

# 太平洋—印度洋海温与我国东部 旱涝型年代际变化的关系

顾薇<sup>1,2</sup> 李崇银<sup>1,3</sup> 潘静<sup>1</sup>

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

3 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

**摘要** 对我国东部各区域的夏季降水的正交小波分解表明, 其大于 28 年的分量可以很好地表示华北和长江中下游地区在 20 世纪 70 年代前后旱涝相反的年代际变化特征。合成分析表明, 北太平洋、热带印度洋海温和东亚高空急流与我国东部夏季旱涝型的年代际变化密切相关。东亚高空急流和西太平洋副热带高压在 70 年代前后的年代际差异对旱涝型发生年代际变化起到重要作用; 北太平洋和热带印度洋海温的年代际变化近百年来是协同一致的, 二者有可能共同对旱涝型的变化产生影响。进一步分析指出, 北太平洋—热带印度洋海温的变化与急流和副高的南北位置在年际和年代际尺度上都密切相关。可见, 北太平洋—热带印度洋海表温度异常 (SSTA) 对于我国东部旱型涝的年代际变化确实具有重要的预示作用。

**关键词** 北太平洋 热带印度洋 旱涝型 东亚高空急流 西太平洋副热带高压

**文章编号** 1006-9585 (2007) 02-0113-11 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

## Relationship between Interdecadal Variation of North Pacific-Equatorial Indian Ocean SST and Transition of Rainfall Pattern in East China around the 1970s

GU Wei<sup>1,2</sup>, LI Chong-Yin<sup>1,3</sup>, and PAN Jing<sup>1</sup>

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

3 *Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*

**Abstract** Orthogonal wavelet analysis of summer rainfall in East China showed its opposite spatial pattern before and after the 1970s, mainly the opposite situation of precipitation in North China and in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The difference of meridional position of the summer East Asian upper-tropospheric Jet Stream (EAJS) and West Pacific Subtropical High (WPSH) before and after the 1970s was one of the most important reasons for the transition of summer rainfall pattern. Besides, on interdecadal time scales, North Pacific and Tropical Indian Ocean Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) varied coherently, and were closely related to the transition of summer rainfall pattern in East China. What's more, North Pacific-Equatorial Indian Ocean Sea Surface Temperatures (SST) showed a certain relationship with the north-south movement of EAJS and WPSH on both interannual and interdecadal time scales. Thus, North Pacific-Equatorial Indian Ocean SST was indeed an important factor

**收稿日期** 2006-01-16 收到, 2007-01-10 收到修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金资助项目 40233033 和中国科学院创新项目 KZCX3-SW-226

**作者简介** 顾薇, 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: guwei@mail.iap.ac.cn

for the prediction of summer rainfall pattern in East China.

**Key words** North Pacific, Tropical Indian Ocean, rainfall pattern, East Asia jet stream, subtropical high

## 1 引言

我国东部处于东亚季风区,受夏季风影响,夏季降水时空变化复杂,干旱、洪涝等气候灾害发生频繁。而干旱和洪涝成为影响我国的主要自然灾害,往往给国民经济造成严重损失。20世纪70年代以来,北方(尤其是华北)地区干旱事件频繁出现,而南方地区洪涝灾害却有增无减。针对这一现象,已有研究指出<sup>[1,2]</sup>,我国东部旱涝具有明显的年代际变化特征,70年代前后是其发生位相转变的时期,夏季我国东部由“南早北涝”转变成“南涝北旱”形势。不少研究对直接影响我国东部降水的大气环流形势进行了分析<sup>[3~5]</sup>,发现正是由于东亚中高纬环流、西太平洋副热带高压等大气环流系统的年代际变化,导致了我国东部旱涝也发生年代际变化。为了进一步寻找影响我国旱涝年代际变化的原因,也有研究将其与海洋的年代际变化联系起来。咸鹏和李崇银<sup>[6]</sup>的研究表明北太平洋海温的年代际变化对东亚降水有明显的影响。周连童和黄荣辉<sup>[1]</sup>认为热带太平洋通过影响亚澳季风区及太平洋地区水汽输送影响我国东部夏季旱涝。Hu<sup>[7]</sup>认为热带印度洋和西太平洋近年来的增温导致对流活动的加强,通过Hadley环流使西太平洋副热带高压增强,从而造成我国旱涝的年代际变化。朱益民和杨修群<sup>[8]</sup>指出太平洋年代际振荡(PDO)可以直接影响东亚地区的大气环流或调制ENSO事件从而间接影响我国夏季降水。李峰和何金海<sup>[9]</sup>的研究表明,1976年以前,北太平洋海表温度异常(SSTA)通过一大圆波列作用于东亚夏季风而影响华北夏季降水。

很显然,已有研究表明,我国东部旱涝的年代际变化与北太平洋、热带东、西太平洋以及热带印度洋海温的变化都有密切的关系,但这些研究都只是将旱涝的变化与某一海区海温的变化相联系。这些关键海区在年代际尺度上的冷暖变化本身又存在什么关系,它们是否通过某些方式共同影响我国东部旱涝的年代际变化呢?搞清楚这些问题,将对我国东部旱涝年代际变化有很好的

指示意义。本文不仅考虑北太平洋海温的年代际变化,也考虑热带印度洋海温的年代际变化,并将它们综合起来,讨论了其与东亚大气环流形势及我国东部降水的关系。

首先对我国东部各区域的夏季降水进行正交小波分解,发现其大于28年的分量可以很好地表示华北和长江中下游地区在70年代前后旱涝相反的年代际变化。针对旱涝型的这种南北相反的年代际变化特征,我们对SSTA和对流层位势高度场、风场进行了合成分析。结果表明,对应于我国东部旱涝在70年代前后的不同形势,北太平洋和热带印度洋SSTA以及东亚高空急流、副高的南北位置都有明显相反的变化,其中东亚高空急流和副高的变化直接导致了我国东部旱涝型发生年代际变化。再考察海温与急流、副高等在年际尺度上的关系,看到在年际尺度上二者的关系与年代际尺度相类似,这说明海温与急流、副高等东亚大气环流系统可能通过某种机制相联系,这种联系不仅体现在年际尺度上,也体现在年代际尺度上。从而可以推断,北太平洋—热带印度洋SSTA的变化对于我国东部旱涝型的年代际变化确实具有重要的预示作用。

## 2 资料和方法

本文所用资料为中国气象局整编的全国160个标准站54年(1951~2004年)的降水资料;英国Hadley中心的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的1870~2003年月平均海温资料;美国NCAR/NCEP的1948~2004年 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 位势高度和风场再分析资料。PDO指数来源于Mantua等<sup>[10]</sup>的研究结果。我国东部4个区域所选站点如下:

东北地区:呼玛、博克图、图里河、嫩江、齐齐哈尔、海伦、富锦、佳木斯、鸡西、哈尔滨、牡丹江、通辽钱家店、长春、通化、沈阳和朝阳等16站;

华北地区:北京、天津、石家庄、德州、邢台、安阳、潍坊、济南、临沂、菏泽、郑州等11站;

长江中下游地区:南京、合肥、上海、杭州、

安庆、屯溪、九江、汉口、岳阳、常德、衢县、贵溪、南昌、长沙等 14 站；

华南地区：广昌、衡阳、郴州、零陵、芷江、厦门、梅县、汕头、韶关、河源、湛江、海口、桂林、柳州、北海、百色、榕江等 17 个站。

为了分析旱涝的年代际变化特征，本文用 db16 正交小波<sup>[11]</sup>对各个指数进行周期分析和低通滤波。该小波由于其正交性而没有信息冗余，对于较大周期变化的分析往往比连续小波更为准确。在分析北太平洋和热带印度洋 SSTA 变化的周期特征时，还用到了 morlet 小波功率谱分析。

此外，用合成分析对比了 20 世纪 70 年代前后的海温异常场、200 hPa 纬向风异常场、500 hPa 位势高度异常场和 850 hPa 异常风场。计算各个异常场时使用 1951~2000 年平均值作为气候平均值。借用 Mantua 等<sup>[10]</sup>计算 PDO 指数时的方法，本文对海温进行分析时用到的是“偏差”而不是常规的距平值，具体做法是用每个格点的 SSTA 减去全球平均的 SSTA，目的是为了减小人类活动所造成的全球增暖的影响，突出自然变化的信号。最后，为了考察关键海域 SSTA 变化与东亚高空急流的关系，用海温指数对 200 hPa 纬向异常风场、500 hPa 位势高度异常场和 850 hPa 风场进行了一元线性回归分析。

### 3 我国东部各区域夏季降水的分析

我国 20 世纪 50~60 年代“南旱北涝”和 80

~90 年代“南涝北旱”的相反形势所体现出的是较长时间尺度的气候变化，所以我们用 db16 正交小波的方法对东部 4 区域夏季平均降水进行 28 年低通滤波，其结果如图 1 所示。由图可见，华北和长江中下游在这个时间尺度上变化明显，方差贡献都达到 10% 以上，位相基本呈反相，并且均在 70 年代左右发生位相转换。而东北和华南这一时间尺度的分量方差贡献较小，分别为 7.2% 和 5.7%，变化并不明显。

根据图 1 所示的特征选取 1957~1971 年和 1983~1999 年分别作为“南旱北涝”和“南涝北旱”的代表年份，对于各站夏季降水进行合成分析，可以更清楚地看到这种年代际变化的空间分布特征（图 2）。在前一时段中，华北地区涝而长江中下游地区旱；而后一时段恰恰相反，华北旱而长江中下游涝。

从上面的分析可知，我国东部夏季旱涝型存在明显的南北反相的年代际变化特征，主要表现为长江中下游和华北地区旱涝的反相变化。

### 4 海温异常场和东亚大气环流形势的合成分析

选取 1957~1971 年和 1983~1999 年分别作为 20 世纪 70 年代以前“南旱北涝”和之后“南涝北旱”的代表年份，对年平均 SSTA 场、夏季 200 hPa 纬向风场、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 风场进行合成分析。

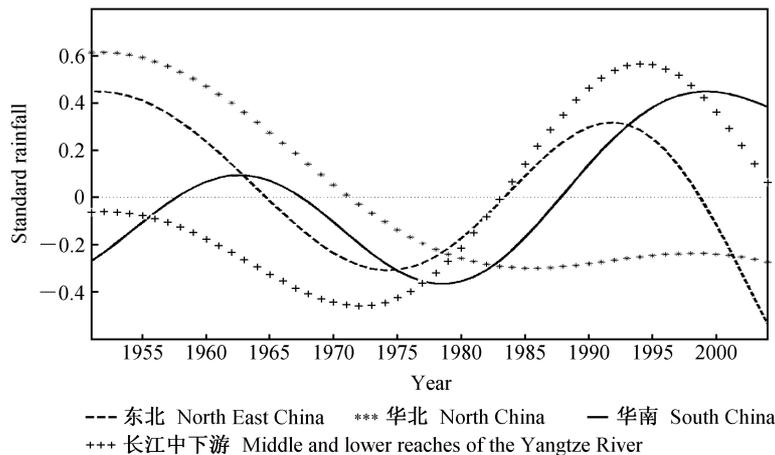


图 1 4 区域夏季平均降水大于 28 年的分量

Fig. 1 Components retaining variabilities on time scales larger than 28-year of summer rainfall in the four regions

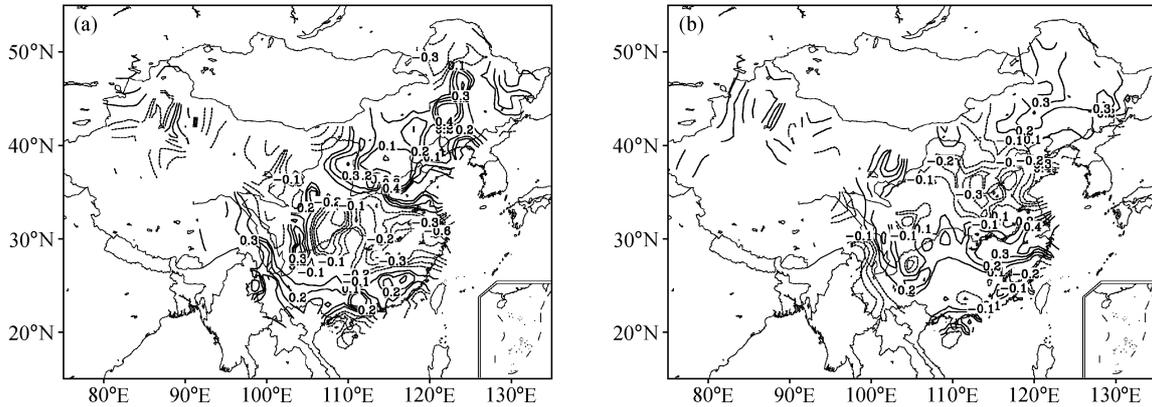


图 2 我国 160 站点的标准化夏季降水: (a) 1957~1971 年平均; (b) 1983~1999 年平均

Fig. 2 Summer rainfall of 160 stations in China; (a) average of 1957—1971; (b) average of 1983—1999

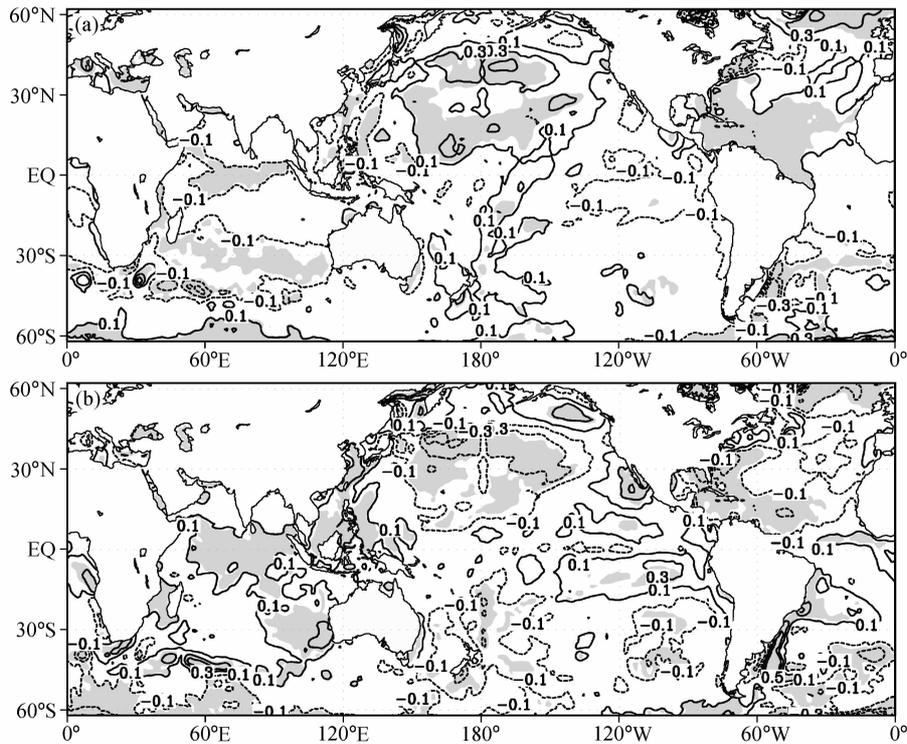


图 3 (a) 1957~1971 年和 (b) 1983~1999 年平均的 SSTA (阴影区通过 95% 信度检验, 单位: °C)

Fig. 3 Average SSTA field of (a) 1957—1971 and (b) 1983—1999 (Shaded areas are significant at 95% level, units: °C)

#### 4.1 海温异常

由图 3 可见, 两时期 SSTA 场存在明显差异。在 1957~1971 年, 北太平洋中部偏暖, 赤道东太平洋略偏冷, 具有太平洋年代际振荡 (PDO) 冷位相<sup>[10]</sup>的特征; 另外, 热带印度洋以及菲律宾群岛附近一致偏冷。在 1983~1999 年, 北太平洋中部偏冷, 赤道东太平洋偏暖, 具有 PDO 暖位相的特征; 热带印度洋以及南海、菲律宾群岛附近一

致偏暖。若将太平洋、印度洋作为一个整体来看, 则不难发现北太平洋中部 SSTA 与低纬海洋 (热带印度洋、热带东、西太平洋) SSTA 呈现出反相的变化趋势, 1957~1971 年, 海洋中高纬偏暖而低纬地区偏冷; 1983~1999 年海洋中高纬偏冷而低纬偏暖。

Kawamura<sup>[12]</sup>对全球海温场进行了 R-EOF 变换, 第一个主分量表示以 ENSO 为主的年际变化,

第二个主分量代表去掉 ENSO 这一强年际变化信号之后的年代际变化，其空间分布表现为北太平洋中部和印度洋海温具有明显相反的信号，尤其以近些年来印度洋的增暖和北太平洋中部的变冷为特征。由此可见，太平洋和印度洋 SSTA 不仅都具有明显的年代际变化特征，并且二者之间确实存在密切的联系。

在图 3 中，70 年代前、后两时期 SSTA 明显相反并且通过 95% 信度检验的区域为北太平洋中部和热带印度洋海域。为方便起见，用标准化的区域 ( $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ,  $60\sim 100^{\circ}\text{E}$ ) 平均海温偏差作为热带印度洋 SSTA 指数 ( $I_{\text{TIO}}$ )，用这个指数与

表示北太平洋 SSTA 主要年代际变化特征的太平洋年代际振荡指数 ( $I_{\text{PDO}}$ ) 来进一步研究两大洋 SSTA 变化在年代际尺度上的关系。

为与夏季降水的分析相一致，我们也用正交小波对  $I_{\text{PDO}}$  和  $I_{\text{TIO}}$  两指数进行 28 年的低通滤波 (图 4)，可以看到北太平洋和热带印度洋 SSTA 在这一时间尺度上的变化也非常明显，两序列的方差贡献分别占原始序列的 31.2% 和 48.8%，并且都体现了周期为 60 a 左右的年代际变化。为了更好地了解北太平洋和热带印度洋 SSTA 的年代际变化，我们又对两指数进行了功率谱分析。图 5a 为 PDO 指数的小波功率谱，虽然只能通过 90%

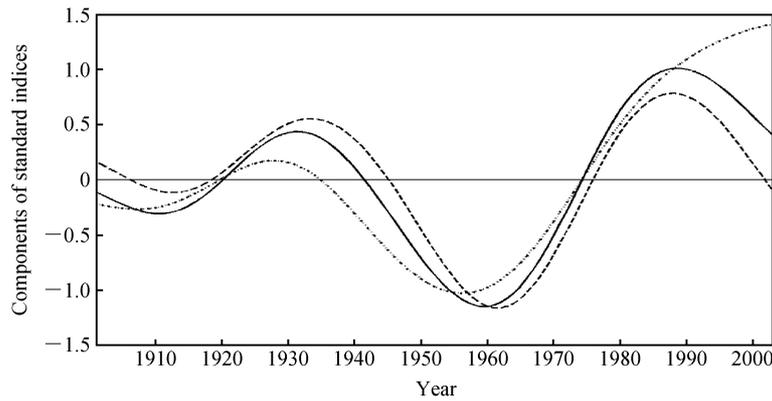


图 4 PDO 指数 (虚线)、热带印度洋 SSTA 指数 (点线) 以及北太平洋—热带印度洋 SSTA 指数 (实线) 大于 28 年的分量

Fig. 4 Components retaining variabilities on time scales larger than 28-year of PDO index (dashed curve), Tropical Indian Ocean SSTA index (dotted curve) and North Pacific-Tropical Indian Ocean SSTA index (solid curve)

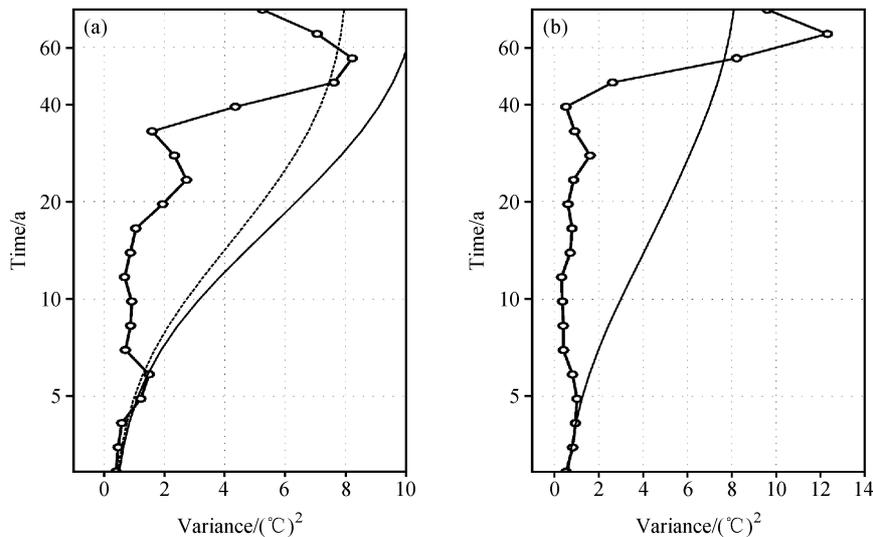


图 5 (a) PDO 指数和 (b) 热带印度洋 SSTA 指数的小波功率谱 (实线、虚线分别为 95% 和 90% 的信度曲线)

Fig. 5 Global wavelet Spectrums for (a) PDO index and (b) Tropical Indian Ocean SSTA index (solid curve and dashed curves indicate 95% and 90% confidence levels, respectively)

的信度检验, 但 PDO 在 56 a 左右的年代际变化也是十分突出的。以前的研究也表明, PDO 及相关的气候系统具有显著的 50~70 a 的准周期<sup>[13,14]</sup>。另外, 对于热带印度洋 SSTA 指数小波功率谱(图 5b)的分析表明, 热带印度洋 SSTA 最显著的变化周期为 60 a 左右。可见, 图 4 中的两曲线确实很好地表示了北太平洋与热带印度洋 SSTA 的最主要年代际变化特征。

比较图 4 中的两条曲线可以看到, 近百年来  $I_{PDO}$  和  $I_{TIO}$  的变化趋势相同, 基本处于同位相, 在 70 年代左右, 都由负位相转变为正位相。可见北太平洋和热带印度洋 SSTA 具有较为一致的年代际变化, 并且都在 70 年代左右发生位相转换, 这与我国东部夏季旱涝型的年代际变化非常一致。但值得注意的是, 近几十年来热带印度洋的增温幅度非常大, 远远超过了上次的情况(1920 年左右), 究竟是什么原因引起的, 是由于人类活动引起的全球增暖或是更长时间尺度的年代际或世纪时间尺度的变化, 还有待研究。

另外, 在年际尺度上, 我们对于  $I_{PDO}$  和  $I_{TIO}$  (1901~2004 年) 进行了 9 年的高通滤波, 滤波之后二者的相关系数达到 0.37, 通过 99% 信度检验, 这说明北太平洋与热带印度洋 SSTA 确实可能通过某种机制相联系, 产生了在年际以及年代际尺度上同位相的变化。

鉴于北太平洋和热带印度洋在年际(小于 9 年)和年代际(大于 28 年)尺度上一致并且相反的变化, 也为了便于下文的分析, 我们用标准化的热带印度洋海区(10°S~10°N, 60~100°E)与

北太平洋海区(25~45°N, 150°E~150°W)平均 SSTA 之差定义一个新指数: 北太平洋-热带印度洋 SSTA 指数 ( $I_{PI}$ ), 来表示中高纬太平洋和热带印度洋 SSTA 位相相反的年代际变化特征。这个指数与  $I_{PDO}$  和  $I_{TIO}$  密切相关, 相关系数分别为 0.88 和 0.77, 可以较好地综合表示北太平洋和热带印度洋 SSTA 的变化特征。从该指数与全球 SSTA 的相关系数场(图 6)可见, 它可以较好地体现出低纬度海洋, 尤其是热带印度洋、南海以及菲律宾群岛附近 SSTA 与北太平洋中高纬海区 SSTA 相反的变化趋势。

在年代际尺度上, 该指数也可以很好地综合体现北太平洋和热带印度洋 SSTA 的演变特征。图 4 中的实线为北太平洋-热带印度洋 SSTA 指数大于 28 年的分量, 该分量对其原始序列的方差贡献为 39.7%, 说明该指数具有明显的年代际变化特征。另外, 比较图 4 中的 3 条曲线可知, 北太平洋-热带印度洋 SSTA 指数可以很好地表示 PDO 以及热带印度洋 SSTA 的年代际变化特征, 尤其是能够体现出后两者均在 20 世纪 70 年代发生位相转变的特征。综合上面的分析可知, 这个指数可以综合表示与我国东部旱涝年代际变化密切相关的北太平洋和热带印度洋 SSTA 的年代际变化特征。所以, 下面就用这个指数来分析北太平洋-热带印度洋 SSTA 变化与直接影响我国东部旱涝的东亚大气环流的关系(第 5 节)。

#### 4.2 东亚高空急流

东亚副热带高空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

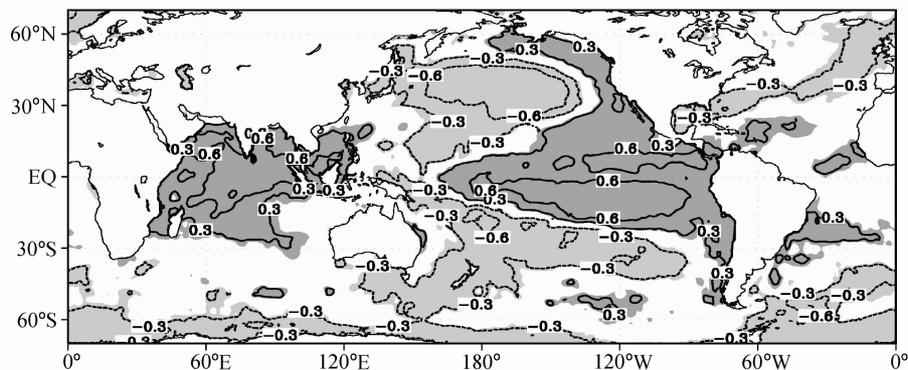


图 6 北太平洋-热带印度洋 SSTA 指数  $I_{PI}$  与全球 SSTA 的相关场 (阴影区通过 95% 信度检验, 单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 6 Correlation map of North Pacific-Tropical Indian Ocean SSTA index and global SSTA (Shaded area indicates 95% significance level, units:  $^{\circ}\text{C}$ )

雨带的开始和结束密切相关。这是由于急流附近有着强烈的水平和垂直风切变，由此产生的斜压和正压不稳定性对大气扰动的发展具有重要意义，因此急流强度和南北位置的变化会对其下方的锋生和降水产生影响。每年随着夏季风的向北推进，急流会发生 3 次明显的北移过程，与东亚夏季雨带的季节性北移在时间上有很好的对应关系。5 月初急流第一次北跳，急流轴移到 30°N 以北，之后南海夏季风爆发。6 月初急流的第二次北跳是长江中下游地区梅雨开始的征兆<sup>[15,16]</sup>。在 7 月中旬急流又一次北移，之后，长江流域梅雨结束，从而华北雨季开始<sup>[17]</sup>。

对流层大尺度大气南北温度梯度的改变可以通过地转适应过程改变对流层上层的纬向风，造成急流南北位置的变化<sup>[16]</sup>。大陆地区，尤其是青藏高原的加热所导致的对流层中上层经向温度梯度的变化，是东亚高空西风急流季节性北移的重要原因。那么由海陆温差所导致的东亚夏季风及

其降水必定与东亚高空急流有密切的关系。已有研究表明，东亚高空急流位置异常偏北往往对应着强夏季风，会造成长江中下游地区梅雨偏少而华北地区降水偏多；相反地急流位置异常偏南意味着夏季风偏弱，造成长江中下游地区梅雨偏多而华北地区降水偏少<sup>[18,19]</sup>。

夏季东亚高空急流的平均位置在 40°N 附近，从 1983~1999 年与 1957~1971 年的差值场来看（图 7a），急流轴以南为显著西风异常，以北为东风异常，意味着 70 年代前后急流的南北位置有较明显的变化，之前急流偏弱偏北，之后偏强偏南。夏季东亚高空急流的这种年代际差异，对我国东部旱涝年代际变化起到重要作用。

#### 4.3 西太平洋副热带高压

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

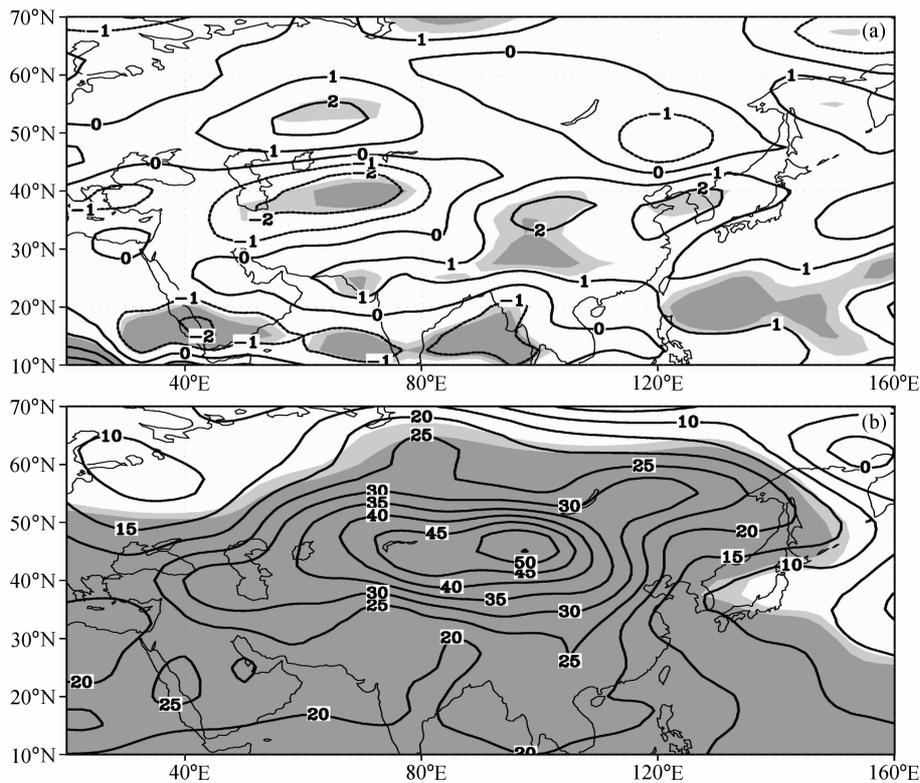


图 7 夏季 (a) 200 hPa 纬向风场 (单位:  $m \cdot s^{-1}$ ) 和 (b) 500 hPa 位势高度场 (单位: gpm) 在 1983~1999 年与 1957~1971 年的差值场 (深、浅色阴影区分别通过 95% 和 90% 信度检验)

Fig. 7 The difference of (a) meridional wind at 200 hPa (units:  $m \cdot s^{-1}$ ) and (b) geopotential height at 500 hPa (units: gpm) between 1983—1999 and 1957—1971 (Dark and light shaded areas indicate 95% and 90% significance levels, respectively)

北地区少雨, 偏北时则华北地区多雨, 长江中下游地区少雨。

图 7b 是 1983~1999 年与 1957~1971 年夏季 500 hPa 位势高度场的差值场。图中最显著的就是亚洲北部的正异常, 这意味着 70 年代以前我国东部的偏南风异常和之后的偏北风异常。另外, 西太平洋副热带地区有向北的位势高度梯度异常, 意味着 70 年代以前副高偏北, 之后偏南。

然而, 近年来针对于 NCEP 资料质量问题的一些研究<sup>[20]</sup>认为, 由于观测系统发生变化, 亚洲地区对流层大气资料在 70 年代以前有较大误差, 这种误差可能会夸大年代际变化现象。针对这一问题, 我们又用 ERA-40 资料对 200 hPa 纬向风场和 500 hPa 位势高度场进行了合成分析 (1983~1999 年与 1958~1971 年的差值场)。500 hPa 上亚洲北部显著的异常中心 (图 7b) 在对 ERA-40 资料的分析中并不存在, 说明这个异常中心可能是由 NCEP 资料误差所造成的。但与 NCEP 资料类似的是, 在我国东部以及西太平洋副热带地区存在着由南指向北的位势高度梯度, 200 hPa 纬向风场的图中东亚地区 40°N 以南为正异常, 以北为负异常, 说明 70 年代前后副高和急流的南北位置确实有较为明显的差异, 70 年代以前偏北, 之后偏南。急流和副高在 70 年代前后的这种差异, 是我国东部旱涝发生年代际变化的重要条件。

## 5 年际尺度上夏季东亚大气环流与海表温度异常的关系

用第 3 节中构造的北太平洋—热带印度洋 SSTA 指数 ( $I_{PI}$ ) 对夏季的 200 hPa 纬向风场、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 风场进行一元线性回归, 分析北太平洋—热带印度洋 SSTA 与夏季东亚高空急流、副高以及低层风场在年际尺度上的关系。首先, 对于  $I_{PI}$  以及 200 hPa 纬向风场、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 风场都进行了 9 年高通滤波, 以去掉年代际变化和资料误差产生的虚假年代际变化, 然后分析海温和大气环流形势的年际关系。如果在年际尺度上, 也存在着类似的关系, 说明海温与大气环流确实以某种物理机制相联系。这种联系不仅体现在年际尺度上, 也表现

在年代际尺度上, 从而成为我国东部旱涝型产生年代际变化的原因之一。

高空急流的形成除了受到地形和海陆差异以及 Hadley 下沉支的作用之外, 也受到 SSTA 的影响。如已有研究认为东亚高空急流强度的年际变化与其南侧热带地区对流加热有紧密的联系<sup>[21]</sup>, 廖清海等人<sup>[18]</sup>则发现西北太平洋和赤道东太平洋 SSTA 对急流的南北变动有明显的影响。另外, 海温也是影响副高活动的重要因子, 海温状况和热力分布及其变异对西太平洋副高的强度和位置等基本形态有重要的制约和影响<sup>[22]</sup>, 尤其是赤道东、西太平洋和印度洋等海域的海温异常往往导致副高活动异常。

我们用  $I_{PI}$  对夏季 200 hPa 纬向风异常场、500 hPa 位势高度异常场和 850 hPa 异常风场进行一元线性回归 (图 8), 发现该指数与夏季急流、副高的南北位置和对流层低层风场关系密切。图 8a 中 40°N 以南显著的正异常, 以北是负异常, 说明正  $I_{PI}$  对应着急流的偏南, 负  $I_{PI}$  对应着急流的偏北。图 8b 中, 东亚副热带地区 32°N 以南为正异常, 以北为负异常, 意味着正  $I_{PI}$  对应偏南的副高, 负  $I_{PI}$  时副高则偏北。在 850 hPa 风场的回归图中 (图 8c), 与 500 hPa 相对应, 正  $I_{PI}$  时, 西太平洋地区北部是一个气旋式异常, 南部是一个反气旋式异常, 导致华北地区偏北风异常, 和长江中下游地区南北风的辐合, 负  $I_{PI}$  时, 华北地区出现偏南风异常, 而长江中下游地区为风场的辐散形势。

可见, 年际尺度上北太平洋和热带印度洋 SSTA 与东亚大气环流形势有密切的关系。北太平洋偏暖而热带印度洋偏冷时 ( $I_{PI}$  为正), 急流和副高都偏北, 华北地区出现偏南风异常从而降水偏多, 长江中下游地区则出现低层风的辐散形势, 从而降水偏少。反之, 当北太平洋偏冷而热带印度洋偏暖时 ( $I_{PI}$  为负), 急流和副高都偏南, 华北地区为偏北风异常, 降水减少, 长江中下游地区则由于低层风场的辐合而降水增多。

由第 4 节的分析我们知道, 在年代际尺度上, 70 年代以前, 北太平洋偏暖, 印度洋偏冷,  $I_{PI}$  处于其年代际变化的负位相, 对应的东亚高空急流则偏北, 副热带高压偏北。70 年代以后,  $I_{PI}$  处于其年代际变化的正位相, 对应着偏北的东亚高空

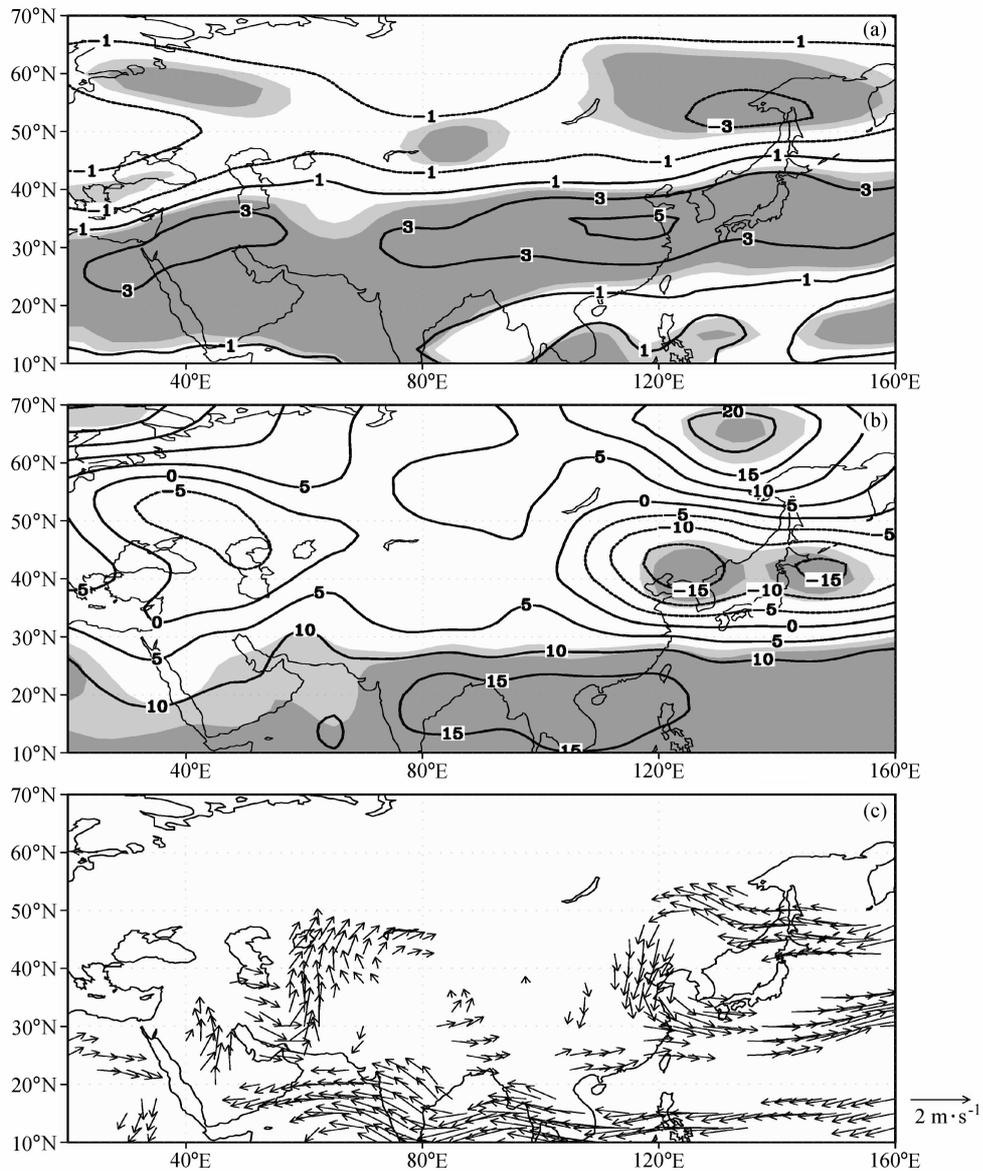


图 8  $I_{PI}$ 回归的夏季 (a) 200hPa 纬向异常风场 (单位:  $m \cdot s^{-1}$ )、(b) 500hPa 位势高度异常场 (单位:  $gpm$ )、(c) 850 hPa 异常风场 (单位:  $m \cdot s^{-1}$ ) ( $I_{PI}$ 指数和回归以前的各场均经过 9 年高通滤波, 深色和浅色阴影区分别通过 95% 和 90% 信度检验)

Fig. 8 Regression field of (a) meridional wind at 200 hPa (units:  $m \cdot s^{-1}$ ), (b) geopotential height at 500 hPa (units:  $gpm$ ), and (c) wind field at 850 hPa (units:  $m \cdot s^{-1}$ ) upon North Pacific-Tropical Indian Ocean SST index [ $I_{PI}$  and the three fields were 9-year high-band passed before regression, Dark and light shaded areas indicate 95% and 90% significance levels respectively in (a) and (b), only the vectors exceeded 95% significance level were plotted in (c)]

急流和副热带高压。可见, 海温与东亚大气环流在年代际上的对应关系与二者在年际尺度上的关系是一致的, 说明海温可能通过某种机制影响东亚急流、副高的南北位置和低层风场, 从而影响我国夏季东部降水。这种关系不仅体现在年际尺度上, 也体现在年代际尺度上。

## 6 小结与讨论

针对我国东部夏季旱涝型在 20 世纪 70 年代前后发生南北反相的年代际变化这一现象, 本文对东部 4 个区域 (东北、华北、长江中下游和华

南)的夏季降水进行了正交小波分析,提取出其较长时间尺度(大于28年)的分量。通过分析发现华北和长江中下游的这一分量较为显著,并且位相相反,都在20世纪70年代前后发生位相转换;而东北和华南地区大于28年的变化并不显著。

与我国东部旱涝型变化密切相关的北太平洋和热带印度洋 SSTA 在年代际和年际尺度上都具有较为一致的变化:北太平洋暖(冷)时热带印度洋偏冷(暖)。因此,在讨论海温与旱涝型变化的关系时,我们综合考虑了北太平洋和热带印度洋 SSTA。合成分析表明,在年代际尺度上,北太平洋-热带印度洋 SSTA 的变化与东亚高空急流、副高的南北位置密切相关。20世纪70年代以前(后),北太平洋偏暖(冷)而热带印度洋偏冷(暖),东亚高空急流偏弱(强)偏北(南),副热带高压也偏北(南)。急流和副高都是影响我国东部夏季降水的重要环流系统,它们的这种年代际差异会导致我国东部夏季旱涝型发生南北反相的年代际变化。

用9年高通滤波的资料考察海温与急流、副高等在年际尺度上的关系,可以看到在年际尺度上二者的关系与年代际尺度相类似,北太平洋偏暖(冷)而热带印度洋偏冷(暖),东亚高空急流和副热带高压都偏北(南)。急流和副高在夏季的北跳意味着北半球大气环流由冬季型向夏季型转变的过程。当急流和副高的位置偏北时,意味着热带、副热带大气环流系统向北推进的强度较大,东亚夏季风较强,华北降水偏多而长江中下游降水偏少,而当它们的位置偏南时,意味着热带副热带大气环流系统的向北推进较弱,东亚夏季风偏弱,华北降水偏少而长江中下游地区降水偏多。海温则可能通过影响急流、副高等东亚大气环流系统影响我国东部旱涝情况,这种联系不仅体现在年际尺度上,也体现在年代际尺度上。如 Yang 等<sup>[23]</sup>的研究就指出,海温与中国夏季降水在年际尺度上的关系一般而言也可以体现在年代际尺度上。

当然,年代际变化是一个非常复杂的现象,它可能独立于年际变化之外,具有与年际变化不同的物理机制。因此,对于我国旱涝年代际变化及其原因更深刻、全面的了解有待于利用更长、

更可信的资料进一步研究。

本文指出东亚高空急流和副热带高压在70年代前后南北位置的差异对我国东部夏季的旱涝转型起到重要作用,而急流、副高的变化又与北太平洋-热带印度洋 SSTA 的变化密切相关,它们的关系在年代际和年际尺度上都有所体现。但海温与急流、副高的具体联系途径还有待深入研究。另外由于影响我国东部旱涝的因素非常复杂,如北极涛动、北大西洋涛动等大气环流系统以及欧亚大陆、青藏高原地表热状况等都有可能与其相互作用。所以,要充分认识20世纪70年代前后我国东部旱涝南北反相这一现象,还需要进行更多的研究。

#### 参考文献 (References)

- [1] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. 气候与环境研究, 2003, **8**: 275~290  
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8**: 275~290
- [2] 顾薇, 李崇银, 杨辉. 中国东部夏季降水的年代际变化及趋势分析. 气象学报, 2005, **63**: 728~739  
Gu Wei, Li Chongyin, Yang Hui. Analysis on interdecadal variation of summer rainfall in East China and its trend. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, **63**: 728~739
- [3] 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 年代际变化研究. 气候与环境研究, 2002, **7**: 209~219  
Li Chongyin, Zhu Jinhong, Sun Zhaobo. The study of interdecadal climate variation. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7**: 209~219
- [4] Ho ChangHoi, JuneYi Lee, MyoungHwan Ahn, et al. A sudden change in summer rainfall characteristics in Korea during the late 1970s. *Int. J. Climatol.*, 2003, **23**: 117~128
- [5] 马京津, 高晓清, 曲乐迎. 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**: 321~329  
Ma Jingjin, Gao Xiaoqing, Qu Leying. The character of precipitation and its relation to climate change over North China in spring and summer. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11**: 321~329
- [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**: 862~868  
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**: 862~868
- [7] Hu Zengzhen. Interdecadal variability of summer climate over east Asia and its association with 500 hPa height and global sea surface temperature. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**: 19403~19412
- [8] 朱益民, 杨修群. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系. *气象学报*, 2003, **61**: 642~654  
Zhu Yimin, Yang Xiuqun. Relationships between Pacific Decadal Oscillation (PDO) and climate variabilities in China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61**: 642~654
- [9] 李峰, 何金海. 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化. *热带气象学报*, 2000, **16**: 261~271  
Li Feng, He Jinhai. The decadal change of the interaction between Northern Pacific SSTA and east Asian summer monsoon. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2000, **16**: 261~271
- [10] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, **78**: 1069~1079
- [11] 邓自旺, 施能, 王永波. 南方涛动 (SO) 与北大西洋涛动 (NAO) 百年变化特征的正交小波分析. *热带气象学报*, 2001, **17**: 57~64  
Deng Ziwan, Shi Neng, Wang Yongbo. Orthogonal wavelet analysis of SO and NAO. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2001, **17**: 57~64
- [12] Kawamura R. A Rotated EOF Analysis of global sea surface temperature variability with interannual and interdecadal scales. *Journal of Physical Oceanography*, 1994, **24**: 707~715
- [13] Shoshiro Minobe. A 50—70 year climatic oscillation over the north Pacific and north America. *Geophysical Research Letters*, 1997, **24**: 683~686
- [14] Nathan J Mantua, Steven R Hare, Yuan Zhang, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, **78**: 1069~1079
- [15] Tao S Y, Chen L X. A review of recent research of the east summer monsoon in China. In: *Monsoon Meteorology*, Chang C P, Krishnamurti T N, Ed. Cambridge: Oxford University Press, 1987. 60~92
- [16] 李崇银, 王作台, 林士哲, 等. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究. *大气科学*, 2004, **28**: 641~658
- Li Chongyin, Wang Zuotai, Lin Shizhe, et al. The relationship between east Asian summer monsoon activity and northward jump of the upper westerly jet location. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28**: 641~658
- [17] 陶诗言, 赵煜佳, 陈晓敏, 等. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系. *气象学报*, 1958, **29**: 119~134  
Tao Shiyun, Zhao Yujia, Chen Xiaomin. The relationship between May-Yu in far east and the behavior of circulation over Asia. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1958, **29**: 119~134
- [18] 廖清海, 高守亭, 王会军, 等. 北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常的影响. *地球物理学报*, 2004, **47**: 10~18  
Liao Qinghai, Gao Shouting, Wang Huijun, et al. Anomalies of the extratropical westerly jet in the north hemisphere and their impacts on East Asian summer monsoon climate anomalies. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2004, **47**: 10~18
- [19] 陆日宇. 华北汛期降水量年际变化与赤道东太平洋海温. *科学通报*, 2005, **50**: 1131~1135  
Lu Riyu. Interdecadal variation of precipitation in North China during flood period and sea surface temperature in east equatorial Pacific. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2005, **50**: 1131~1135
- [20] Wu Renguang, J. L. Kinter III. Discrepancy of interdecadal changes in the Asian region among the NCEP-NCAR reanalysis, objective analyses, and observations. *J. Climate*, 2005, **1**: 3048~3067
- [21] 董敏, 余建锐. 东亚西风急流变化与热带对流加热关系的研究. *大气科学*, 1999, **23**: 62~70  
Dong Min, Yu Jianrui. A study on the variations of the westerly Jet over East Asia and its relation with the tropical convective heating. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23**: 62~70
- [22] 艾悦秀, 陈兴芳. 夏季副高与海温的相互关系及副高预测. *热带气象学报*, 2000, **16**: 1~8  
Ai Yuexiu, Chen Xingfang. Analysis of the correlation between the subtropical high over western Pacific in summer and SST. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2000, **16**: 1~8
- [23] Yang Fanglin, Lau K M. Trend and variability of China precipitation in spring and summer; Linkage to sea-surface temperatures. *International Journal of Climatology*, 2004, **24**: 1625~1644