

# PDO 对夏季江淮地区雨量与太平洋海温年际相关的影响

杨秋明

(江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

**摘要:** 研究了在太平洋年代际振荡(PDO)不同位相中夏季江淮地区降水与太平洋海温年际相关空间分布的差异,讨论了产生这种变化的可能的物理机制。结果表明,PDO 冷暖位相中夏季江淮地区降水量与太平洋海温年际耦合振荡周期和强度均存在显著差异。PDO 冷位相中,夏季江淮地区降水与前期冬季西南太平洋和同期夏季黑潮区海温在 7~8 a 时间尺度上的耦合最显著;而在 PDO 暖位相中,与这些地区海温呈现极显著的准 2 a 耦合振荡,并且与同期夏季赤道东太平洋地区海温的准 2 a 耦合振荡也迅速加强。西太平洋地区海温的耦合振荡作用区域是时间稳定的,而东太平洋地区海温的耦合振荡作用区域存在时变性。因此,PDO 对夏季江淮地区降水和太平洋海温年际耦合振荡的强度和周期的年代际变化有重要影响。

**关键词:** 江淮地区雨量;太平洋海温;太平洋年代际振荡;年际耦合振荡;年代际变化

中图分类号:P461 文献标识码:A 文章编号:1000-3096(2007)07-0043-08

已有的研究表明,太平洋年代际振荡(PDO)<sup>[1]</sup>作为一种年代到年代际时间尺度上的气候变率强信号,既是叠加在长期气候趋势变化上的扰动,可直接造成太平洋及其周边地区(包括东亚地区)气候的年代际变化;又是年际变率的重要背景,对东亚气候系统年际变化(如 ENSO 年际变化频率和强度及其影响)具有重要的调节作用,使得东亚季风降水年际变化复杂化。Chang<sup>[2,3]</sup>研究了 PDO 对汛期中国长江中下游地区和华南地区降水量分别与太平洋海温年际相关的影响,发现 PDO 冷暖位相中这两个区域夏季雨量与上年 12 月到当年 11 月的太平洋海温的年际联系存在显著差异,长江中下游地区夏季雨量与太平洋海温的准 2 a 耦合振荡(QBO)也仅在 PDO 冷位相中显著,最近 20 a(PDO 暖位相)这种准 2 a 振荡已被更长时间尺度(3~4 a 左右)的耦合振荡所代替,主要是由于 PDO 从冷位相转变为暖位相使得热带太平洋大部分地区持续多年增暖导致西太平洋副热带高压脊活动的年代际异常,从而改变了长江中下游地区夏季雨量和太平洋年际时间尺度的时滞相关特性。汛期中国东部降水异常的另一个关键区是江淮地区(29°~34°N,105°~123°E),这个区域降水年际异常变化特性与华北地

区<sup>[4,5]</sup>、长江中下游地区<sup>[2,6]</sup>和华南地区<sup>[2]</sup>明显不同,过去的研究发现它与西北太平洋黑潮区和赤道中太平洋海温年际变化有密切联系<sup>[7]</sup>,但这种联系是否也受到 PDO 影响而发生年代际改变,即降水和海气系统相互作用的年际变化和年代际变化之间是否存在非线性联系,目前还不清楚。过去有关太平洋年代际振荡对中国降水的影响的研究主要集中在年代际时间尺度上,对于年际耦合振荡特性(周期和强度)的年代际变化的研究尚不多见。为了更好地预测夏季江淮地区雨量的年际变化,深入研究夏季江淮地区雨量和太平洋海温年际遥相关的时间稳定性是非常重要的。作者首先研究了近 50 a(1951~2000 年)来夏季江淮地区降水年际振荡特性在 PDO 冷暖位相中的变化,然后分析了不同的 PDO 年代际背景状态中夏季江淮地区降水和太平洋海温时滞相关空间分布的改变,并讨论了年际耦合振荡的年代际变化和可能原因。

收稿日期:2004-10-08;修回日期:2005-09-19

作者简介:杨秋明(1963-),男,江苏武进人,高级工程师,主要从事中长期天气预报业务和研究,电话:025-83287083, E-mail: yqm0305@263.net

## 1 资料和方法

夏季江淮地区降水量取自中国气象局的160个站月降水资料,每年6~8月在 $29^{\circ} \sim 34^{\circ}N, 105^{\circ} \sim 123^{\circ}E$ 范围内的17个站点(徐州、淮阴、新浦、蚌埠、阜阳、南阳、信阳、东台、南京、合肥、上海、安庆、九江、武汉、钟祥、岳阳和宜昌)的平均值,时间为1951~2000年。

太平洋海表面温度资料:取自英国 East Anglia 大学的全球海陆面温度格点资料<sup>[8]</sup>,分辨率为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ ,时间为1951~2000年。

进行分析所使用的方法有:非整数波功率谱分析<sup>[9]</sup>、相关分析、滑动相关分析和多通道奇异谱分析(MSSA)<sup>[10]</sup>。将资料分为1952~1976年(25 a)和1977~2000年(24 a)两个时期(对应于PDO冷暖位相,其中PDO暖位相为热带太平洋大范围增暖,北太平洋中纬地区显著变冷;PDO冷位相中上述地区海温变化趋势相反),分别计算夏季江淮地区降水量的主要年际振荡周期以及从前期冬季和春季到同期夏季和后期秋季太平洋海表面温度的相关。季节划分是春季3~5月,夏季6~8月,秋季9~11月和冬季12~2月。PDO冷暖位相中冬季资料时间分别是1951年12月~1952年2月,……,1975年12月~1976年2月和1976年12月~1977年2月,……,1999年12月~2000年2月;春、夏、秋季资料时间分别是1952~1976年和1977~2000年3~5月,6~8月,9~11月。

## 2 结果

图1a表明近50 a来江淮地区夏季雨量年际振荡周期呈现显著的缩短趋势,特别是PDO暖位相(1977年以后),旱涝发生频率明显增加。它的时间变化的另一个特点是降水趋势的年代际变化不明显,即在年代际时间尺度上与PDO的相关较弱,而长江中下游地区( $26^{\circ} \sim 32^{\circ}N, 110^{\circ} \sim 125^{\circ}E$ )<sup>[2,6]</sup>夏季降水量随PDO冷暖位相转变时持续增加。对1952~1976年和1977~2000年两个时期江淮地区夏季雨量分别进行非整数波功率谱分析<sup>[9]</sup>(该方法能精确揭示短序列中各种长度的显著周期),结果见图1b。图中清楚地表明江淮地区夏季雨量变化周期在1952~1976年期间以7.6 a为主[图1b实线,非整数波试验周期 $T(T=1.0, 1.1, 1.2, \dots, 13.0 \text{ a})$ 对应的回归方程的 $F$ 统计量的变化,当 $F=3.47$ 时,达95%的信度],而1977~2000

年期间年际振荡特性发生了明显变化,主要周期显著缩短,变为极显著的准2 a振荡(图1b虚线),其显著性达0.01,其强度明显大于1952~1976年期间7.6 a的主周期( $P < 0.05$ )。因此,这两个时期属于不同的气候变化阶段。20世纪80年代开始江淮地区进入干旱洪涝多发期,即夏季雨量年际振荡周期和强度也受到PDO的显著调节,其年际时间尺度的主振荡周期明显缩短,这种不同周期振荡之间的能量转换必然影响它与东亚海气系统各分量之间的年际耦合相关性,主要是由于太平洋地区海气系统各分量相互作用激发的年际时间尺度的低频波列类型和传播途径发生了改变。下面研究这两个时期江淮地区夏季雨量与太平洋海温的耦合相关空间分布的年代际变化特征。

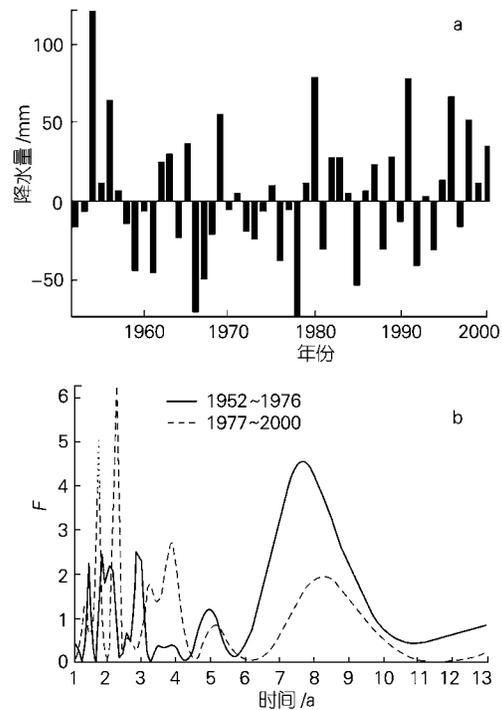


图1 1952~2000年期间夏季江淮地区雨量变化(a)和主要周期年代际变化(b)

Fig.1 The interannual variations of summer rainfall in the Yangtze River and the Huaihe River valley (a) during the period of 1952-2000 and the interdecadal variations of the dominant periods (b)

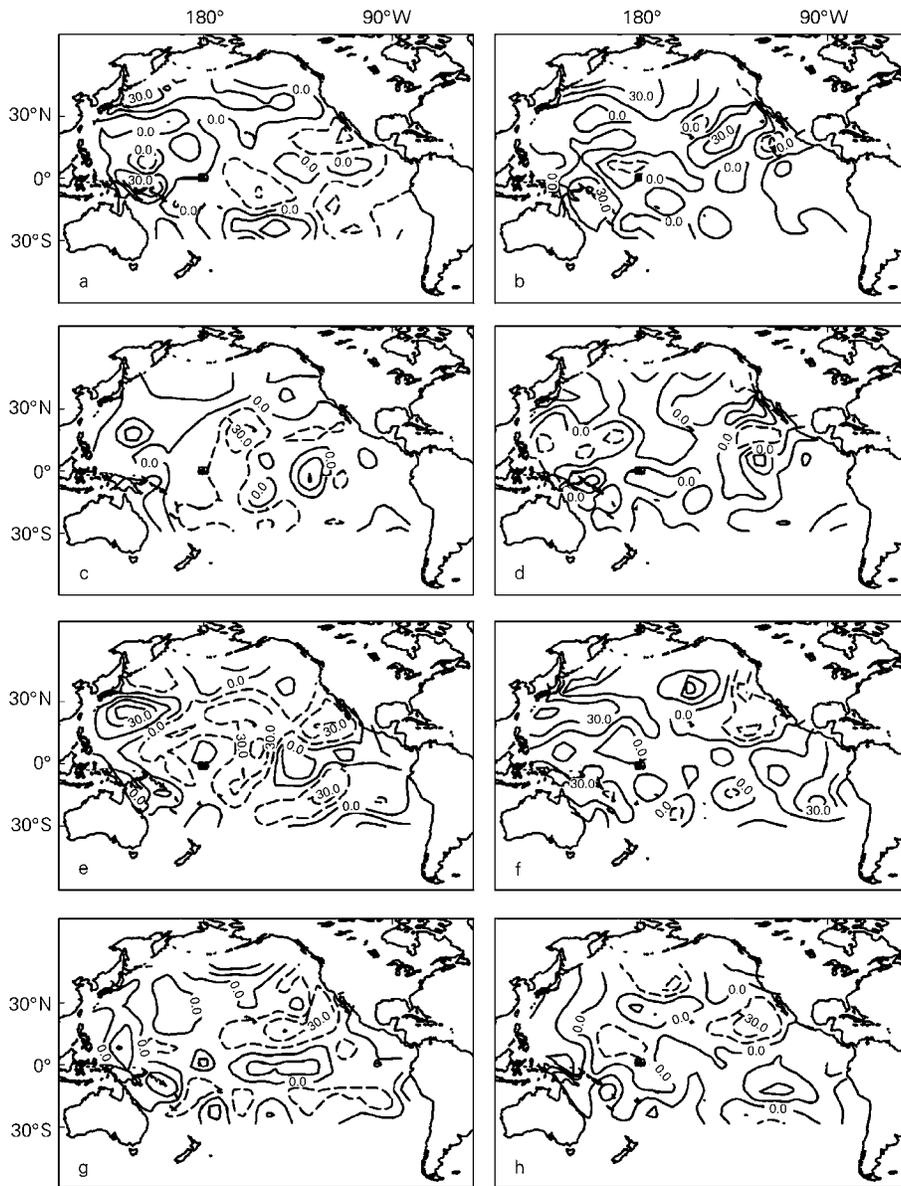


图2 江淮地区夏季雨量与太平洋海温的遥相关的空间分布和年代际变化

Fig.2 Interdecadal variations and spatial distributions of the teleconnection between summer rainfall in the Yangtze River and the Huaihe River valley and SST in the Pacific Ocean

a, b.前期冬季;c.d.前期春季:e.f.同期夏季:g.h.后期秋季;a,c,e,g 和 b,d,f,h 分别对应 PDO 冷 (1952~1976) 和暖 (1977~2000) 位相;图中数值已乘以 100,等值线间隔是 15

a, b. the preceding winter ; c, d. the preceding spring ; e, f. summer; g, h. the following fall; a, c, e, g and b, d, f, h are correspond to the period of cool phase of PDO(1952~1976) and warm phase of PDO(1977~2000), respectively; The values have been multiplied by 100, the contour interval is 15

图 2a,b 分别给出了在 PDO 冷、暖位相下冬季太平洋海温距平和后期夏季江淮地区降水的相关系数的空间分布(图中相关系数大于 0.40 时,达 95%的信度)。在 PDO 冷位相中,澳大利亚北部的西南太平洋地区和日本以东洋面的西北太平洋地区呈现显著的正相关(图 2a),达 95%的信度,太平洋其它地区不存在统计显著的相关;而在 PDO 暖位相中,上述西南太平洋和西北太平洋地区的正相关加强(图 2b),且范围扩大,其它地区的相关仍然不明显。因此,冬季太平洋地区这两个区域的遥相关具有较好的时间稳定性,并未受到 PDO 位相改变的明显影响。图 3a 和 3c 给出了冬季西南太平洋海温距平(2.5°~12.5°S, 147.5°~162.5°E)与后期夏季江淮地区降水距平变化曲线和 21 a 滑动相关系数[对应于 1952~1972 年, ..., 1980~2000 年期间,当滑动相关系数大于 0.45 时,达 95%的信度(图 3c 中水平虚线)]的变化曲线,从图中可以看出近 50 a 来两者具有稳定的正相关关系,1976 年以前冬季西南太平洋海温与后期夏季江淮地区降水之间的 7~8 a 年

耦合振荡和 1977 年以后准 2 a 耦合振荡均十分显著,仅在 1977~1981 年期间滑动相关下降,即耦合振荡主周期突变时期耦合强度减弱。对前期冬季西南太平洋海温和夏季江淮地区降水量进行多通道奇异谱分析(MSSA)<sup>[10]</sup>,进一步揭示它们之间主要年际振荡耦合模态的耦合强度的时间演变。图 4a,b 分别给出对应于 7~8 a 和准 2 a 时间尺度的重建耦合振荡分量序列的时间变化曲线(这两个主要耦合模态的解释方差分别是 18.8%和 13.8%)。从图中可以看出 7~8 a 耦合振荡强度在 1977 年以后明显减小(图 4a),而准 2 a 耦合振荡最近 20 a 以来迅速增强为几乎完全的 QBO(1976 年以前表现为非对称耦合,负耦合分量较大,正耦合分量很小,因而耦合强度较弱),这与上述滑动相关的结果一致。所以,这种时滞正相关并没有由于年际耦合振荡周期的年代际转换而改变,它表明前期冬季西南太平洋海温是预测夏季江淮地区降水的较好因子,其物理机制有待进一步研究。春季 PDO 冷、暖位相中太平洋地区的相关均不显著(图 2c,d),这与过去有关季风

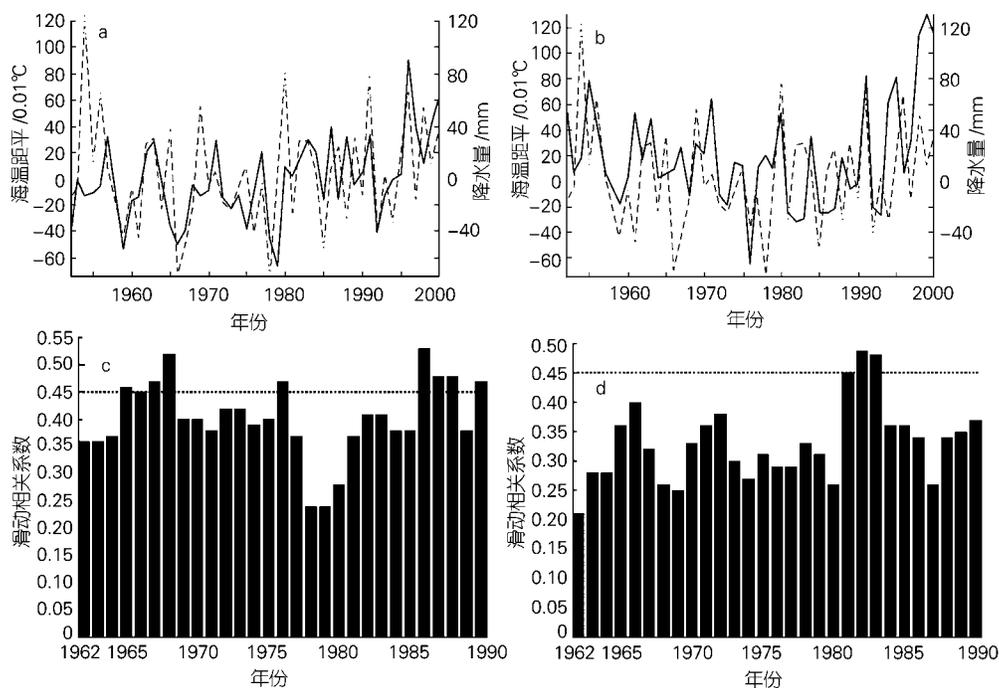


图 3 1952~2000 年期间太平洋海温与夏季江淮地区降水之间联系的年代际变化

Fig.3 Interdecadal variations of the connections between the SST anomalies (solid line)in the southwestern Pacific for the preceding inter (a) and the northwestern Pacific summer (b) and summer rainfall anomalies in the Yangtze River and the Huaihe River valley (dashed line) a,b 中实线分别是冬季西南太平洋地区和夏季西北太平洋地区海温距平,虚线是夏季江淮地区降水距平;c,d 是对应的 21 a 滑动相关系数 In (c) and (d), the 21a-sliding correlation coefficients are given, respectively

降水与太平洋海温相关存在“春季障碍”的研究结果相同,主要原因是北半球春季太平洋地区海气相互作用处于较弱的状态。到同期夏季,黑潮区海温与江淮地区降水量在 PDO 冷、暖位相中也表现为一致的正相关(图 2e,f),且暖位相中相关显著区域有所扩大,夏季黑潮区海温升高(降低)对应江淮地区降水偏多(少),这与过去的研究结果相似。图 3b 和 3d 给出了夏季西北太平洋海温距平(17.5°~37.5°N, 127.5°~152.5°E)与同期夏季江淮地区降水距平变化曲线和 21 a 滑动相关系数,从图 3b 和 3d 中也可以看出这种邻域相关的时间稳定性,但 1973~1980 年两者的滑动相关系数相对较小(在 0.30~0.38 之间,  $P>0.05$ ),它表明这种耦合相关的强度仍在一定程度上受到 PDO 位相转折伴随的年代际时间尺度的太平洋地区海气动量、热量和水汽通量交换强度变化的影响。值得注意的是东太平洋地区在 PDO 冷、暖位相中相关的空间分布存在十分显著的差异:在冷位相中相关不明显,但到暖位相呈显著的南北向正负相间的波列结构,正负相关中心分别在赤道东太平洋、东北太平洋中纬度地区和副热带地区(图 2f),所以仅在 PDO 暖位相中江淮地区旱涝与 El Nino 密切相关, PDO 冷位相中与 ENSO 无关。李峰等<sup>[11]</sup>也发现东亚夏季风指数与夏季热带中东太平洋海温的相关仅在 1977 年以后显著,这与上述结果类似,但 PDO 冷位相中与北太平洋中纬度海温的相关较好。PDO 冷、暖位相中秋季太平洋海温与前期夏季江淮地区降水总体的相关不显著,仅冷位相中东北太平洋副热带地区存在很小的负相关区域(图 2g),且在暖位相中减弱(图 2h),  $P>0.05$ ,它表明夏季江淮地区降水异常对后期太平洋地区海温变化的影响不大。

图 5 是 1977~2000 年和 1951~1976 年期间夏季全球海陆面温度距平平均差值的空间分布。从图 5 中可以看出,太平洋地区表现为极显著的 PDO 暖位相的空间分布,即北太平洋中纬度海温下降和热带太平洋海温升高的负正反相变化的空间结构,另外在南太平洋有一个和北太平洋阿留申低压区相似的冷异常区(这一对于赤道对称的结构由 PDO 的热带驱动机制产生<sup>[12-14]</sup>),对应的欧亚大陆的大部分地区以正值分布为主,正值中心在西亚地区,其显著性水平达到 0.05。值得注意的是,热带非洲大陆是夏季全球最大的温度上升区域,升温中心在非洲中部,达 1.2 以上,其

显著性水平达到 0.01;另外,热带西太平洋到南印度洋中纬度地区温度也呈显著上升状态(显著性水平也达到 0.01),但升温幅度小于非洲大陆地区。它表明 1977 年 PDO 年代际转折后,伴随着热带太平洋和印度洋海温的持续上升,夏季东亚和西太平洋地区之间的海陆热力差异减少,西太平洋副热带高压脊持续偏强<sup>[2-3]</sup>,位置偏南,但非洲大陆和西太平洋地区之间的海陆热力差异明显增大。南亚和东亚地区这种海陆热力空间分布结构的长期变化,引起亚洲季风加热和副热带高压脊的相互作用强度和年际振荡能量也迅速增加,造成太平洋海温与江淮夏季降水年际耦合振荡特性年代际的变化。

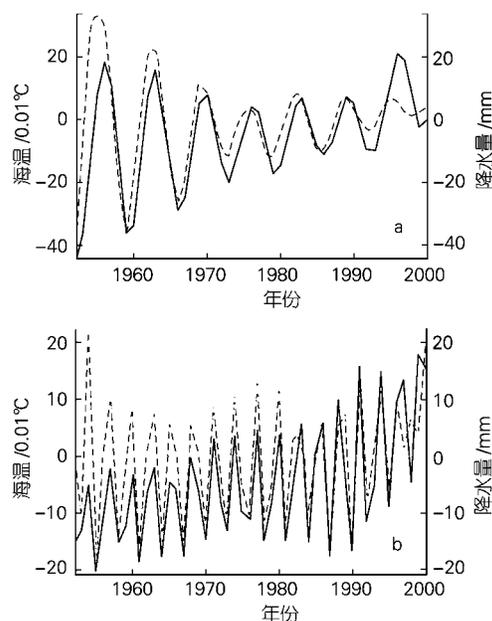


图 4 多通道奇异谱分析(MSSA)重构耦合振荡分量的时间变化

Fig.4 Reconstruction components of the coupled oscillations for Multichannel Singular Spectrum Analysis between the SST anomaly (solid line) in the southwestern Pacific winter during the preceding winter and summer rainfall (dashed line) in the Yangtze River and the Huaihe River valley

实线:前期冬季西南太平洋海温;虚线:夏季江淮地区降水量;a. 周期 7~8 a; b. 周期 准 2 a

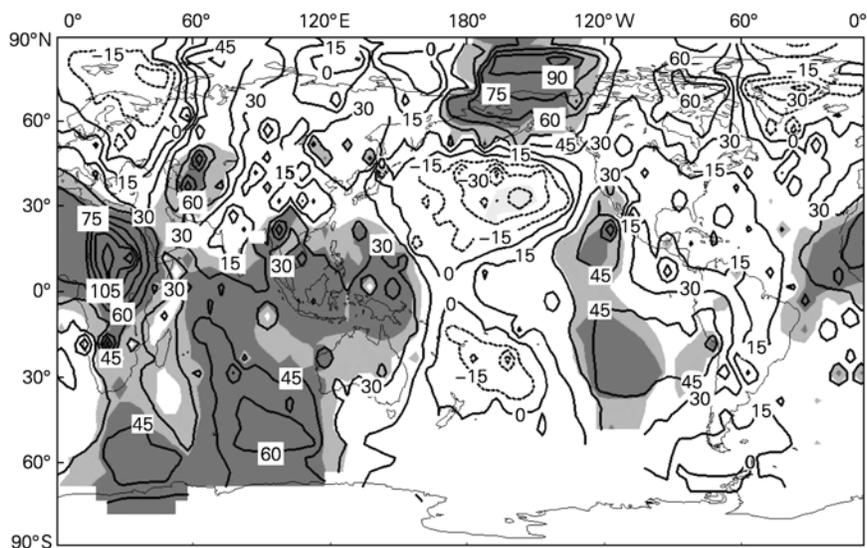


图 5 1977 ~ 2000 年和 1951 ~ 1976 年期间夏季全球海陆面温度距平平均差值的空间分布

Fig.5 Spatial distributions of difference for global land and sea surface temperature anomalies in the summers between 1977 ~ 2000 and 1951 ~ 1976

图中等值线间隔是 15,单位:0.01, 浅、深阴影区域分别达 95%和 99%的信度

The contour interval is 15 (units : 0.01), and light (darker) grey shaded areas represent the 95% (99%) significance levels, respectively

以上研究表明,夏季江淮地区降水与太平洋海温的年际耦合振荡主要表现在前期冬季和同期夏季,而与前期春季和后期秋季的相关不显著。对于西太平洋地区,冬季主要耦合区域在日本以东的洋面和西南太平洋地区,夏季则位于黑潮海区,并且在 PDO 冷、暖位相变化不大,具有很好的时间稳定性。尽管主要年际振荡周期发生了突变,但显著的正相关联系仍然维持不变,这种江淮地区降水与海温的邻域响应的时空稳定性反映了东亚地区年际时间尺度海气相互作用的一种基本属性。对于东太平洋地区,仅在 PDO 暖位相中,同期夏季才表现出一支从热带东太平洋到东北太平洋中纬度的正负相间的波列结构,夏季江淮地区降水与 ENSO 存在显著的遥相关联系。显然,这种遥相关具有时间选择性,与气候背景状态的改变有关,它是太平洋地区海气系统年代际变化和年际变化相互作用的反映。另一方面,夏季江淮地区降水与太平洋海温的年际耦合振荡的时间尺度也存在十分显著的年代际变化, PDO 冷位相中,夏季江淮地区降水与前期冬季西南太平洋和同期夏季黑潮区海温在 7~8

a 时间尺度上的耦合最显著,这时冬季黑潮及黑潮延伸区净热通量以正异常为主,大气得到的潜热通量偏少<sup>[15]</sup>,向年际振荡转换的能量也较少,因而振荡能量较小,频率较低;在 PDO 暖位相中,夏季江淮地区降水与前期冬季西南太平洋和同期夏季黑潮区海温间的耦合表现为极显著的准 2 a 年振荡,并且与同期夏季赤道东太平洋和东北太平洋地区海温的准 2a 耦合振荡也迅速加强,发展为几乎完全的 QBO, 7~8 a 耦合振荡消失,它由冬季太平洋黑潮及黑潮延伸区净热通量在 PDO 暖位相中持续负异常引起,这时西北太平洋向大气释放的潜热通量偏多,西太平洋副热带高压持续偏强<sup>[16]</sup>,东亚地区海气系统年际振荡获得更多的能量而明显加强且周期缩短,耦合显著区域增加,范围扩大,这表明东亚太平洋地区海气系统分量之间的年际耦合相关明显受到 PDO 的调制。

### 3 结论

近 50 a 来夏季江淮地区(29°~34°N,105°~123°E)降水量年际振荡周期发生了一次明显的年代际变化,

由太平洋年代际振荡(PDO)冷位相(1951~1976年)的7~8a振荡转换为暖位相(1977~2000年)的极显著的准2a振荡,这种年际振荡主要周期的转换反映了东亚季风系统年际和年代际振荡之间的相互作用,它使得夏季江淮地区降水量和同期夏季太平洋海温的遥相关的时空分布产生明显的年代际改变,仅在PDO暖位相中夏季与东太平洋地区的遥相关显著,但与黑潮区海温的邻域相关的时间稳定性很好,基本不受PDO位相转折的影响。PDO冷暖位相中夏季江淮地区降水量与太平洋海温年际时滞相关的另一个特点是与前期冬季西南太平洋、西北太平洋海温正相关的也具有很好的时间稳定性。耦合振荡周期从7~8a变为准2a,而对于春季和秋季,夏季江淮地区降水量与太平洋海温的相关不显著,它是太平洋地区海气系统相互作用的季节性的表现,因为太平洋地区海气相互作用仅在冬夏季比较显著。因此,夏季江淮地区降水量与西太平洋地区海温的年际耦合振荡作用区域是时间稳定的,不随年代际背景和耦合振荡周期转换发生变化,而与东太平洋地区海温的耦合振荡作用区域存在时变性,仅表现为暖位相中强的准2a耦合振荡,它由年代际气候背景状态决定。

## 参考文献:

- [1] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93[J]. *J Climate*, 1997, 10: 1004-1020.
- [2] Chang C-P, Zhang Y, Li T. Interannual and interdecadal variations of East Asia summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: Roles of the subtropical ridge[J]. *J Climate*, 2000, 13(24): 4310-4325.
- [3] Chang C-P, Zhang Y, Li T. Interannual and interdecadal variations of East Asia summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part II: Meridional structure of the monsoon [J]. *J Climate*, 2000, 13(24): 4326-4340.
- [4] 戴新刚, 汪萍, 丑纪范. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际演变[J]. *科学通报*, 2003, 48(23): 2483-2487.
- [5] 陆日宇. 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*, 2003, 48(7): 718-722.
- [6] 李峰, 何立富. 长江中下游地区夏季旱涝年际、年代际变化的可能成因研究[J]. *应用气象学报*, 2002, 13(6): 718-726.
- [7] 李跃凤, 丁一汇. 海表温度和地表温度与中国东部夏季异常降水[J]. *气候与环境研究*, 2002, 7(1): 87-101.
- [8] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001[J]. *J Climate*, 2003, 16(2): 206-223.
- [9] Schickedanz P T, Bowen E G. The computation of climatological power spectrum[J]. *J Appl Met*, 1977, 16: 359-367.
- [10] Plant G, Vautard R. Spells of low-frequency oscillation and weather regimes in the Northern Hemisphere[J]. *J Atmos Sci*, 1994, 51: 210-236.
- [11] 李峰, 何金海. 太平洋区域海温的跃变及其与东亚夏季风的关系[J]. *气象科学*, 2001, 21(1): 28-35.
- [12] Evans M N, Cane M A, Schrag D P, et al. Support for tropically-driven Pacific decadal variability based on paleo-proxy evidence[J]. *Geophys Res Lett*, 2001, 28: 3689-3692.
- [13] Gedalof Z, Mantua N J. A multi-century perspective of variability in the Pacific decadal oscillation: new insights from tree rings and coral[J]. *Geophys Res Lett*, 2002, 29(24): 2204, doi: 10.1029/2002GL015824.
- [14] Giese B S, Urizar S C, Fucker N S. Southern hemisphere origins of 1976 climate shift[J]. *Geophys Res Lett*, 2002, 29(2): 1014, doi: 10.1029/2001GL013268.
- [15] 刘衍超, 刘秦玉, 潘爱军. 太平洋海气界面净热通量的季节、年际和年代际变化[J]. *中国海洋大学学报*, 2004, 34(3): 341-350.
- [16] 吴国雄, 刘屹岷, 刘平. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响: 尺度分析[J]. *气象学报*, 1999, 57(3): 257-263.

## Effect of PDO on the interannual relationships between summer rainfall in the Yangze River and the Huaihe River valley and SST in the Pacific Ocean

YANG Qiu-ming

(Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008,China)

Received: Oct., 8, 2004

**Key words:** summer rainfall in the Yangtze River and the Huaihe River valley ;sea surface temperature in the Pacific; the Pacific Decadal Oscillation (PDO); coupled interannual oscillation ;interdecadal variations

**Abstract:** The interdecadal variations of the distributions for the interannual teleconnections between the summer rainfall in the Yangtze River and the Huaihe River valley and the sea surface temperature (SST) in the Pacific are studied from cool phase (1951 ~ 1976) and warm phase (1977 ~ 2000) of the Pacific Decadal Oscillation (PDO), and possible mechanisms of these variations are also investigated. The main results are as follows: there is an evident interdecadal variation for the period and its intensity for the coupled interannual oscillation in different phases of PDO. During the PDO cool phase, the summer rainfall in the Yangtze River and the Huaihe River valley are well coupled with the SST in the northwestern Pacific summer and in the tropical southwestern Pacific for the preceding winter on the timescale of 7 ~ 8 a. During the PDO warm phase, however, there is a significant tropospheric biennial oscillation for the coupled interannual oscillations over these regions. In addition, it seems to have a stronger correlation with the SST of the tropical eastern Pacific summer. Stationary and nonstationary coupled oscillation regions are located over the western and eastern Pacific, respectively. Thus, the interdecadal variations for intensity and period of these coupled interannual oscillations are closely related to PDO.

( 本文编辑 : 刘珊珊 )