

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 Zhao-hui, Chen Hong. 2010. Interdecadal variability of precipitation in March over South China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (3): 311–321.

我国华南3月份降水年代际变化的特征

李宏毅^{1,2,3} 林朝晖¹ 陈红¹

1 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

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3 中国气象局培训中心, 北京 100081

摘要 利用1951~2005年华南3月份降水资料、太平洋年代际振荡(PDO)指数以及NCEP再分析资料, 对华南3月份降水年代际变化特征、及其对应的大尺度环流以及与PDO的关系进行了分析。结果表明, 华南3月份降水存在显著的年代际变化特征, 并且Mann-Kendal突变检验表明华南3月份降水在1978年左右发生年代际突变, 从之前的降水偏少转变为降水偏多。我国华南3月份降水与PDO有着显著的相关。进一步研究表明, 在年代际降水偏少时期, PDO处于负位相(北太平洋海温偏高, 中东太平洋海温偏低), 北太平洋海平面气压场和高度场偏高, 亚洲大陆海平面气压场和高度场偏低, 赤道西太平洋到赤道东印度洋附近的海平面气压场偏低, 赤道辐合带附近地区的高度场偏低, 东亚对流层大气偏暖, 西太平洋副热带高压偏东, 东亚高空急流偏北, 东亚Hadley环流偏弱。在年代际降水偏多时期, PDO处于正位相, 情况则与降水偏少时期相反。

关键词 华南春季降水 年代际变化 太平洋年代际振荡

文章编号 1006-9585 (2010) 03-0311-11 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Interdecadal Variability of Precipitation in March over South China

LI Hongyi^{1,2,3}, LIN Zhao-hui¹, and CHEN Hong¹

1 *International Center for Climate and Environment Science, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049*

3 *China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081*

Abstract The decadal variation of precipitation in March over South China and its relationship with PDO (Pacific Decadal Oscillation) are analyzed by using the observational rainfall data, PDO index, and NCEP reanalysis data. The Mann-Kendall test performed on precipitation in March over South China shows that the turning year for decadal change is about 1978, precipitation experienced a notable low to high transition. In the decadal period of low rainfall, PDO is in negative phase (high sea surface temperature in the North Pacific, low sea surface temperature in the middle-East Pacific), sea level pressure and height at 500 hPa in North Pacific are high, sea level pressure and height at 500 hPa on the Asian continent are low, the troposphere atmosphere in East Asia is warm, the western Pacific subtropical high is easterly, East Asian upper-tropospheric jet stream is northerly, Hadley circulation in East Asian is weak. In the decadal period of high rainfall, PDO is in positive phase, the situation is completely the oppo-

收稿日期 2009-04-07 收到, 2010-04-10 收到修定稿

资助项目 国家科技支撑计划 2007BAC29B03, 国家重点基础研究发展计划 2009CB421406, 国家自然科学基金资助项目 40821092

作者简介 李宏毅, 女, 1981年出生, 博士研究生, 主要从事气候年代际变化方面的研究。E-mail: lihy@mail.iap.ac.cn

site. The variability of the precipitation in March has a very significant correlation with PDO index in February and March, the correlation coefficients between them were positive at 99% confidence level. It can be summed up the changes of precipitation in March over South China is closely related to the changes of sea surface temperature in the North Pacific Ocean on decadal time scales, and a possible mechanism is proposed about how the PDO influences the precipitation anomaly over South China in March.

Key words abnormal precipitation in South China, interdecadal variation, Pacific decadal oscillation

1 引言

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。Xin et al. (2006) 对华南晚春的干旱进行过研究, 指出 1970s 后期以后, 华南晚春的降水有急剧的减少, 其原因是中国中东部对流层中上层的温度有显著的下降。关于华南早春, 如 3 月份降水研究较少, 故本文针对华南 3 月份降水, 研究其年代际变化特征及其所对应的大尺度环流特征。

众所周知, 北太平洋海温具有显著的年代际变化, 其与降水的关系也是人们研究的重点之一。于淑秋和林学椿 (1997) 和林学椿 (1998) 研究表明北太平洋海温的年代际变化对应着副热带高压位置、强度的变化, 对应着东亚夏季风和中国东部夏季降水的年代际变化。朱益民和杨修群 (2003) 和朱益民 (2004) 则发现太平洋年代际涛动 (Pacific Decadal Oscillation, PDO) 与冬、夏季大气环流和中国气候年代际变化存在密切联系, 当 PDO 处于暖位相时, 夏季风偏弱, 副热带高压偏强, 从而华北地区降水异常偏少而长江中下游、华南南部、东北和西北地区降水却异常偏多, PDO 处于冷位相时, 则相反。他们还指出 PDO 的这种影响有可能是通过调制 ENSO 与降水之间的关系而实现的。李崇银等 (2002) 的分析表明, 北太平洋海温的年代际变化可能会对夏季东亚沿海地区的降水产生调制作用。顾薇 (2008) 研究表明夏季 PDO 是可能影响降水第三模态 (主要反映华北和长江中下游地区降水相反的变化, 对华北降水的反映尤其明显) 变化的重要因子, 夏季

PDO 对应着北太平洋—东亚地区对流层大气中 30°N 以北的异常气旋/反气旋, 该异常气旋/反气旋会导致西太平洋副热带高压和东亚高空急流南北位置发生改变, 从而导致东亚对流层大气热力以及东亚夏季风强度发生变化, 最终导致降水异常的发生。上述关于 PDO 影响降水的研究都是针对夏季降水, 而 PDO 与华南 3 月份降水异常的可能关系如何? 也是本文研究的内容。

2 资料与方法介绍

本文所用资料包括: 1951~2005 年中国气象局整编的 160 站的逐月降水资料; 1951~2005 年逐月 PDO 指数; 1951~2005 年 NCEP/NCAR 全球逐月 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的风场和比湿 (垂直方向为 8 层)、地面气压、位势高度场、温度场和海平面气压场。

对于中国气象局整编的站点资料, 我们按照华南地区的行政区划选取了广东、广西、海南、福建这 4 个省, 主要包括浦城、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, 将这 18 站作为华南地区的代表站。对于 NCEP/NCAR 的资料我们选取 ($18^{\circ}\text{N} \sim 28^{\circ}\text{N}$, $104^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$) 作为华南区域来进行研究。

本文所用的 PDO 指数来源于 Mantua et al. (1997) 和 Zhang et al. (1997) 的研究结果, 其定义为北太平洋 20°N 以北的海温场去掉全球增暖趋势后的经验正交函数第一特征向量的时间序列。

大气水汽输送的计算方法同文献 (Wei et al., 2005; Zhou and Yu, 2005), 分别计算经向和纬向的水汽通量以及水汽通量散度。

本文使用的分析方法主要为相关分析法以及合成分析法。

3 结果分析

3.1 我国华南 3 月份降水的年代际变化

图 1a 为 1951~2005 年华南地区 3 月份降水的标准化距平序列, 折线代表降水的 9 年滑动平均。由图可见, 华南 3 月份降水具有显著的年代际变化。从 1960 年代初期到 1970 年代末期, 降水相对偏少; 1970 年代末期到 1990 年代末期, 降水相对偏多; 1990 年代末期以后, 降水又相对偏少。华南 3 月份降水在 1970 年代末期发生了年代际转折, 从降水偏少转为降水偏多。这与图 1b 的 Mann-Kendall 突变检验是一致的, 该检验表明华

南 3 月份降水在 70 年代末期发生突变, 并且通过了 95% 的信度检验。

本文以 1951~2005 年作为气候背景, 以 1962~1977 年作为华南 3 月份降水偏少时期, 以 1978~1998 年作为华南 3 月份降水偏多时期。对降水偏少(多)时期所对应的海温异常场以及东亚大气环流形势进行合成分析。

3.2 东亚大气环流形势的合成分析

从合成的 3 月份海平面气压异常场来看, 在 1962~1977 年期间, 亚洲大陆上空有显著的负异常, 北太平洋上空有正异常, 赤道西太平洋到赤道东印度洋附近海区的海平面气压场显著偏低(图 2a); 在 1978~1998 年, 相反的在亚洲大陆上

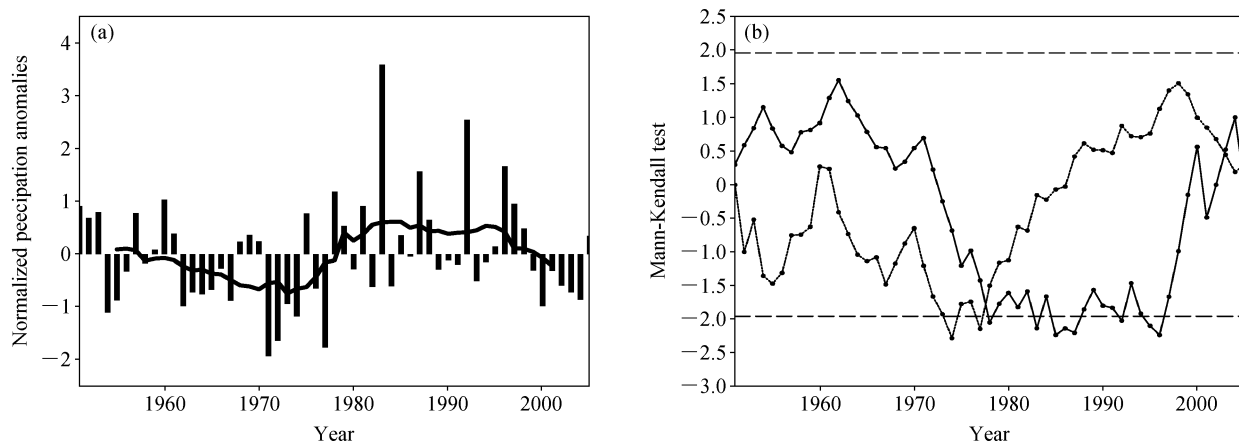


图 1 1951~2005 年华南地区 3 月份的 (a) 标准化降水, 黑实线代表 9 年滑动平均; (b) 3 月份降水的 Mann-Kendall 检验序列, 虚线代表 5% 显著性检验水平

Fig. 1 (a) The normalized means of precipitation in Mar over South China for the period 1951–2005, the curve line indicates a 9-year running mean. (b) Mann-Kendall test of precipitation in Mar, the dashed line indicates the 5% significance level of the Mann-Kendall test

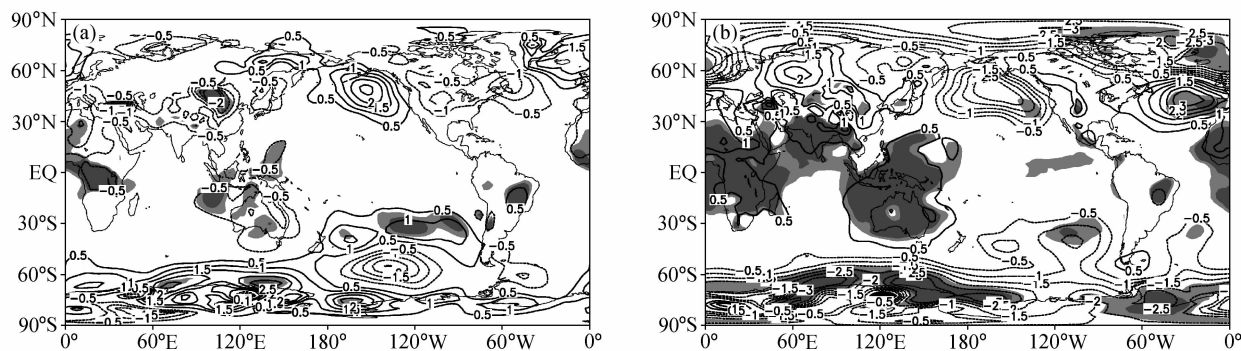


图 2 3 月份海平面气压异常 (单位: hPa): (a) 1962~1977 年; (b) 1978~1998 年。深、浅阴影区分别表示通过 95% 和 90% 信度检验的区域

Fig. 2 The anomalous sea level pressure (hPa) in Mar for the periods (a) 1962–1977 and (b) 1978–1998. Heavy and light shadings indicate statistical significance at the 95% and 90% levels, respectively

空有着显著的正异常而在北太平洋有显著的负异常,赤道西太平洋及赤道印度洋海区的海平面气压场存在显著正异常(图 2b)。这不仅表示了 3 月份赤道西太平洋及赤道印度洋的热力状况发生了改变,也表示了 3 月份的大陆以及海洋热力状况对比的改变,由于夏季风异常产生的重要原因之一就是海陆温差的变化,因此 3 月份海陆温差对比的改变必然会对 3 月份东亚区域风场的异常产生影响。从 500 hPa 高度异常场来看,在 1962~1977 年期间,北部的亚欧大陆存在负异常,在北太平洋存在正异常,赤道辐合带附近地区存在显著的负异常(图 3a);在 1978~1998 年期间,相反的在亚欧大陆北部有显著的正异常,在北太平洋有显著的负异常(图 3b),赤道辐合带附近地区存在显著的正异常。最近的研究(Xin et al., 2006; Yu and Zhou, 2007)表明东亚地区对流层中上层大气的热力状况发生了显著的年代际变化,并指出这种热力变化是 1970 年代前后东亚夏季气候发生年代际变化的重要原因。那么在华南 3 月

份降水偏多以及偏少时期,3 月份的对流层大气热力状况是否也发生了显著的年代际变化?我们用对流层大气的厚度来表示大气的热力状况,用 200 hPa 的高度场与 850 hPa 高度场之差来表示对流层的厚度,从合成对流层厚度异常场来看,在 1962~1977 年,亚洲上空有正异常分布(图 4a),在 1978~1998 年,亚洲上空有着显著的负异常分布(图 4b),说明不同年代际背景下对流层大气的热力状况的确发生了显著的年代际变化,亚洲区域对流层大气温度从之前的偏暖转变为偏冷。同样,从合成纬向平均的温度异常场来看,在 1962~1977 年,中国东部对流层中上层大气存在正异常(图 5a),在 1978~1998 年,中国东部对流层中上层大气有显著的负异常中心(图 5b),说明我国东部对流层中上层大气的确发生了显著的年代际变化,从之前的偏暖转变为显著偏冷。

东亚副热带西风急流是影响东亚气候的重要系统之一,它的强度和南北位置与我国东部各区雨带的开始和结束密切相关。夏季东亚高空急流

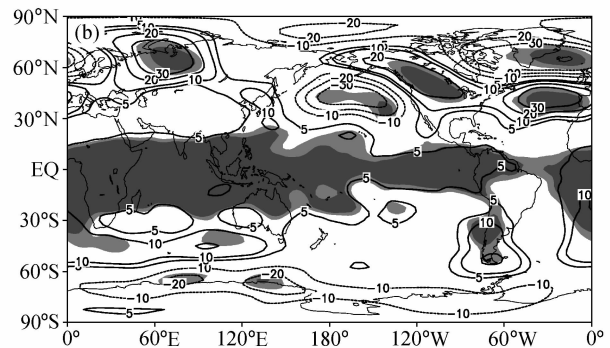
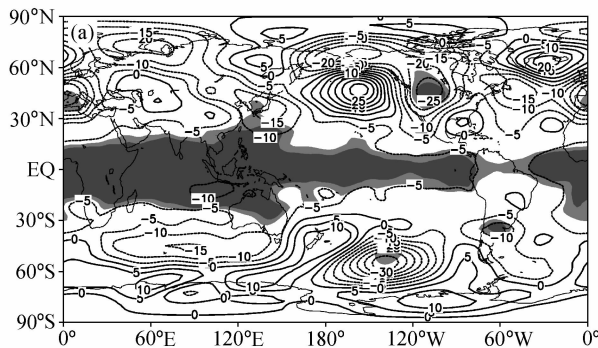


图 3 同图 2, 但为 3 月份 500 hPa 高度场异常 (单位: m)

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for the anomalous height (m) at 500 hPa in Mar

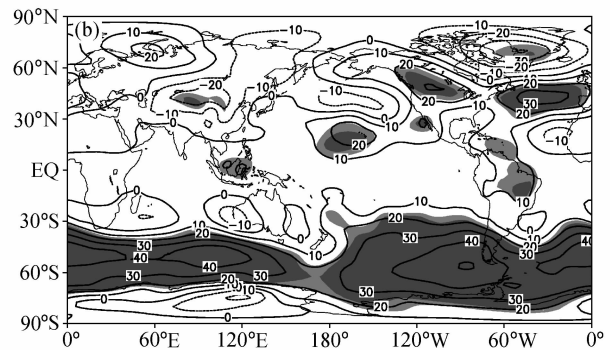
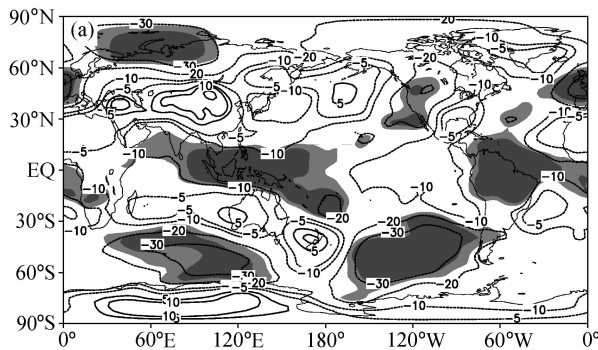


图 4 同图 2, 但为 3 月份 200~850 hPa 厚度场异常 (单位: m)

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for the anomalous thickness field (m) of 200-850 hPa in Mar

的平均位置在 40°N 附近, 急流位置异常偏南, 东亚夏季风环流偏弱, 长江中下游及江南、华南降水偏多, 位置异常偏北则相反 (Liang and Liu, 1994; 孙安健, 1994; Liang and Wang, 1998; 廖清海等, 2004)。陆日宇 (2003) 研究表明, 夏季东亚高空西风急流也表现出显著的年代际变化, 其位置在 70 年代末期之前偏北, 之后偏南。在此来分析一下 3 月份的西风急流与华南 3 月份降水年代际变化的可能联系, 在 3 月份时, 西风急流的平均位置位于 35°N 附近 (图略), 在 200 hPa 纬向风场中, 在 1962~1977 年, 在东亚区域 75°E 附近, 35°N 以南为显著的负异常以北为正异常, 表明急流轴以南为东风距平, 以北为西风距平, 说明东亚高空急流异常偏北 (图 6a); 在 1978~1998 年, 在东亚区域 75°E 附近, 35°N 以南为正异常以北为显著负异常, 表明急流轴以南为西风距平, 以北为东风距平, 说明东亚高空急流异常偏南 (图 6b)。这就意味着在华南 3 月份降水偏少

以及偏多时期, 东亚西风急流的偏弱偏北, 之后偏强偏南。

南北位置发生了显著变化, 之前急流西太平洋副热带高压是另一个影响东亚气候的重要系统, 它的强度和位置的变化在很大程度上影响着我国东部夏季雨带的分布。一般而言, 夏季副高位置偏南时, 长江中下游地区多雨而华北地区少雨, 偏北时华北地区多雨, 长江中下游地区少雨。针对西太平洋副热带高压的研究 (Gong and Ho, 2002) 表明副高的强度和位置在 20 世纪 70 年代中期左右发生了明显的年代际变化, 这种大气环流的年代际变化造成了 20 世纪 70 年代中期以后中国华北地区干旱少雨、长江中下游地区降水偏多的情况。那么对于华南 3 月份降水偏少以及偏多时期, 副高会有如何的变化呢? 由于在 3 月份, 副高的强度较弱, 我们用 3 月份 850 hPa 高度场的 1530 线来表示副高的位置, 由图 7 可见, 850 hPa 高度场上高压脊线在 1962~1977 年偏东 (长

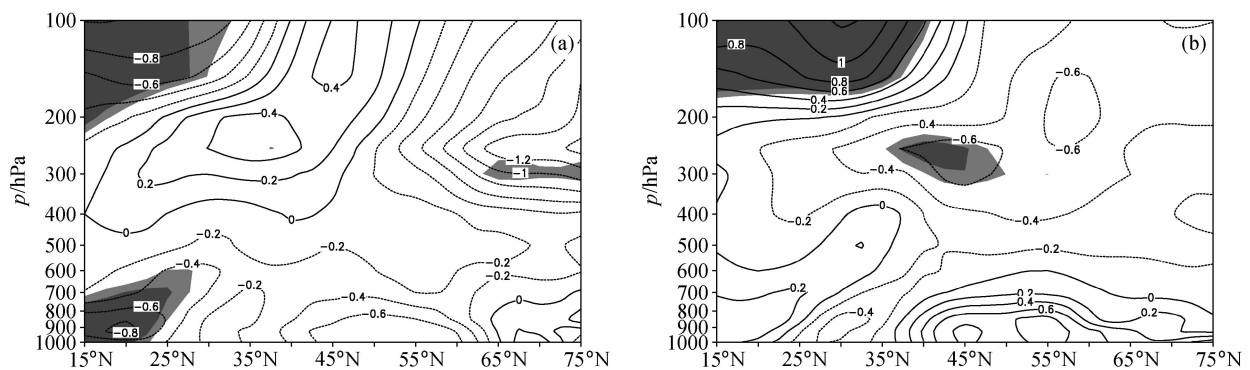


图 5 同图 2, 但为 3 月份纬向平均 ($110^{\circ}\text{E} \sim 125^{\circ}\text{E}$) 温度场异常 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 Same as Fig. 2, but for the anomalous sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) in Mar averaged over $110^{\circ}\text{E} \sim 125^{\circ}\text{E}$

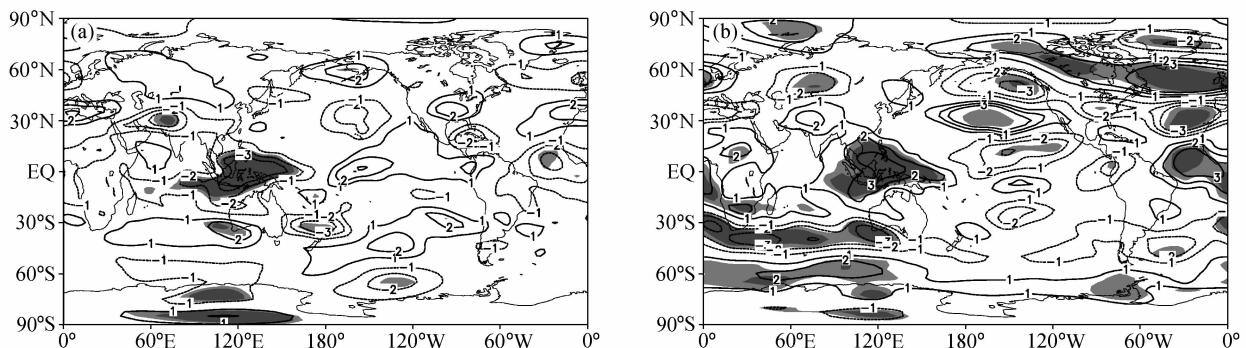


图 6 同图 2, 但为 3 月份 200 hPa 纬向风异常的年代际变化

Fig. 6 Same as Fig. 2, but for the anomalous zonal wind field ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 200 hPa in Mar

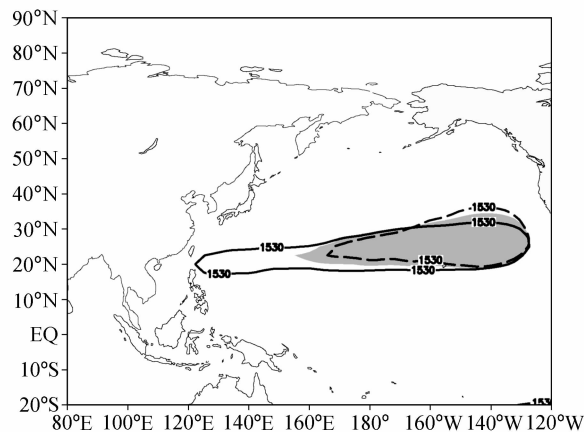
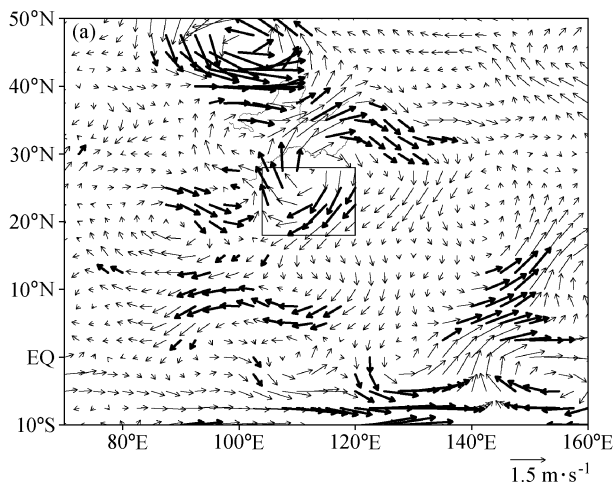


图 7 850 hPa 高度场上高压脊线的年代际变化: 1962~1977 年 (长虚线), 1978~1998 年 (实线)

Fig. 7 The high ridge of the western Pacific subtropical high at 850 hPa for the periods 1962-1977 (long dashed line) and 1978-1998 (solid line)

虚线), 在 1978~1998 年偏西 (实线), 阴影表示气候态位置。可见在 3 月份降水发生年代际变化的同时, 副高的东西向位置也发生了显著的年代际变化。

图 8a 为 1962~1977 年 850 hPa 风场异常图, 方框为华南区域。由图可见在华南区域有一个异常的反气旋性环流, 这种异常的反气旋性环流造成风场的异常辐散, 从而引起水汽的异常辐散。另外, 副热带高压异常环流是气旋式环流的, 说



明副热带高压环流比气候场弱, 因此从副热带高压西南侧向华南地区输送的水汽较少, 这是造成华南 3 月份降水偏少的重要原因之一。图 8b 为 1978~1998 年 850 hPa 风场异常图, 在华南区域有一个异常的气旋性环流, 这种异常的旋性环流造成风场的异常辐合, 从而引起水汽的异常辐合。副热带高压异常环流是反气旋式环流, 说明副热带高压环流比气候场强, 因此从副热带高压西南侧向华南地区输送的水汽较多, 这是造成华南 3 月份降水偏多的重要原因之一。

图 9a 为 1962~1977 年的整层积分的大气水汽输送通量及其散度距平图, 方框地区为华南地区。1962~1977 年期间, 华南地区处于相对干旱时期, 由图可见华南地区的水汽通量散度距平为正值, 该地区水汽为异常辐散的。南边界的水汽通量矢量距平向南, 西边界通量矢量距平向西, 表明在南边界和西边界向华南输入的水汽较少。图 9b 为 1978~1998 年期间的大气水汽输送通量及其散度距平图。在 1978~1998 年, 华南地区处于相对偏湿时期。华南地区的水汽通量散度距平为负值, 该地区水汽为异常辐合的。南边界的水汽通量矢量距平向北, 西边界通量矢量距平向东, 说明在南边界以及西边界都有大量的水汽输入, 水汽异常辐合, 进而导致该时期降水异常偏多。

Hadley 环流作为低纬大气中主要的大尺度环

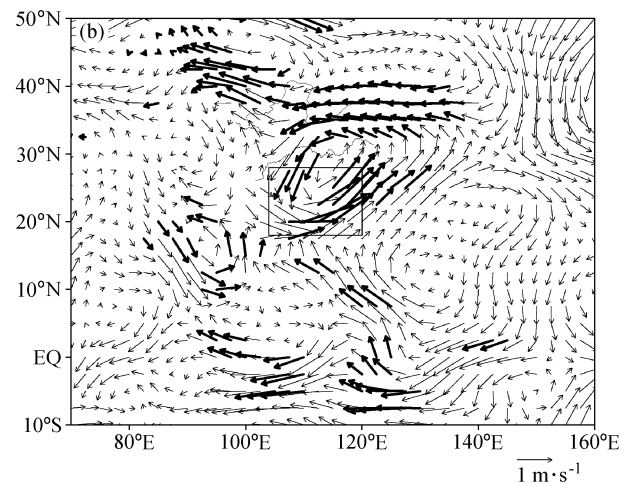


图 8 3 月份 850 hPa 的风场异常 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$): (a) 1962~1977 年, (b) 1978~1998。粗箭头表示通过 90% 的信度检验, 方框区域为华南区域

Fig. 8 The anomalous wind vector ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 850 hPa for the periods (a) 1962-1977 and (b) 1978-1998. Thick arrows indicate statistical significance at the 90% level. The rectangle is South China

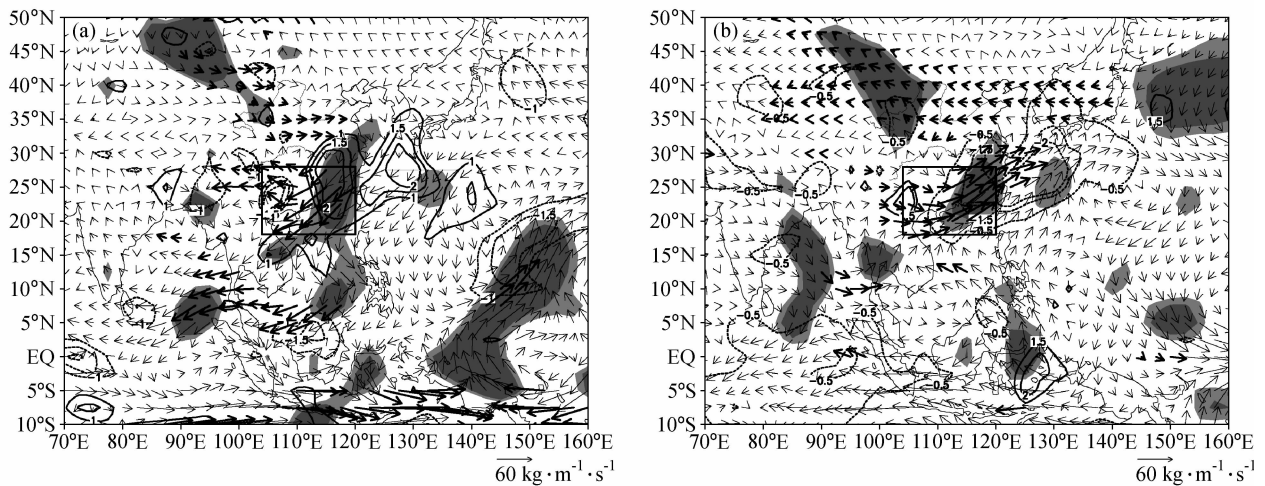


图 9 3 月份整层积分的水汽输送异常 (单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; 矢量箭头, 粗箭头表示通过了 90% 的信度检验) 以及水汽通量散度 (单位: $10^{-5} \text{Kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 等值线, 深、浅阴影区分别表示通过 95% 和 90% 信度检验的区域): (a) 1962~1977 年, (b) 1978~1998。方框区域为华南区域

Fig. 9 The anomalous vertically integrated water vapor flux ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; arrows, thick arrows indicate statistical significance at the 90% level) and the $\text{div } \vec{Q}$ ($10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; isolines, heavy and light shadings indicate statistical significance at the 95% and 90% levels, respectively) for the period (a) 1962~1970 and (b) 1971~1990. The rectangle is South China

流因子之一, 联系着全球大气环流变化。有研究指出东亚夏季季风环流以及降水在 70 年代际中后期的年代际突变与 Hadley 环流的增强有着密切的关系 (Hu, 1997; Xue, 2001)。那么 3 月份华南降水的年代际变化是否也与 3 月份的 Hadley 环流变化有关? 本文利用曾刚等 (2007) 定义的东亚 Hadley 环流指数: 500 hPa 高度上 ($5^{\circ}\text{N} \sim 15^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}$) 和 ($35^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\text{E} \sim 130^{\circ}\text{E}$) 区域的垂直速度差值并进行标准化, 正 (负) 指数表示弱 (强) 东亚 Hadley 环流。由图 10 可知, 3 月份的东亚 Hadley 环流指数也在 1978 年左右发生年代际转变, 由之前弱的东亚 Hadley 环流转变为强的东亚 Hadley 环流。由此可见, 3 月份降水的年代际变化可能也与 3 月份东亚 Hadley 环流的年代际转变有着密切的关系。

从纬向平均的垂直风场距平可以看出, 在 1962~1977 年, 东亚 Hadley 环流偏弱, 北印度洋及南海区域的气流异常辐散下沉, 致使中国东部出现偏南风异常 (见图 11a), 华南北边界有大量的水汽输出, 华南降水减少。在 1978~1998 年, 东亚 Hadley 环流偏强, 北印度洋及南海区域的气流异常辐合上升, 到达高层后异常辐散后分别向南、北运动, 向北的气流在 40°N 附近异常下沉, 在低层向南折回南海附近, 也会致使中国东

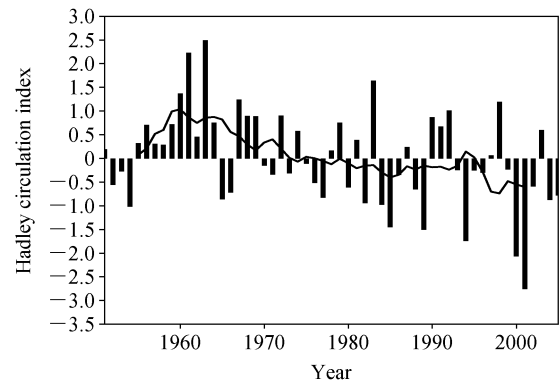


图 10 1951~2005 年 3 月份东亚 Hadley 环流指数的标准化距平序列

Fig. 10 The normalized anomaly of Hadley circulation index in Mar over East Asia for the period 1951-2005

部出现异常偏北风 (见图 11b), 华南降水增加。

总的来说, 3 月份降水在 1962~1977 年偏少, 亚洲大陆海平面气压偏低, 北太平洋海平面气压偏高, 赤道西太平洋到赤道东印度洋附近地区的海平面气压场显著偏低。在 500 hPa 高度场上, 欧亚大陆高度场偏低, 北太平洋高度场偏高, 赤道辐合带附近地区高度场显著偏低。我国华南地区存在异常反气旋, 华南地区北边界形成异常的南风 (图 8a), 造成我国华南区域北边界异常的水汽输出, 华南的南边界存在异常的北风和西边界

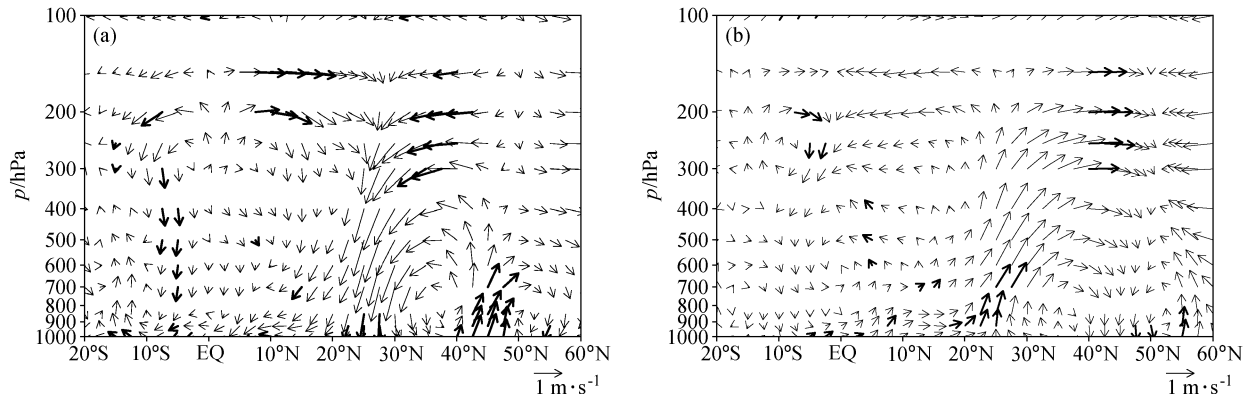


图 11 3 月份纬向平均 ($100^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$) 垂直风场的年代际变化: (a) 1962~1977 年, (b) 1978~1998。粗箭头表示通过了 90% 的信度检验

Fig. 11 The zonally averaged ($110^{\circ}\text{E}-130^{\circ}\text{E}$) vertical wind field in Mar for the periods (a) 1962-1970 and (b) 1971-1990. Thick arrows indicate statistical significance at the 90% level

存在异常的东风, 因此从南边界和西边界向华南输入的水汽异常偏少, 与此同时对流层大气偏暖, 东亚高空急流偏北, 副热带高压偏东, 从南边界向华南区域的水汽输送减少, 从而在华南形成异常的辐散 (图 9a), 导致华南 3 月份降水的偏少。相反在 1978~1998 年, 华南区域降水偏多时期, 3 月份亚洲大陆海平面气压偏高, 北太平洋海平面气压偏低, 赤道西太平洋到赤道东印度洋附近地区的海平面气压场显著偏高, 欧亚大陆高度场偏高, 北太平洋高度场偏低, 赤道辐合带附近地区高度场显著偏高。我国华南存在异常气旋性环流, 华南地区北边界形成异常北风 (图 8b), 造成我国华南区域北边界水汽输出的较少, 华南的南边界存在异常的南风 and 西边界存在异常的西风, 从南边界和西边界向华南输入的水汽异常偏多, 与此同时对流层大气偏冷, 东亚高空急流偏南, 副热带高压偏西, 从南边界向华南区域的输入的水汽异常偏多, 从而在华南形成异常辐合 (图 9b), 有利于华南 3 月份降水的偏多。

3.3 PDO 与我国华南 3 月份降水的关系

诸多研究表明, PDO 对东亚季风及其降水的年代际变化有着显著的影响 (于淑秋和林学椿, 1997; 林学椿, 1998; 李崇银等, 2002; 朱益民和杨修群, 2003; 朱益民, 2004; 顾薇, 2008)。为此, 我们在图 12a 给出了逐月的 PDO 指数与华南 3 月份降水的超前滞后相关, 其中 6~12 月表示前一年的 PDO 逐月指数与降水的相关, 1~5

月为当年的 PDO 逐月指数与降水的相关。分析得到, 2~5 月份的 PDO 指数与 3 月份降水有着显著的正相关, 我们只考虑前期以及同期海温对降水的影响, 2、3 月份的 PDO 指数与 3 月份降水的相关系数分别为 0.415 和 0.434, 相关系数均通过 99% 的信度检验。

从图 12b-c 可得到, 2 月份和 3 月份的 PDO 指数均在 1977 左右发生年代际转折, 从 1977 年之前的负位相转变为正位相。3 月份的 PDO 指数与 2 月份有着很好的一致性。

从合成的海温异常场来看, 在 1962~1977 年, 前期 2 月份北太平洋海温偏高, 中心数值达到 0.3°C 以上, 中东太平洋海温偏低, 中心数值达到 -0.3°C 以上, 具有典型的太平洋年代际振荡 (PDO) 负位相特征 (图 13a); 在 1978~1998 年, 北太平洋海温偏低, 中东太平洋海温偏高, 中心数值的绝对值均大于 0.3°C , 海温异常的范围较前一个时期均有所扩大, 具有典型的 PDO 的正位相特征 (图 13b)。

在年代际尺度上, PDO 负位相对应着北太平洋海温偏高, 中东太平洋海温偏低, 北太平洋海平面气压以及高度场偏高, 亚洲大陆海平面气压以及高度场偏低, 赤道西太平洋到赤道东印度洋附近地区的海平面气压场显著偏低, 赤道辐合带附近的高度场偏低, 东亚对流层大气偏暖, 西太平洋副热带高压偏东, 东亚高空急流偏北。而 PDO 正位相则相反。

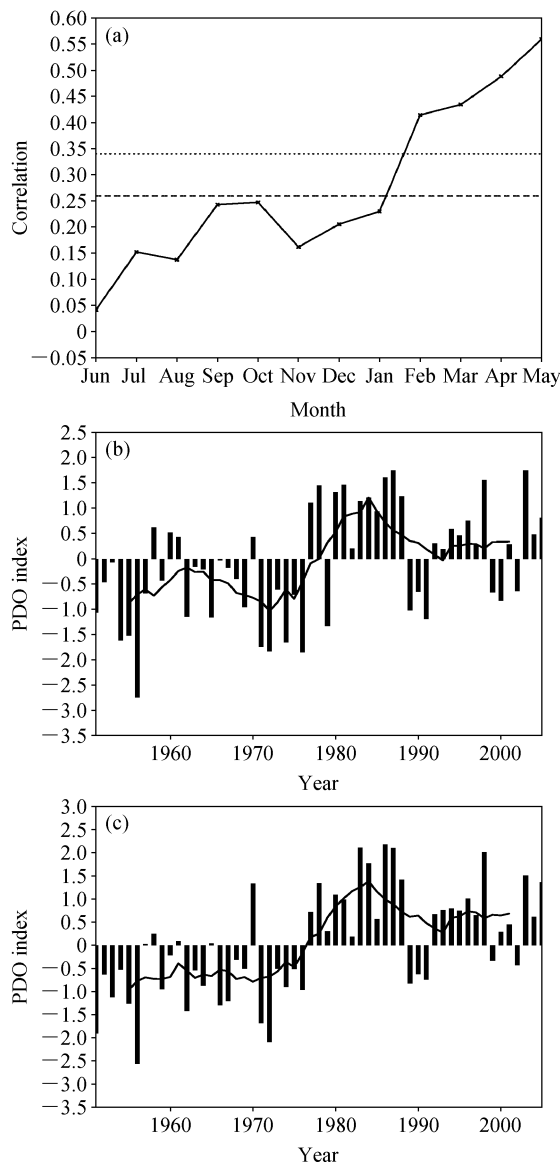


图 12 (a) 逐月 PDO 指数与华南 3 月份降水的相关, 虚线和点线分别代表通过 95% 和 99% 的信度检验; 1951~2005 年 (b) 2 月份、(c) 3 月份的 PDO 指数, 折线代表 9 年滑动平均

Fig. 12 (a) The correlation between the monthly PDO index and precipitation in March over South China, the dashed line and dot line represent the 95% and 99% reliability test; the normalized PDO index in (b) Feb and (c) Mar over South China for the period 1951–2005, the curve lines indicate a 9-year running mean

前期 2 月份以及同期 3 月份 PDO 处于负(正)位相, 同期的北太平洋海平面气压场和高度场偏高(低), 北太平洋形成异常反气旋(气旋), 与此同时, 欧亚大陆海平面气压以及高度场低(高), 这种环流配置, 使得我国华南地区北边界形成异常南(北)风, 造成我国华南区域的北边

界水汽输出的较多(少), 同时对流层大气偏暖(冷), 东亚高空急流偏北(南), 赤道附近的高度场偏低(高)有利于西太平洋副热带高压的偏东(西), 从南边界向华南区域的水汽输送减少(增多), 从而形成华南水汽异常的辐散(辐合), 有利于华南 3 月份降水的减少(偏多)。

综上所述, 华南 3 月份降水的年代际变化与前期 2 月份以及同期 3 月份 PDO 指数的年代际变化有着显著的相关关系, 总体说来, 华南地区 3 月份降水在 1978 年左右从降水相对偏少期转为降水相对偏多, 这可能与 PDO 指数从 1977 年左右从负位相转变为正位相有着密切的关系。

4 总结和讨论

本文利用华南 3 月份降水资料、PDO 指数以及 NCEP 再分析资料, 针对华南地区 3 月份降水的年代际变化特征及其相应的环流背景, 以及可能的影响机制进行了研究。研究表明, 华南地区 3 月份降水具有较为显著的年代际变化特征, 其年代际突变发生在 1978 年左右。3 月份的降水的年代际变化与 PDO 指数的年代际变化有着很好的一致性。3 月份降水在 1978 年左右从降水相对偏少转为降水相对偏多与 PDO 指数从 1978 年左右从负位相转变为正位相有着密切的关系。当 PDO 处于负位相, 北太平洋海平面气压以及高度场偏高, 北太平洋形成异常反气旋, 欧亚大陆海平面气压以及高度场低, 这种环流配置, 使得我国华南地区北边界形成异常南风, 造成我国华南区域的北边界水汽输出的较多, 与此同时, 对流层大气偏暖, 东亚高空急流偏北, 赤道附近的高度场偏低, 副热带高压偏东, 从南边界向华南区域的水汽输送减少, 从而形成水汽的异常辐散, 有利于华南 3 月份降水的减少。PDO 处于负位相, 则相反。

值得指出的是, 本文只是从 PDO 的角度探讨了华南春季降水年代际变化的可能影响机制。诸多研究表明, 华南汛期降水还与前期冬春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 月份降水的年代际变化的机制, 也是将来需要进一步开展的研究重点之一。

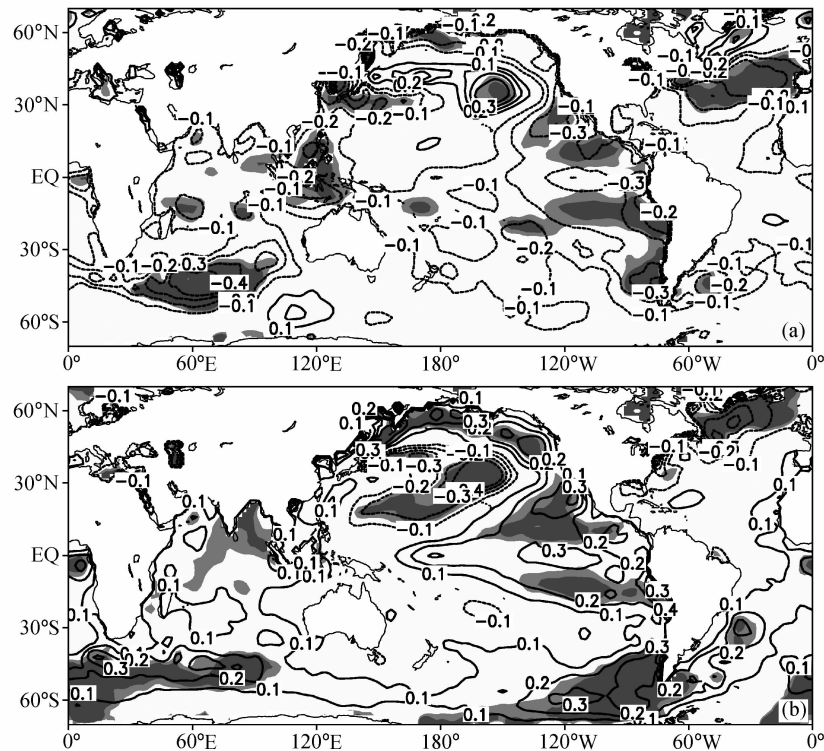


图 13 同图 2, 但为前期 2 月份海温异常 (单位: °C)

Fig. 13 Same as Fig. 2, but for the anomalous sea surface temperature (°C) in Feb

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 Xuezhao. 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] // 中长期水温气象预报文集 (第一集). 北京: 水电出版社, 195 - 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] (in Chinese). // Collected Papers on Long-term Hydrologic and Meteorological Forecasts (1). Beijing: Water Conservancy and Power Press, 185 - 194.
- 顾薇. 2008. 中国东部夏季降水的年代际变化及其可能机制研究 [D]. 中国科学院研究生院博士学位论文, 127pp. Gu Wei. 2008. Interdecadal variabilities of the summer precipitation over East China and its mechanism [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 127pp.
- Gong D, Ho C. 2002. Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s [J]. Geophys. Res. Lett., 29 (10), 1436, doi: 10. 1029/2001GL014523.
- Hu Z. 1997. Interdecadal variability of summer climate over East Asia and its association with 500 hPa height and global sea surface temperature [J]. J. Geophys. Res., 102 (D1): 19403 - 19412.
- 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 2002. 年代际气候变化研究 [J]. 气候与环境研究, 7 (2): 209 - 219. Li Chongyin, Zhu Jinhong, Sun Zhaobo. 2002. The study interdecadal climate variation [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (2): 209 - 219.
- 廖清海, 高守亭, 王会军, 等. 2004. 北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季气候异常的影响 [J]. 地球物理学报, 47 (1): 10 - 18. Liao Qinghai, Gao Shouting, Wang Huijun, et al. 2004. Anomalies of the extratropical westerly jet in the North Hemisphere and their impacts on East Asian summer monsoon climate anomalies [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 47 (1): 10 - 18.
- Liang P, Liu A. 1994. Winter Asia jet stream and seasonal precipitation in East China [J]. Adv. Atmos. Sci., 11 (3): 311 - 318.
- Liang X, Wang W. 1998. Association between China monsoon rainfall and tropospheric jets [J]. Quart. J. Roy. Meteor.

- Soc., 124 (6): 2597–2623.
- 林学椿. 1998. 70 年代末、80 年代初气候跃变及其影响 [M] // 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 240–249. Lin Xuechun. 1998. Climatic Jump in Late 1970s through eEarly 1980s and Its Effect [M] (in Chinese) // East Asian Monsoon and Torrential Rain in China. Beijing: China Meteorological Press, 240–249.
- 陆日宇. 2003. 华北汛期降水量年代际和年际变化之间的线性关系 [J]. 科学通报, 48: 718–722. Lu Riyu. 2003. The linear relationship between the interannual and interdecadal variability of rainy-precipitation in North China [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 48 (7): 718–722.
- Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78: 1069–1079.
- 孙安健. 1994. 江淮旱涝年份准定常行星波分布于平均纬向风速的差异 [J]. 应用气象学报, 5 (1): 68–76. Sun Anjian. 1994. The differences in the zonal winds and quasi-stationary waves between the floods/droughts in Jianghuai region [J]. Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 5 (1): 68–76.
- Wei J, Lin Z, Xia J, et al. 2005. Interannual and interdecadal variability of atmospheric water vapor transport in the Haihe River basin [J]. Pedosphere, 15: 585–594.
- Wu R, 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.
- Xin X, Yu R, Zhou T, et al. 2006. Drought in late spring of South China in recent decades [J]. J. Climate, 19: 3197–3206.
- Xue F. 2001. Interannual to interdecadal variation of East Asian Summer monsoon and its association with the global atmospheric circulation and sea surface temperature [J]. Adv. Atmos. Sci., 18: 567–575.
- Yu R, Zhou T. 2007. Seasonality and three-dimensional structure of interdecadal change in the East Asian monsoon [J]. J. Climate, 20: 5344–5355.
- 于淑秋, 林学椿. 1997. 北太平洋海温的气候跃变及其对中国汛期降水的影响 [J], 热带气象学报, 13 (3): 265–275. Yu Shuqiu, Lin Xuechun. 1997. Climate jump of North Pacific SST and its effect on precipitation of floods season in China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 13 (3): 265–275.
- Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900–93 [J]. J. Climate, 10: 1004–1020.
- Zhou T, Yu R. 2005. Atmospheric water vapor transport associated with typical anomalous summer rainfall patterns in China [J]. J. Geophys. Res., 110, D08104.
- 曾刚, 孙照渤, 王维强, 等. 2007. 东亚夏季风年代际变化——基于全球观测海表温度驱动 NCAR Cam3 的模拟分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (2): 211–224. Zeng Gang, Sun Zhaobo, Wang Weiqiang, et al. 2007. Interdecadal variation of East Asian summer—monsoon simulated by NCAR Cam3 driven by global SSTs [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (2): 211–224.
- 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 [J], 气象学报, 61 (6): 641–654. Zhu Yimin, Yang Xiuqun. 2003. Relationships between Pacific decadal oscillation (PDO) and climate variabilities in China [J], Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 61 (6): 641–654.
- 朱益民. 2004. 太平洋年代际变率的时空结构及其对中国气候变率的联系 [D], 南京大学博士论文, 194pp. Zhu Yimin. 2004. The spatial and temporal structure of Pacific decadal variability and its relationship with the climate variability in China [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Nanjing University, 194pp.