。

当 3 月份西太平洋海区及我国南海海区的海平面气压异常偏高时，容易在该海面上空形成反气旋性环流，该环流西南部的东南风将把海上大量的暖湿气流输送到我国华南地区，有利于华南降水的增加。当北太平洋的海平面气压偏低时，就会在北太平洋及我国沿岸形成异常气旋性环流，这种气压异常场分布有利于我国华南地区北边界出现偏北风异常，将冷空气输送到我国华南地区，异常东南暖湿气流与北方东部异常冷空气在华南地区形成水汽的异常辐合，最终导致华南地区 3 月份降水的显著增加。

#### 3.2 华南 3 月份降水异常与同期 500 hPa 高度场的相关

图 2 为华南 3 月份降水异常与同期 500 hPa 高度场的相关。由图可见，华南 3 月份降水与赤道辐合带的 500 hPa 高度场存在大范围显著的正相关关系，相关系数最大值超过了 0.5，与我国大陆地区及北太平洋海区的高度场存在显著的负相关关系，最小相关系数小于 -0.4，这些相关系数均通过了 95% 的信度检验。该图表明，华南 3 月份降水偏多与赤道辐合带偏弱和我国大陆地区及北太平洋海区的高度场偏低有关。反之，则情况相反。

如果我国大陆地区高度场偏低，有利于该地区形成异常的气旋性环流，华南地区位于气旋异常环流的东南侧，从而盛行西南异常气流，加强了海上暖湿气流向华南地区的输送；北太平洋海区高度场偏低，该地区形成异常的气旋性环流，这种环流配

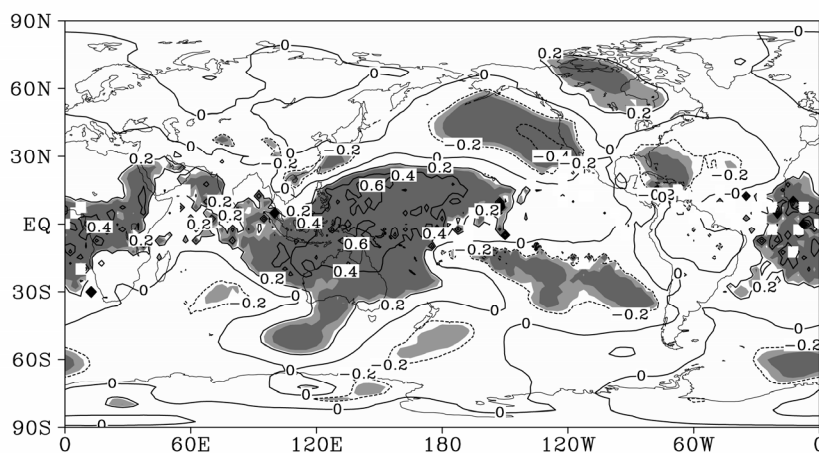


图 1 华南 3 月份降水异常与同期海平面气压的相关（深、浅阴影分别表示通过了 95% 和 90% 的信度检验）

Fig. 1 The correlation between March precipitation anomalies over South China and its associated sea level pressure for the same period (Heavy and light shadings indicate statistical confidence at the 95% and 90% levels, respectively)

置有利于我国大陆北方沿岸出现偏北风异常。偏南暖湿气流与偏北冷气流在华南地区形成水汽的异常辐合, 导致华南地区 3 月份降水的异常增多。

### 3.3 华南 3 月份降水异常与 850 hPa 风场的相关

图 3 为华南 3 月份降水异常与同期 850 hPa 风场的相关。该图表明, 当我国华南 3 月份降水偏多时, 同期北太平洋海区出现大范围的气旋性环流异常、西太平洋及我国南海海面上出现大范围反气旋性环流异常, 华南地区位于西面来自孟加拉湾地区的西南气流和东面来自太平洋的东南气流的汇合地带, 两股气流的汇合加剧了华南地区的正压不稳定, 有利于对流加剧和降水增多。3 月份降水与这些环流异常均存在显著的正相关, 相关系数均通过了 95% 的信度检验。

当 3 月份北太平洋海区存在异常的气旋性环流时, 这种环流配置有利于我国大陆北方沿岸出现偏

北风异常, 导致冷空气向南侵入, 西太平洋及南海海面上的异常反气旋环流, 其西南部的东南风会将海上大量的暖湿水汽输送到我国华南地区, 导致华南降水的异常偏多。孟加拉湾和阿拉伯海海面上的西南风也会加大向我国华南地区的水汽输送。我国华南上空的气旋性环流异常, 导致在华南地区低层形成风场的异常辐合, 有利于水汽的辐合上升, 对流增强, 这也是华南降水的异常增多的原因。

综上所述, 当华南 3 月份降水偏多时, 西太平洋海区及我国南海海区的海平面气压异常偏高, 北太平洋及赤道东太平洋的海平面气压异常偏低; 赤道辐合带偏弱, 我国大陆地区及北太平洋海区的高度场异常偏低; 850 hPa 北太平洋海区存在大范围强大的异常气旋性环流, 有利于我国大陆北方沿海地区出现偏北风异常, 导致冷空气向南侵入; 西太平洋和我国南海海面上存在大范围异常强大的反

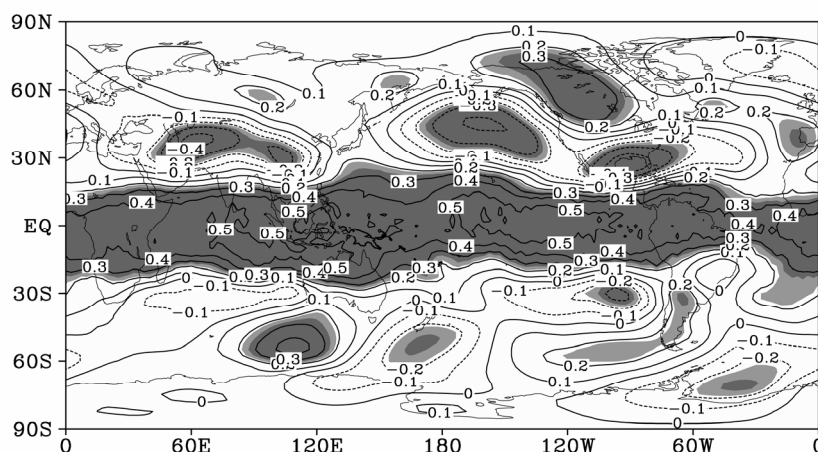


图 2 华南 3 月份降水异常与同期 500 hPa 高度场的相关 (深、浅阴影分别表示通过了 95% 和 90% 的信度检验)

Fig. 2 The correlation between precipitation anomalies in March over South China and geopotential height at 500 hPa for the same period (Heavy and light shadings indicate statistical confidence at the 95% and 90% levels, respectively)

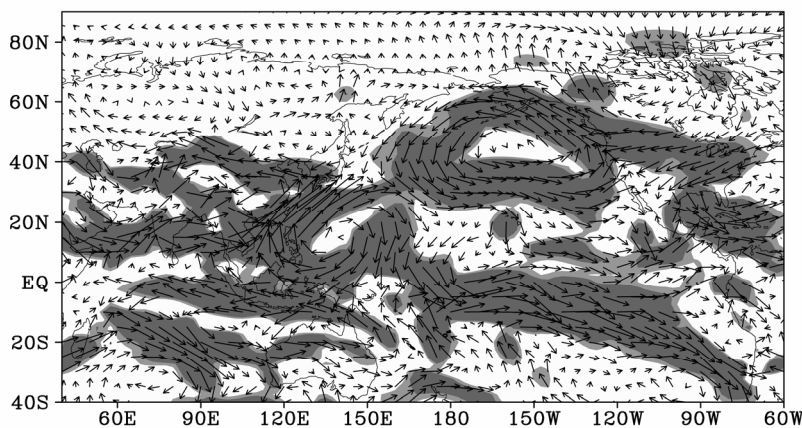


图 3 华南 3 月份降水异常与同期 850 hPa 风场异常的相关 (矢量箭头为相关系数, 深、浅阴影分别表示通过了 95% 和 90% 的信度检验)

Fig. 3 The correlation between March precipitation anomalies over South China and its associated wind at 850 hPa for the same period (vector arrows for the correlation coefficient, Heavy and light shadings indicate statistical confidence at the 95% and 90% levels, respectively)

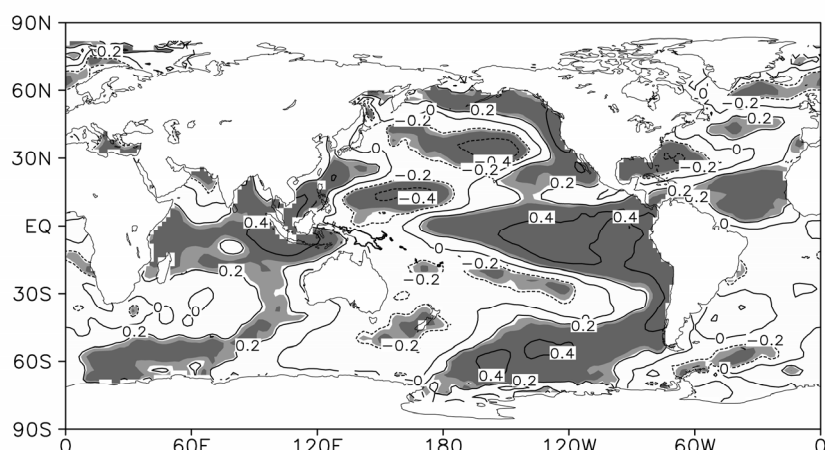


图 4 华南 3 月份降水异常与同期全球海面温度的相关 (深、浅阴影分别表示通过了 95% 和 90% 的信度检验)

Fig. 4 The correlation between March precipitation anomalies over South China and sea surface temperature for the same period (Heavy and light shadings indicate statistical confidence at the 95% and 90% levels, respectively)

气旋性环流, 有利于该环流西南侧东南风的增强, 与来自孟加拉湾地区的西南暖湿气流相遇, 导致华南地区降水增多。另外, 华南低层存在的气旋性环流异常也有利于该地区水汽的异常辐合, 这也是华南地区降水增多的原因。反之, 则情况相反。

海温异常可以通过调节大气环流而对华南地区降水产生影响, 例如李宏毅等 (2010) 的研究已经表明华南 3 月份降水的年代际变化与太平洋年代际振荡 (PDO) 有着密切的关系, 但是, 以上研究主要针对年代际时间尺度, 而华南 3 月份降水的年际异常与全球其他海域海温的关系如何? 下面将针对这个问题进行分析。

## 4 华南 3 月份降水异常与海温的关系

### 4.1 华南 3 月份降水异常与同期海温的相关

图 4 为华南 3 月份降水异常与同期全球海面温度的相关。由图可见, 华南 3 月份降水与北印度洋及南海附近海温、赤道中东太平洋海温存在显著的正相关, 最大相关系数值超过 0.4, 与西太平洋暖池区海温及北太平洋海温存在显著的负相关, 最小相关系数小于 -0.4, 相关系数均通过了 95% 的信度检验。也就是说当北印度洋及南海附近海温、赤道中东太平洋海温异常偏高时, 而当西太平洋暖池区海温及北太平洋海温偏低时, 华南 3 月份降水偏多。反之, 则情况相反。上述这些相关现象说明, 华南 3 月份降水异常与北太平洋、赤道中东太平洋和北印度洋及南海附近海温的异常有着密切的关系。

### 4.2 ENSO 与我国华南 3 月份降水的关系

图 5 为逐月的 Niño3.4 指数与华南 3 月份降水

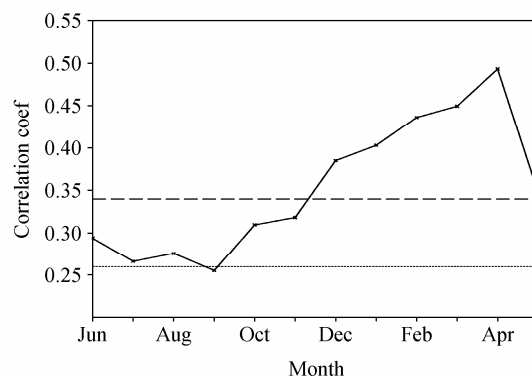


图 5 逐月 Niño3.4 指数与华南 3 月份降水的超前、滞后相关, 图中短虚线和长虚线分别代表通过 95% 和 99% 的信度检验

Fig. 5 The lead-lag relationship between the monthly Niño3.4 index and precipitation in March over South China, the short dashed line and long dashed line represent the 95% and 99% reliability test, respectively

的超前滞后相关, 短虚线和长虚线分别代表通过 95% 和 99% 的信度检验, 其中 6~12 月为前一年的逐月 Niño3.4 指数与降水的相关, 1~5 月为当年的逐月 Niño3.4 指数与降水的相关。由图分析得到, 前一年 12 月份以及当年 1~5 月份的 Niño3.4 指数与 3 月份降水有着显著的正相关, 相关系数均通过了 99% 的信度检验。我们只考虑前期以及同期海温异常对华南 3 月份降水的影响, 其中, 2 月份的 Niño3.4 指数与华南 3 月份降水的相关系数为 0.436, 3 月份的 Niño3.4 指数与华南 3 月份降水的相关系数为 0.450。

图 6a、6b 分别为 1951~2005 年 2、3 月份的 Niño3.4 指数, 由图可见, Niño3.4 指数均在 1977 年左右发生年代际转折, 从 1977 年之前的负位相转变为正位相。这表明, 1977 年以后, 中东太平洋

发生了年代际的增温现象,即发生厄尔尼诺事件的次数增多。李宏毅等(2010)研究已表明,华南3月份降水在1978年左右发生年代际转折,1962~1977年,降水相对偏少,1978~1998年,降水相对偏多。这就表明了华南3月份降水的年代际变化可能与ENSO事件的年代际变化也有着密切的关系。

为研究ENSO对华南3月份降水的可能影响机理,我们对前期2、3月份的Niño3.4指数做了合成分析,以指数大于1个标准差作为中东太平洋海温异常偏暖年份,小于1个标准差作为中东太平洋海温异常偏冷年份,对7个偏暖年份(1958、1966、1969、1988、1987、1992、1998年)和9个偏冷年份(1951、1955、1956、1971、1974、1985、1989、1999、2000年)进行合成分析。

图7为合成的3月份海平面气压异常场。由图可见,当Niño3.4指数为正异常时,中东太平洋海温异常偏暖,西太平洋暖池区海温异常偏冷,导致西太平洋暖池附近海平面气压显著偏高(图7a);当Niño3.4指数为负异常时,中东太平洋海温异常

偏冷,西太平洋暖池区海温异常偏暖,西太平洋暖池附近海平面气压显著偏低,这些显著性均通过了95%的信度检验(图7b)。

从合成的3月份850 hPa风场异常场来看,当Niño3.4指数为正异常时,西太平洋海区存在大范围异常强大的反气旋性环流,南海出现大范围强大的西南风异常(图8a),增加了从海上向华南地区的水汽输送,而来自西面的异常强的西风带与西南气流相汇合,加剧了华南地区正压不稳定,有利于华南地区降水的增加;当Niño3.4指数为负异常时,西太平洋海区存在大范围异常强大的气旋性环流,南海出现大范围强大的东北风异常,减少了从海上向华南地区的水汽输送,华南地区处在西面偏东风与东北风之间的辐散风场控制下,最终导致华南地区降水的减少(图8b)。

本文用850 hPa高度场上1530 m闭合曲线来表示西太平洋副热带高压的位置,如图9为合成850 hPa高度场上西太平洋副热带高压的位置。由图可知,当Niño3.4指数为正异常时,西太平洋副热带高压偏强偏西,南海的偏南风将会增强(图8a),

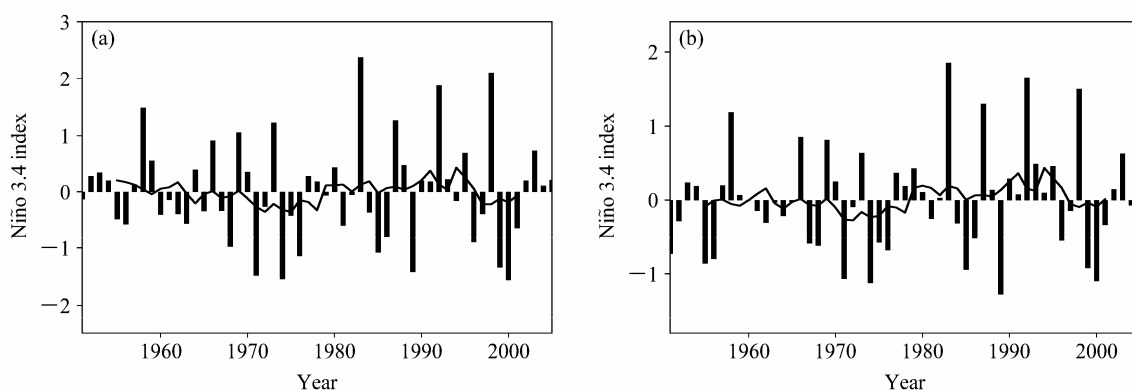


图6 1951~2005年的Niño3.4指数:(a)前期2月份;(b)同期3月份。折线代表9年滑动平均

Fig. 6 The normalized means of Niño3.4 index in (a) previous February and (b) March for the period of 1951~2005. The curved lines indicate a nine-year running mean

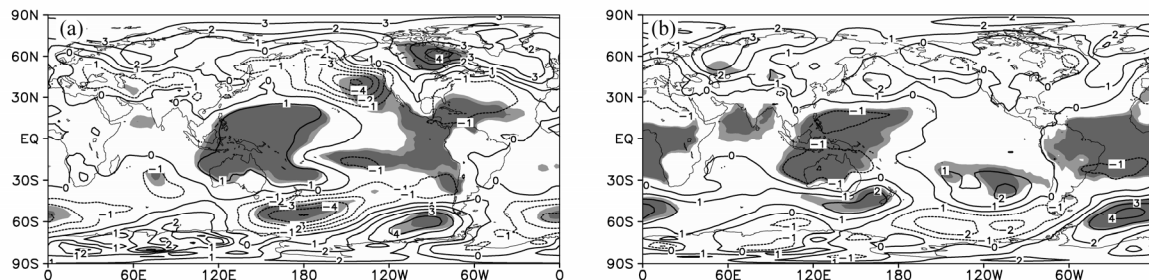


图7 (a) Niño3.4指数正异常年、(b) Niño3.4指数负异常年合成的海平面气压异常(单位:hPa),深、浅阴影分别表示通过了95%和90%的信度检验

Fig. 7 The composite sea level pressure anomalies for (a) positive Niño3.4 index years and (b) negative Niño3.4 index years (unit: hPa). Heavy and light shadings indicate statistical confidence at the 95% and 90% levels, respectively

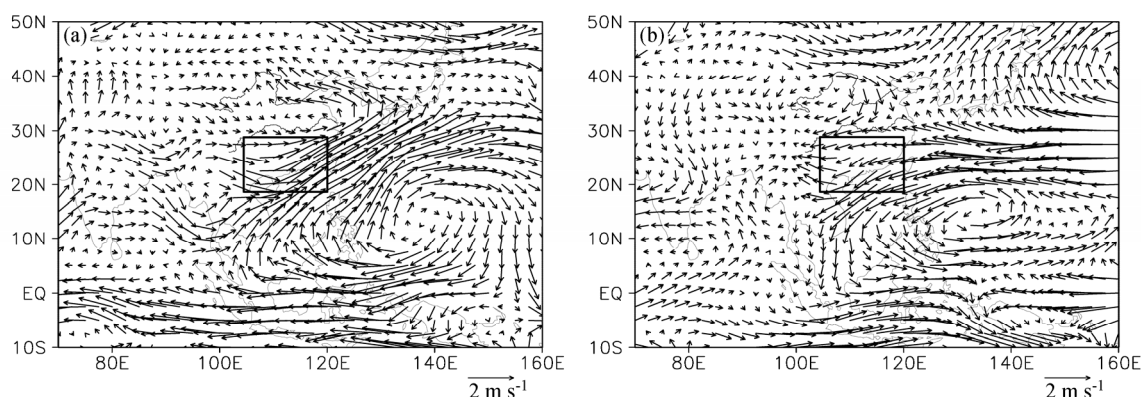


图 8 (a) Niño3.4 指数正异常年、(b) Niño3.4 指数负异常年合成的 850 hPa 风场异常, 方框区域为华南区域

Fig. 8 The composite anomalous wind vectors at 850 hPa for (a) positive and (b) negative Niño3.4 index years. The rectangle shows South China

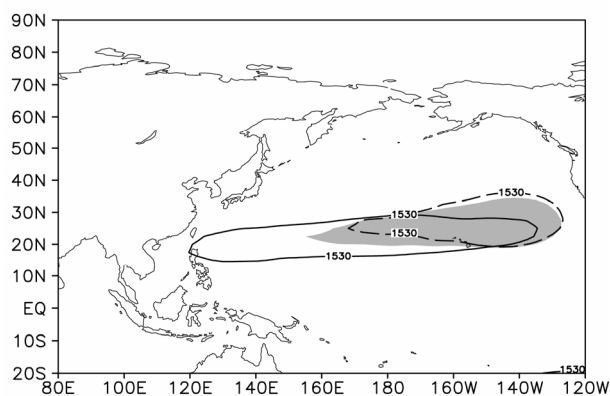


图 9 Niño3.4 指数正异常年 (实线)、Niño3.4 指数负异常年 (长虚线) 合成的 850 hPa 高度场上西太平洋副热带高压的位置, 阴影区为气候平均场

Fig. 9 The composite positions of the western Pacific subtropical high at 850 hPa for the positive (solid line) and negative (long dashed line) Niño3.4 index years, the shading area shows the climate field

导致南海异常偏南的暖湿气流输送到我国华南地区, 有利于华南地区 3 月份降水的增加; 当 Niño3.4 指数为负异常时, 西太平洋副热带高压偏弱偏东, 南海出现显著的偏北风异常 (图 8b), 导致从海上向华南地区的水汽输送减弱, 因此造成华南地区 3 月份降水的减少。

谷德军等 (2005) 研究了广州春季降水的前兆信号, 也得到了类似于本文的结论, 他们的研究表明, Niño 3 区的海温异常是广州春季降水最强的前兆信号, 前冬 Niño 3 区海温异常对广州春季降水的影响是通过影响春季太平洋副热带高压和低层风场异常实现的, 前冬 Niño 3 区海温正异常时, 春季副热带高压偏强、位置偏西, 华南处于副高边缘垂直运动的上升区, 菲律宾以东的低层反气旋环流增加了向华南的水汽输送, 从而使得广州春季降水偏多。当前冬 Niño 3 区海温负异常时, 则情况相反。

前冬 Niño 3 区海温负异常时, 副热带高压偏弱、位置偏东, 华南地区远离副高、处于垂直运动的下沉区, 菲律宾以东低层为气旋环流控制, 华南地区盛行偏北气流, 不利于水汽的向北输送, 从而使得广州春季降水偏少, 造成春旱。

关于赤道东太平洋海温异常对西太平洋大气环流的影响及机理过去也有研究 (Zhang et al., 1996; Wang et al., 2000), 以上 2 篇文章关于赤道东太平洋海温异常对西太平洋大气环流的影响, 侧重于从环流场的垂直结构、辐合辐散等动力学角度上来分析整个环流场的变化及相互关系, 而本文侧重点在于找出影响华南 3 月份降水的影响因子, 而不在于对赤道东太平洋海温异常如何对西太平洋大气环流的影响机制做出详细的解释。而且以上文章也均提到了, 在 ENSO 暖位相时, 西太平洋附近出现反气旋性环流, 北太平洋出现气旋性环流, 我国华南地区盛行偏南风异常, 这 2 篇文章的这个结论和本文的结论是一致的。

由此我们概括出 ENSO 对华南 3 月份降水异常的可能影响机理: 前期厄尔尼诺出现、持续并发展, 赤道中东太平洋海温异常偏高, 西太平洋暖池区海温异常偏低, 西太平洋暖池区对流层低层的气温偏低、气压偏高, 西太平洋副热带高压偏强、位置偏西, 导致西太平洋海区的反气旋性异常环流增强, 从南海向华南地区的异常西南暖湿气流输送增强, 850 hPa 风场有明显的偏西风与西南风的辐合, 从而导致我国华南 3 月份降水的异常增多。反之, 当前期冬季出现拉尼娜现象时, 情形刚好相反, 赤道中东太平洋海温异常偏冷, 西太平洋暖池区海温异常偏高, 该海区的对流层低层的气温偏高、气压偏低, 西太平洋副热带高压偏弱、位置偏东, 西太平洋海区

存在一个气旋性环流异常,南海出现异常东北风,华南地区有偏东风与东北风的辐散,从而导致华南3月份降水的异常偏少。

#### 4.3 北印度洋及南海附近海温异常与我国华南3月份降水的关系

由图4分析得到,北印度洋及南海附近海区( $15^{\circ}\text{S}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ,  $75^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$ )海温与华南3月份降水有着显著的正相关,为研究该海区海温与华南3月份降水的关系,我们计算了逐月的北印度洋及南海附近海温与3月份降水的超前滞后相关(图10a),其中6~12月为前一年的海温与降水的相关,1~5月份为当年的海温与降水的相关。分析得到,同期3月份北印度洋及南海附近海温与华南3月份降水有着显著的正相关,相关系数为0.408,通过了99%的信度检验。

图10b为1951~2005年3月份北印度洋及南海附近海温的距平序列,由图可知,3月份北印度洋及南海附近海温在1978年左右发生年代际转折,从1978年之前的负位相转变为正位相。也就是说,1978年以后,北印度洋及南海发生了年代际的增温现象,而华南3月份的降水也是在1978年左右发生年代际转变,那么华南3月份降水的年代际变化也可能与北印度洋及南海附近海温的年代际增暖有关。

为研究北印度洋及南海附近海温对3月份降水的可能影响机理,我们对同期3月份的北印度洋及南海附近海温做了合成分析,以指数大于1个标准差作为北印度洋及南海附近海温异常偏暖年份,小

于1个标准差作为异常偏冷年份,因此对选出的8个偏暖年份(1983、1988、1998、1999、2001、2002、2003、2005年)和9个偏冷年份(1951、1963、1965、1967、1968、1971、1972、1974、1976年)进行合成分析。

海平面气压场(图略)分析可知,在北印度洋及南海附近海温正异常年,东亚大陆和西太平洋地区有正的异常,华南地区处在弱的负异常区,存在低压异常,有利于辐合上升运动,华南地区降水增加;北印度洋及南海附近海温负异常年的情况相反,华南地区存在高压异常。500 hPa位势高度场(图略)特征与海平面气压场类似,在北印度洋及南海附近海温正异常年,华南地区处在弱的负异常区,有低压异常;北印度洋及南海附近海温负异常年的情况相反,不利于华南降水增多。

风场合成分析图证实了在北印度洋及南海附近海温正异常时华南地区低压异常的存在(图11a)。从风场可以看出,我国华南地区北边界有异常的偏北风,而南边界有明显的西南气流,华南地区存在气旋式环流异常,有明显的气旋式异常风切变,有利于在华南地区形成气流的异常辐合;菲律宾以东洋面上存在一个异常的反气旋性环流,其西北部的西南风也增加了向华南地区的水汽输送,因此华南地区3月份降水异常偏多。当北印度洋及南海附近海温负异常时,我国华南地区北边界有异常偏南风,南边界有异常东北风,华南地区出现一个异常强大的反气旋性环流,导致在华南区域形成气流的异常辐散;同时西太平洋及我国南海附近洋面

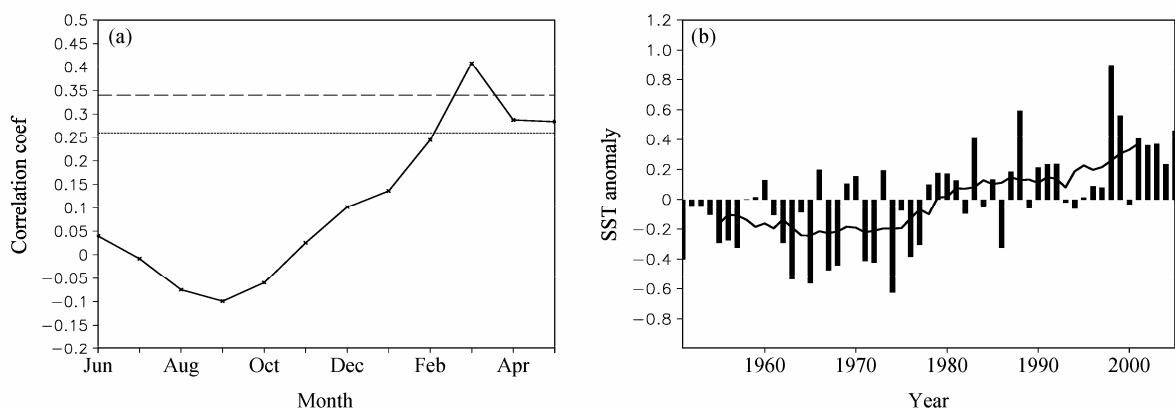


图10 (a)逐月北印度洋及南海附近海温与华南3月份降水的超前、滞后相关,图中短虚线和长虚线分别代表通过95%和99%的信度检验;(b)1951~2005年3月份北印度洋及南海附近海温的距平序列,折线代表9年滑动平均

Fig. 10 (a) The lead-lag relationship between the monthly sea surface temperature in the North Indian Ocean and the South China Sea and precipitation in March over South China, the short dashed line and long dashed line represent the 95% and 99% reliability test, respectively; (b) the time series of sea surface temperature anomaly in the North Indian Ocean and the South China Sea in March for the period of 1951-2005 (The curved line indicates a nine-year running mean)

上存在一个大范围的异常强大的气旋性环流, 该环流西北部的东北风异常减弱了水汽向华南地区的输送, 最终造成华南地区 3 月份降水的异常偏少(图 11b)。

从合成纬向平均 ( $100^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$ ) 的垂直风场可以看出, 当北印度洋及南海附近海温偏高时, 由于热力作用, 经向 ( $15^{\circ}\text{N}\sim 28^{\circ}\text{N}$ ) 之间存在异常上升运动, 华南地区处于异常垂直运动的辐合上升区, 证实了该地区低层存在气旋式风场的异常辐合, 有利于华南降水的增加; 同时该区域的气流异常辐合上升, 到达高层异常辐散后分别向南、北运动, 向南的气流在  $10^{\circ}\text{N}$  附近异常下沉, 到达底层后向北运动, 使得南海地区出现偏南风异常, 增加了向华南地区的水汽输送, 向北的气流在  $40^{\circ}\text{N}$  附近异常下沉, 到达低层后向南折回, 致使华南北边界出现偏北风异常(图 12a), 因而有利于在华南地区形成水汽的异常辐合, 最终导致华南地区 3 月份降水的增加。当北印度洋及南海附近海温偏低时, 华南区域处于异常垂直运动的辐散下沉区, 有利于该地区低层产生异常反气旋式环流, 反气旋式风场

切变引起该地区风场的辐散, 最终导致华南地区降水减少; 另外该区域的气流为异常辐散下沉, 下沉气流到达低层后向南、北两个方向运动, 向南的气流使南海地区低层出现偏北风异常, 不利于水汽向华南地区输送, 向北的气流使华南北边界出现偏南风异常(图 12b), 因此在华南地区形成异常的水汽辐散, 最终导致华南地区 3 月份降水的减少。上述分析得出, 当北印度洋及南海附近海温偏暖(冷)时, 华南地区处于异常辐合上升(辐散下沉)运动区, 有利于该地区低层产生异常的气旋式(反气旋式)环流, 南海地区存在显著的偏南(北)风异常, 华南地区北边界存在显著的偏北(南)风异常, 使华南地区形成异常的水汽辐合(辐散), 从而导致降水的偏多(少)。吴晓彤等(1995)用数值模拟的方法研究了初夏南海海温对华南降水的影响, 试验结果表明, 南海的海表温度增暖后, 华南地区低层的水汽辐合增强, 并有较强的上升运动配置, 使该地区降水增加, 这与本文的研究结论是一致的。

图 13 为合成的  $850\text{ hPa}$  高度场的西太平洋副热带高压的位置, 由图分析可得, 当北印度洋及南

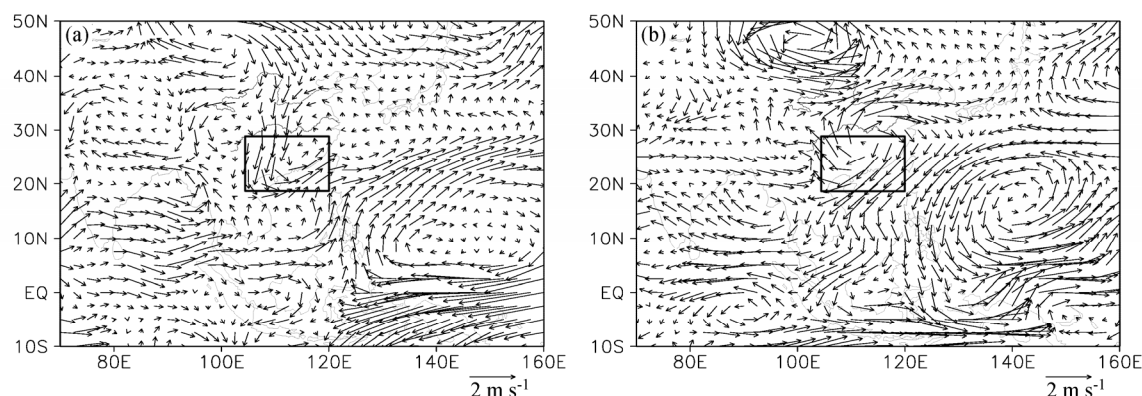


图 11 合成  $850\text{ hPa}$  风场异常: (a) 北印度洋及南海附近海温正异常年; (b) 北印度洋及南海附近海温负异常年。方框区域为华南区域

Fig. 11 The composite anomalous wind vectors at  $850\text{ hPa}$  for (a) positive and (b) negative anomalous SST years in the northern Indian Ocean and the South China Sea. The rectangle shows South China

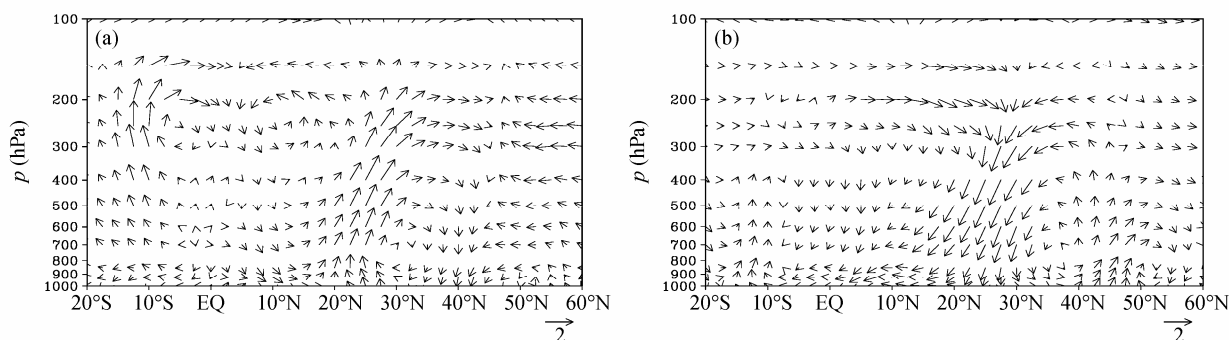


图 12 合成纬向平均 ( $100^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$ ) 垂直风场异常: (a) 北印度洋及南海附近海温正异常年; (b) 北印度洋及南海附近海温负异常年

Fig. 12 The composite anomalous zonally averaged ( $110^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$ ) vertical wind field for (a) positive and (b) negative anomalous SST years in the northern Indian Ocean and the South China Sea

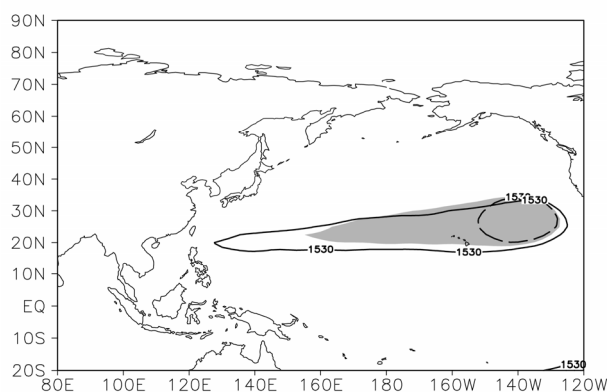


图 13 北印度洋及南海附近海温为正异常年(实线)和负异常年(长虚线)合成的 850 hPa 高度场上西太平洋副热带高压位置,阴影区为气候平均场

Fig. 13 The composite positions of the western Pacific subtropical high at 850 hPa for the positive (solid line) and negative (long dashed line) anomalous SST years in the northern Indian Ocean and the South China Sea, the shading area shows the climate field

海附近海温偏高时,副热带高压位置偏西、强度偏强,向华南的水汽输送增强,造成降水偏多;当北印度洋及南海附近海温偏低时,副热带高压位置偏东、强度偏弱,向华南的水汽输送减弱,造成降水偏少。可见北印度洋及南海附近海温异常对副高具有加强和吸引西伸作用或者减弱和东移作用,进而影响华南降水异常。由此可见,副热带高压的偏西偏强不仅与赤道中东太平洋海温的增暖有关,也与北印度洋及南海附近海温的增暖有着密切的关系。梁建茵和林元弼(1992)通过数值模拟试验发现,南海海温正距平对副热带反气旋有一定的“吸引”西伸的作用,负距平则有“排斥”作用,这种由于南海海温异常所造成的副热带高压向东向西位置的移动与本文分析结果一致,这也进一步证实了南海海温在影响副热带高压强度及东西位置这方面的重要性。

由此,我们概括出北印度洋及南海附近海温异常影响华南 3 月份降水的可能影响机理:当北印度洋及南海附近海温异常偏高时,华南地区处在较强的垂直上升运动区,华南地区低层存在一个显著的气旋性环流异常,有利于华南地区低层的水汽辐合,从而导致华南地区降水的增加。另外华南区域的气流异常辐合上升,到达高层后分别向南、北运动,向南的气流在 10°N 附近异常下沉,到达低层后向北运动,使得南海地区出现偏南风异常,增加了向华南地区的水汽输送,向北的气流会在 40°N 附近异常下沉,下沉气流在低层向南折回,致使华

南北边界盛行偏北风异常,同时副热带高压位置偏西、强度偏强,南海上的偏南风异常加强,造成向华南区域的水汽输送增强,华南北边界的偏北风与南边界的偏南风又形成水汽异常辐合,最终导致华南降水的异常偏多。反之,则情况相反。

## 5 小结与讨论

本文从华南 3 月份降水与同期大气环流场、海温场的相关关系出发,分析了影响华南 3 月份降水的相关因子和可能物理机理,发现当华南 3 月份降水偏多时,在对流层中低层,北太平洋海区存在气旋性环流,西太平洋及南海海面上存在反气旋性环流,这样的环流异常有利于东南暖湿气流与北方东部异常冷空气在华南地区形成水汽辐合,导致降水显著增多。进一步的分析表明,ENSO 和北印度洋及南海附近海温是影响华南 3 月份降水异常的重要外强迫因子。通过本文的研究,可以概括出 ENSO 和北印度洋及南海附近海温对华南 3 月份降水异常的影响机理如下:

ENSO 对华南 3 月降水异常的影响是通过影响春季西太平洋副热带高压和低层风场异常实现的。当厄尔尼诺(拉尼娜)出现、维持并发展,赤道中东太平洋海温异常偏高(低),西太平洋暖池区海温异常偏低(高),西太平洋暖池区对流层低层的气温偏低(高)、气压偏高(低),西太平洋副热带高压偏强(弱)、位置偏西(东),导致西太平洋海区的反气旋(气旋)性异常环流增强(减弱),从南海向华南地区的水汽输送增强(减弱),有利于华南地区降水的异常偏多(减少)。

北印度洋及南海附近海温对华南 3 月降水异常的影响则是通过造成华南地区的垂直环流场异常和低层风场异常,以及西太平洋副热带高压异常来实现的。当北印度洋及南海附近海温偏高(低)时,华南地区处于较强的垂直上升(下沉)运动区,有利于该地区产生气旋(反气旋)性的环流异常,从而华南地区低层存在异常的水汽辐合(辐散),最终导致华南地区降水的增加(减少)。另外,华南地区的垂直上升(下沉)运动,致使华南地区北边界低层盛行偏北(南)风异常,同时北印度洋及南海附近海温偏高(低)时,造成副热带高压位置西伸(东缩)、强度偏强(弱),南海盛行偏南(北)风异常,向华南的水汽输送增强(减弱),华南北边界的偏北(南)风与南边界的偏南(北)风又形

成水汽异常辐合(辐散), 最终导致华南地区 3 月份降水的异常偏多(少)。

值得指出的是, 本文只是从海温及环流场的角度分析了华南 3 月份降水的可能影响机制。诸多研究表明, 华南汛期降水还与前期冬季青藏高原积雪等有着密切的关系(陈烈庭和阎志新, 1979; 蔡学湛, 2001; Wu and Kirtman, 2007)。因此从陆面过程的角度探讨我国华南 3 月份降水变化的机理, 也是将来需要进一步开展的工作之一。另外, 前期及同期海温异常通过影响后期大气环流异常来影响华南 3 月份降水异常的可能机制只是在诊断分析的基础上得来的, 其中更细致的影响机理应由数值模拟方法予以进一步揭示。

### 参考文献 (References)

- 蔡学湛. 2001. 青藏高原雪盖与东亚季风异常对华南前汛期降水的影响 [J]. 应用气象学报, 12 (3): 358–367. Cai Xuezhan. 2001. The influence of abnormal snow cover over Qinghai–Xizang Plateau and East Asian monsoon on early rainy season [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 12 (3): 358–367.
- 陈烈庭, 阎志新. 1979. 青藏高原冬春季积雪对大气环流和我国南方汛期降水的影响 [M]// 中长期水文气象预报文集 (第一集). 北京: 水利电力出版社, 185–194. Chen Lieting, Yan Zhixing. 1979. Influences of snow cover over the Tibetan Plateau during winter and spring on atmospheric circulation and on rainfall over the southern China in pre-monsoon period [M]// Collected Papers on Medium-and Long-term Hydrologic and Meteorological Forecasts (1) (in Chinese). Beijing: Water Conservancy and Power Press, 185–194.
- 陈艺敏, 钱永甫. 2005. 西太平洋暖池海温对华南前汛期降水影响的数值试验 [J]. 热带气象学报, 21 (1): 13–23. Chen Yimin, Qian Yongfu. 2005. Numerical study of influence of the SSTA in western Pacific warm pool on precipitation in the first flood period in South China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 21 (1): 13–23.
- 邓立平, 王谦谦. 2002. 华南前汛期 (4~6 月) 降水异常特征及其与我国近海海温的关系 [J]. 热带气象学报, 18 (1): 45–55. Deng Liping, Wang Qianqian. 2002. On the relationship between precipitation anomalies in the first raining season (April–June) in southern China and SST over offshore waters in China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 18 (1): 45–55.
- 高绍凤, 夏骏峰, 何玉冰. 1994. 华南夏季大气环流的变异及其与季风降水的关系 [J]. 中山大学学报论丛, (5): 1–6. Gao Shaofeng, Xia Junfeng, He Yubing. 1994. Anomalous of general circulation and relation between it and monsoon precipitation over South China in summer [J]. Supplement to the Journal of Sun Yat-Sen University (in Chinese), (5): 1–6.
- 谷德军, 纪忠萍, 林爱兰, 等. 2005. 广州春季降水的变化及其前兆信号 [J]. 热带气象学报, 21 (6): 579–588. Gu Dejun, Ji Zhongping, Lin Ailan, et al. 2005. The variation and precursor of Guangzhou spring rainfall [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 21 (6): 579–588.
- 李春晖, 梁建茵, 吴尚森. 2004. 近百年广州汛期降水变化特征及其影响因子 [J]. 热带气象学报, 20 (4): 365–374. Li Chunhui, Liang Jianyin, Wu Shangseng. 2004. The characteristics of precipitation in the raining season in Guangzhou and its affecting factors over the past 100 years [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 20 (4): 365–374.
- 李宏毅. 2009. 海温及气溶胶对我国华南春季降水演变特征的影响及作用机理研究 [D]. 中国科学院研究生院博士学位论文, 144 pp. Li Hongyi. 2009. Impact of sea surface temperature and aerosol on the variabilities of spring precipitation over South China and its mechanisms [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Graduate university of Chinese Academy of Sciences, 144pp.
- 李宏毅, 林朝晖, 陈红. 2010. 我国华南 3 月份降水年代际变化的特征 [J]. 气候与环境研究, 15 (3): 311–321. Li Hongyi, Lin Zhaohui, Chen Hong. 2010. Interdecadal variability of precipitation in March over South China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (3): 311–321.
- 梁建茵. 1991. 南海海温变化及其对广东雨量的影响 [J]. 热带气象, 7 (3): 246–253. Liang Jianyin. 1991. The change of South China Sea and its impact on rainfall in Guangdong [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 7 (3): 246–253.
- 梁建茵. 1994. 6 月西太平洋副高脊线的年际变化及其对华南降水的影响 [J]. 热带气象学报, 10 (3): 274–279. Liang Jianyin. 1994. The interannual variations of the subtropic high ridge position over western Pacific in June and its influence on precipitation in south of China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 10 (3): 274–279.
- 梁建茵, 林元弼. 1992. 南海海温异常对七月份中国气候的影响及数值试验 [J]. 热带气象, 8 (2): 134–141. Liang Jianyin, Lin Yuanbi. 1992. The influence of sea surface temperature anomalies for the South China Sea on July climate in China and their numerical experiments [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 8 (2): 134–141.
- 梁建茵, 吴尚森. 2001. 广东省汛期旱涝成因和前期影响因子探讨 [J]. 热带气象学报, 17 (2): 97–108. Liang Jianyin, Wu Shangseng. 2001. Formation reasons of drought and flood in the rain season of Guangdong and preceding impact factors [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 17 (2): 97–108.
- 梁暖培, 梁必骥. 1995. 厄尔尼诺事件与广州降水 [J]. 热带海洋, 14 (2): 18–23. Liang Nuanpei, Liang Biqi. 1995. The El Niño event and rainfall variation in Guangzhou [J]. Tropic Oceanology, 14 (2): 18–23.
- Wang B, Wu R G, Fu X H. 2000. Pacific–East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J]. J. Climate., 13: 1517–1536.
- 吴恒强, 张爱华, 蒋伯仁, 等. 1998. 华南前汛期降水与南极海冰变化的关系 [J]. 南京气象学院学报, 21(2): 266–273. Wu Hengqiang, Zhang Aihua, Jiang Boren, et al. 1998. Relationship between the variation of Antarctic sea ice and the pre-flood season rainfall in southern China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 21 (2): 266–273.
- Wu R G, Kirtman B P. 2007. Observed relationship of spring and summer East Asian rainfall with winter and spring Eurasian snow [J]. J. Climate, 20: 1285–1303.
- 吴尚森, 梁建茵, 黄增明. 1998. 厄尔尼诺事件及其对华南天气气候的影响 [J]. 广东气象, (1): 8–10. Wu Shangseng, Liang Jianyin, Huang Zengming. 1998. El Niño event and its impact on weather and climate

- over South China [J]. Journal of Guangdong Meteorology (in Chinese), (1): 8–10.
- 吴晓彤, 梁必骐, 王安宁. 1995. 初夏南海海温对华南降水影响的数值模拟 [J]. 海洋学报, 17 (2): 38–44. Wu Xiaotong, Liang Biqu, Wang Anning. 1995. Numerical simulation of the impact of early summer sea surface temperature in South China Sea on precipitation in South China [J]. Acta Oceanologica Sinica (in Chinese), 17 (2): 38–44.
- 谢炯光, 纪忠萍. 1999. 西北太平洋海温与广东省汛期降水的关系 [J]. 热带气象学报, 15 (1): 56–63. Xie Jiongguang, Ji Zhongping. 1999. The relation between sea surface temperature of the North–West Pacific Ocean and flood season rainfall of Guangdong Province [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 15 (1): 56–63.
- 徐海明. 1997. 华南夏季降水与全球海温的关系 [J]. 南京气象学院学报, 20 (3): 392–399. Xu Haiming. 1997. Relationship between South-China summer precipitation and global SST [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 20 (3): 392–399.
- Yang F L, Lau K M. 2004. Trend and variability of China precipitation in spring and summer: Linkage to sea-surface temperatures [J]. International Journal of Climatology, 24: 1625–1644.
- Zhang R H, Sumi A, Kimoto M. 1996. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 74 (1): 49–62.