

文章编号: 1000-2022(2003) 06-0837-08

ENSO 循环对西太平洋副高和 福建汛期旱涝的影响

蔡学湛, 吴 滨, 温珍治

(福建省气象台, 福建 福州 350001)

摘 要: 利用 1951—2000 年北太平洋海温和副高特征量资料, 探讨了夏半年副高与前期海温的关系, 发现影响副高活动的海温关键区赤道东太平洋前期信息最明显, 从前期秋季持续至春季都保持与夏半年各月副高强度、西伸脊点位置的高相关; ENSO 事件的形成超前于副高强度的转折约半年时间; El Nino 年副高持续偏强偏西, La Nina 年则相反, 脊线位置也有所反映但不如强度与西伸变化显著。在此基础上进一步分析表明, 福建雨季(5—6 月)降水分布的异常直接受到副高活动的影响, 夏季(7—9 月)全省大部旱涝也直接受到副高南北位置差异的影响。而副高活动异常又明显受 ENSO 循环的制约, 因而关注赤道东太平洋海温及 ENSO 信息对福建汛期旱涝与降水分布趋势的预测具有重要意义。

关键词: ENSO 循环; 西太平洋副高; 汛期旱涝; 福建省

中图分类号: P434 **文献标识码:** A

对短期气候变化来说, 海洋扮演着非常重要的角色。赤道太平洋海温的异常, 特别是 ENSO 现象是影响全球大气环流和年际气候变化的最强信号, 它影响热带地区降水异常的事实是众所周知的, 与中纬度气候特别是降水的关系也相当复杂。20 世纪 70 年代人们开始注意到西太平洋副高(以下简称副高)与赤道东太平洋海温的关系^[1-5], 但至今对副高的变化, 包括季节性进退及持续性异常的变化规律及成因还未有足够的认识。汛期降水预测的成败往往与估计当年副高的活动正确与否有关, 因而副高的预测仍然是夏季降水趋势预测的中心课题。黄荣辉等^[6-7]给出热带西太平洋暖池附近显著变温, 菲律宾周围对流活动异常所激发的 EAP 遥相关型, 导致西太平洋副高位置异常, 并解释了 ENSO 现象影响我国夏季降水异常的物理机制。许多研究^[8-11]还表明, 在 ENSO 发展不同阶段, 相应的环流系统随着加热区位置、强度变化, 对中国夏季降水影响是不同的。本文一方面对副高的强度、南北位置、西伸程度与赤道东太平洋海温及 ENSO 事件关系进行探讨, 另一个方面从 ENSO 循环过程不同位相及副高活动异常来讨论对福建汛期(雨季: 5—6 月; 夏季: 7—9 月)降水的影响。这将有助于改进副高的预报, 加强汛期旱涝趋势预测的能力。本文采用国家气候中心提供的美国 NCEP 1951—2000 年 2×2 网格海表温度资料, 按文献[12]给出的海气综合指数为标准划分 ENSO 冷暖事件。

收稿日期: 2002-12-13; 改回日期: 2003-03-26

基金项目: 福建省自然科学基金项目(D9810010)

作者简介: 蔡学湛(1946-), 男, 福建福州人, 正研高工, 研究方向: 气候预测。

1 北太平洋海温的遥相关结构与影响副高的关键区

以赤道冷水区 120°W 为基点的多年海温序列与北太平洋各网格点上海温序列求相关(图略),可以发现,除赤道东太平洋(Nino3 及 Nino1、2 区)存在一个高信度的正相关区以外,在西太平洋的黑潮区附近存在另一个正的高相关区,在其北侧及其西侧有一个高信度的负相关区,即西风漂流区和热带西太平洋。北太平洋海温东南—西北方向存在这种类似跷跷板的振荡结构,是北太平洋海温 ENSO 循环的基本特征。

为了分析影响副高变化的海温场关键区,选取夏半年副高特征量与前期海温相关最为显著(下文将分析阐明)的冬季(1—2 月)北太平洋海温,来统计与夏季(6—8 月)副高强度指数的相关分布(图 1)。图 1 显见与上述北太平洋遥相关结构相当吻合,正的最高相关区出现在赤道东太平洋, Nino3 及 Nino1、2 区都达 0.001 的显著性水平,另一个出现在黑潮区、我国南海附近,显著性低于赤道东太平洋;负的高相关区位于西风漂流区及菲律宾以东洋面,其中心部位也达 0.001 的显著性水平,显然这种结构为典型的厄尔尼诺海温分布型。文献[13]曾着重统计了 3 大强洋流区——赤道冷水区(Nino3 区: 150°~90°W, 5°S~5°N)、西风漂流区(160°E~170°W, 35°~45°N)和黑潮区(140°~150°E, 35°N; 125°~150°E, 25°~30°N)的各月方差变化,表明, Nino3 区的海温方差明显大于西风漂流区和黑潮区,全年各月均达 0.5 以上, 11、12 月又为全年最大,达 1.0。这表明赤道冷水区是北太平洋海温变化离散度最大,同时又是影响夏季副高活动信号最强的关键区。

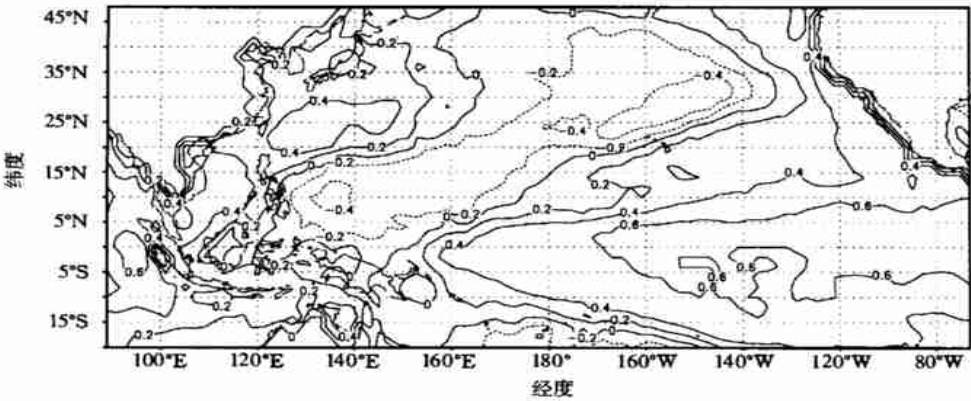


图 1 1951—2000 年夏季副高强度与前期冬季北太平洋 SST 相关分布
Fig.1 Correlation distribution between subtropical high intensity in summer and North Pacific SST in the previous winter from 1951 to 2000

2 副高与赤道东太平洋海温的关系

分析了反映副高强度、南北和东西位置相对独立的三个特征量——副高面积指数、西伸脊点位置、脊线位置与 Nino3 区海温的逐月相关(表 1)。总体来说,副高面积指数与海温相关最为显著,各月面积指数与上一年 9 月持续到同期海温的正相关有 77%,达到 0.001 的显著性水平,高相关值集中在前期冬春季 12 月—次年 3 月,整个冬季都达到 0.001 的显著性水平。西伸脊点与海温均为负相关,各月西伸脊点与上一年 9 月持续至同期海温有 57%,达到 0.01 的显著性水平,负的最高相关集中在前期 2—3 月。脊线位置与海温的关系远不如面积和西伸脊

点,只有 6、7 月的脊线位置可保持从前期 9 月一直到同期海温的负相关达 0.05 的显著性水平,高相关仍然集中在前期冬春季最为显著。8 月份的脊线与海温关系最差,基本无关,但 9 月份的脊线位置与前期春季之后的海温的负相关又可达 0.05 的显著性水平。上述分析表明,发生在赤道东太平洋热状况变化对夏半年副高的影响,特别是强度和西伸,其时效可超前至前年秋季,冬春季特别显著。由此可以得出这样的基本模式:当秋冬季赤道东太平洋出现暖水时,次年夏半年副高偏强、偏西,脊线位置初夏与夏末偏南;当秋冬季出现冷水时则与之相反。

表 1 1951—2000 年 5—9 月副高特征量与前期 Nino3 区海温相关系数

Table 1 Correlation coefficients between subtropical high indices from May to September during 1951—2000 and the previous SST in Nino3 area

副高 特征量	月份 (当年)	前一年月份				当年月份							
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
面积指数	5	0.41	0.45	0.49	0.51	0.53	0.55	0.55	0.52	0.45			
	6	0.42	0.50	0.57	0.59	0.60	0.61	0.59	0.52	0.44	0.32		
	7	0.35	0.42	0.48	0.51	0.53	0.52	0.50	0.48	0.45	0.38	0.28	
	8	0.48	0.51	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.55	0.48	0.37	0.25	0.15
	9	0.37	0.44	0.50	0.52	0.51	0.50	0.47	0.40	0.32	0.23	0.18	0.14
西伸脊点	5	-0.41	-0.44	-0.47	-0.49	-0.51	-0.54	-0.52	-0.44	-0.29			
	6	-0.33	-0.39	-0.44	-0.47	-0.49	-0.53	-0.51	-0.43	-0.28	-0.16		
	7	-0.19	-0.24	-0.27	-0.28	-0.31	-0.33	-0.35	-0.34	-0.29	-0.22	-0.15	
	8	-0.37	-0.37	-0.38	-0.37	-0.38	-0.39	-0.40	-0.35	-0.27	-0.20	-0.17	-0.15
	9	-0.24	-0.29	-0.33	-0.33	-0.34	-0.33	-0.33	-0.28	-0.21	-0.13	-0.10	-0.08
脊线位置	5	0.00	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01	0.01	-0.03	-0.13	-0.23			
	6	-0.39	-0.41	-0.45	-0.50	-0.52	-0.52	-0.49	-0.41	-0.33	-0.26		
	7	-0.28	-0.28	-0.29	-0.29	-0.30	-0.31	-0.33	-0.34	-0.34	-0.27	-0.21	
	8	0.08	0.04	0.01	0.02	0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.10	-0.16	-0.21	-0.21
	9	-0.14	-0.18	-0.21	-0.22	-0.21	-0.21	-0.25	-0.26	-0.30	-0.33	-0.39	-0.39

西太平洋副高的强弱和位置的变化具有明显的持续性和转折性。为了进一步讨论这种持续性和转折性与海温的关系,选取副高面积指数统计其转折过程,即转折期前半年至少有 4 个月与转折后半年也至少有 4 个月的距平成反号,1951—2000 年有 9 次由弱转强的过程,转折期分别为 1953 年 7 月、1957 年 11 月、1965 年 11 月、1969 年 3 月、1972 年 10 月、1976 年 10 月、1982 年 5 月、1986 年 10 月、1997 年 7 月;有 6 次由强转弱的过程,转折期分别为 1966 年 11 月、1970 年 10 月、1973 年 10 月、1984 年 6 月、1988 年 11 月、1999 年 1 月。实质上它们分别属于 ENSO 暖事件与冷事件的开始年或发展阶段^[10]。副高由弱转强的 9 次过程中,Nino3 区海温距平由负转正超前 4~9 个月不等,平均 6.7 个月;6 次副高由强转弱的过程,Nino3 区海温距平由正转负超前 5~8 个月,平均 6.5 个月。图 2 分别将 9 次弱转强与 6 次强转弱过程副高转折期前 12 个月 Nino3 区海温距平的合成加以比较,图上两条曲线零距平所对应的月份也反映了海温转折超前时间,与上述平均超前月基本吻合,说明了 ENSO 事件对副高强度的影响时效约为半年。

3 El Nino 与 La Nina 年的副高特征

表 1 的分析已得出赤道东太平洋前期暖水与冷水影响夏半年副高的基本模式。为进一步

讨论 ENSO 事件典型年份副高活动特征, 结合国家气候中心 ENSO 监测室所制定的划分标准^[4], 选取典型 El Nino 年 1951、1953、1957—1958、1963、1965、1969、1972、1976、1983、1987、1991—1992、1993、1994、1997—1998 年共 17 a, 和典型 La Nina 年 1954—1955、1964、1967、1970—1971、1974、1975、1985、1988、1999—2000 年共 12 a。将典型 El Nino 年 3 个副高特征量各自平均, 与典型 La Nina 年进行比较(图 3)。显然 El Nino 年与 La Nina 年副高活动的趋势特别是面积与西伸脊点位置完全相反。脊线位置在夏半年, 随着季节转换, 从 5 月开始 La Nina 年急速北移, 8 月达最北位置后又急速南撤, El Nino 年却位移缓慢, 8 月两者位移差达 5 个纬距。这与上述分析结果一致, 同时更体现出典型年份的异常。

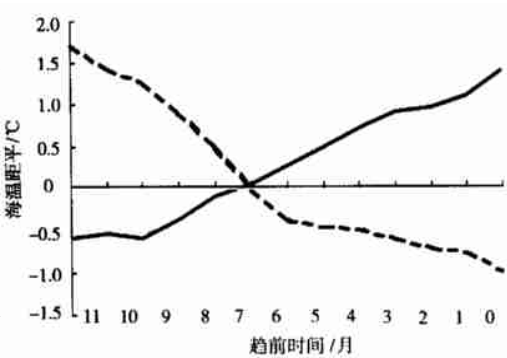


图 2 副高由弱转强(实线)和由强转弱(虚线)期前 12 个月 Nino3 区海温距平合成曲线
Fig.2 Variation of Nino3 SST A in 12 months before the subtropical high enhanced (solid line) and weakened(dashed line)

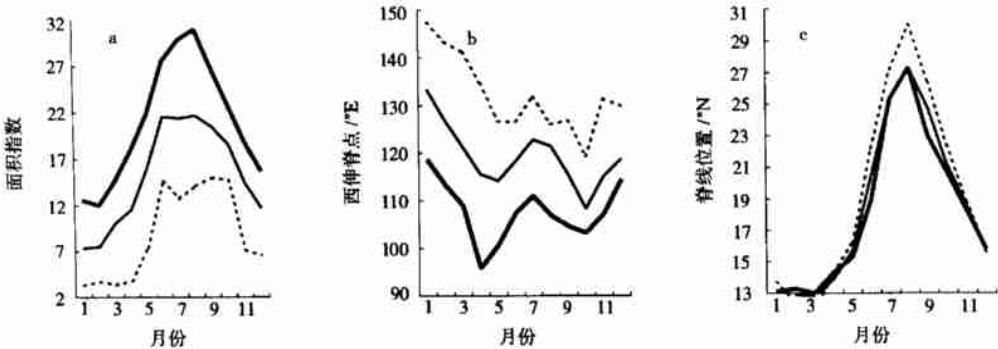


图 3 El Nino 年(粗线)、La Nina 年(虚线)与正常年(细线)副高特征量平均曲线
a. 面积指数; b. 西伸脊点; c. 脊线位置

Fig. 3 Comparison of annual subtropical high indices among El Nino year (thick solid line), La Nina year(dashed line) and normal year(thin solid line)

a. indices of areas; b. the mean point to which ridge line extends west ward; c. ridge line

4 副高异常对汛期降水的影响

副高是影响我国汛期雨带位置最直接的天气系统。为了分析副高对福建雨季(5—6 月)、夏季(7—9 月)降水的影响, 仍然取面积指数、西伸脊点与脊线位置这 3 个相对独立的因子与全省 38 个站 1959—2000 年降水计算出的雨季 EOF 前三个特征向量(方差贡献分别为 0.48、0.17、0.06)及夏季 EOF 前三个特征量(方差贡献分别为 0.52、0.15、0.8)的时间系数统计同期相关(表 2)。统计结果表明, 雨季 EOF-T1、EOF-T3 与副高的关系不明显, 而 EOF-T2 与副高 3 个特征量的相关系数都较高, 它与面积的负相关和与西伸脊点正相关分别达到 0.05 与 0.01 的显著性水平。雨季 EOF-T2 特征向量的空间分布(图略)为北负南正即南北反向, 可见副高的变化主要影响省内降水南北向分布, 即主要影响雨带的位置。由表 2 可知, 夏季只有副高脊线与 EOF-T1 相关达 0.05 显著性水平, 夏季 EOF-T1 特征向量空间分布为全省同相。可

见, 3 个因子中, 副高南北位置与夏季旱涝关系最为密切, 它导致全省降水量普遍增多或减少。为了验证这种关系, 取雨季 EOF-T2 时间系数序列中的异常年份, 即其值最大的 5 a(1960、1965、1972、1986、1997 年) 与其值最小的 5 a(1969、1970、1982、1988、1995 年) 降水标准变量进行合成(图 4)。由图可见, 等值线多呈 WSW-ENE 走向, 显然 EOF-T2 异常年份降水变化趋势截然不同, 即大值年向南递增、向北递减, 小值年向南递减、向北递增。这意味着副高偏北偏东, 有助于夏季风发展和北上, 此时季风雨带可迅速北移至江南北部, 副高南侧西太平洋 ITCZ 活跃, 有利于福建南部多雨; 副高偏南偏西则相反, 夏季风不易发展, 不利于雨带北上, 停滞于江南南部, 导致福建北部多雨。为了验证夏季 EOF-T1 特征向量与副高脊线的关系, 取夏季副高脊线平均位置偏北(28.5°N 以北)的典型年份 1961、1975、1985、1992、1999 年, 与脊线偏南(23.5°N 以南)的典型年份 1967、1974、1983、1986、1988 年全省降水标准变量合成(图 5)。很明显, 图 5a 与 5b 全省降水变化趋势完全相反, 即脊线偏北年降水异常偏多; 脊线偏南年则异常偏少。其差异通过 t 检验, 全省约有 4/5 区域达到 0.01 的显著性水平。这意味着, 副高异常偏北(南), 伴随着东亚夏季风异常偏强(弱)是导致福建夏季涝(旱)最主要的气候背景。

表 2 福建汛期(5—9 月)降水 EOF 时间系数与同期副高特征量相关系数(1959—2000 年)

副高特征量	Table 2 Correlation between EOF time coefficient of rainfall in rainy season and subtropical high indices					
	雨季(5—6 月)			夏季(7—9 月)		
	EOF-T1	EOF-T2	EOF-T3	EOF-T1	EOF-T2	EOF-T3
面积指数	-0.16	-0.35	0.03	0.17	-0.11	0.05
西伸脊点	-0.07	0.39	0.11	-0.16	0.03	-0.20
脊线位置	-0.12	0.23	-0.11	0.36	0.07	0.01

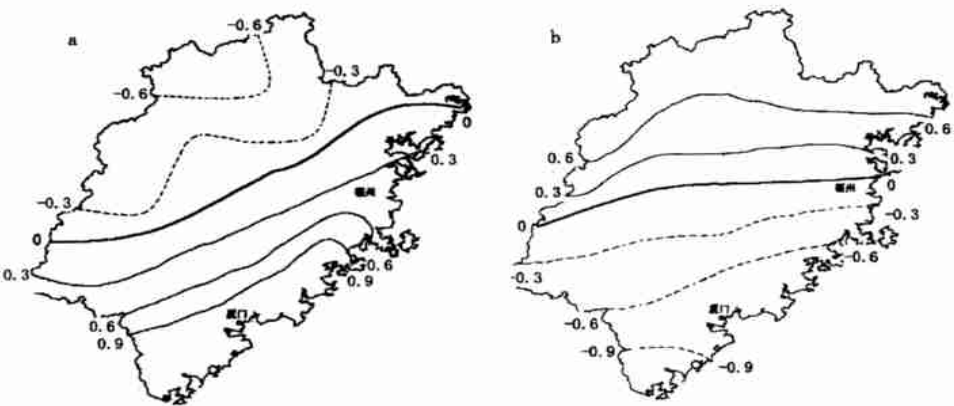


图 4 EOF-T2 时间系数大值年(a)与小值年(b)雨季降水标准变量的合成

Fig. 4 Composite distributions of normalized rainfall in rainy season for higher (a) and lower (b) EOF-T2 time coefficient

ENSO 循环处于不同的位相或阶段, 亚洲季风对赤道中、东太平洋海温的响应不同, 导致对我国夏季降水影响的差异^[13]。据统计, 1960 年后发生的中等强度以上暖事件有 8 次, 冷事件有 6 次^[10], 其中有 6 次暖事件是在春季 3—5 月之间发生的, 有 5 次暖事件是在秋冬季达到峰值的。这里可在 ENSO 循环过程中按暖事件峰值前的发生、开始、发展时期划为 ENSO 发展阶

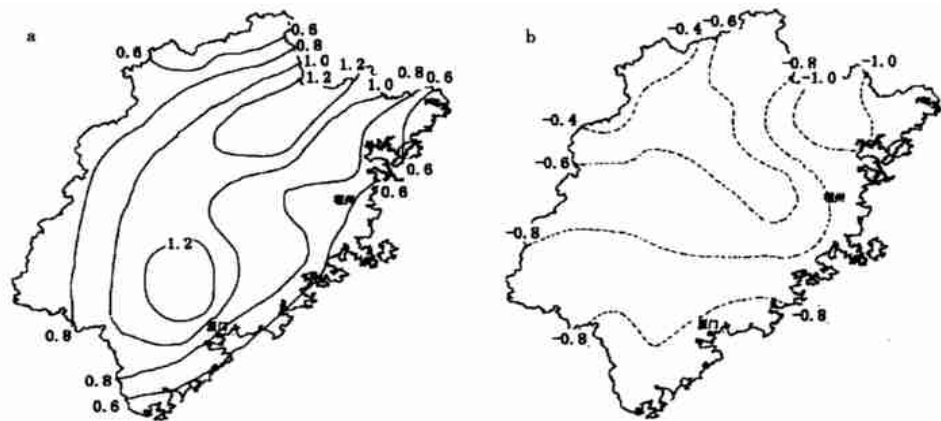


图 5 副高脊线位置偏北(a)与偏南(b)夏季降水标准变量合成

Fig. 5 Composite distributions of normalized summer rainfall for northward (a) and southward (b) subtropical high ridge line

段,把冷事件峰值前的发生、开始、发展时期划分为 ENSO 衰减阶段。这样可划出 1960 年后 ENSO 事件处于发展阶段的有 1965、1969、1972、1982、1987、1991、1993、1997 年,处于衰减阶段的有 1968、1970、1973、1975、1988、1999 年。不言而喻,发展阶段赤道中、东太平洋海温处于增温状态,衰减阶段而处于降温状态。

图 6 是福建雨季处于 ENSO 循环不同阶段的降水标准变量合成分布。可以看出,无论是图 6a 还是图 6b,南北方向都呈现相反的变化趋势,即图 6a 向北递减、向南递增;图 6b 则相反,向北递增、向南递减。其整体分布特征,前者类似图 4a,后者类似图 4b,这反映了 ENSO 循环的不同阶段与副高活动异常相类似制约前汛期雨带的位置。图 7 是夏季处于 ENSO 循环不同阶段省内降水标准变量合成分布。可以看到,图 7a 除西北局部山区外,全省为正变量;图 7b 除了西北局部之外,全省却为负变量。图 7a、7b 整体分布特征,类似图 5a、5b。可见,夏季旱涝分布在一定程度上依赖 ENSO 循环的不同阶段或位相,也是与副高活动即南北位置异常的影响相类似。

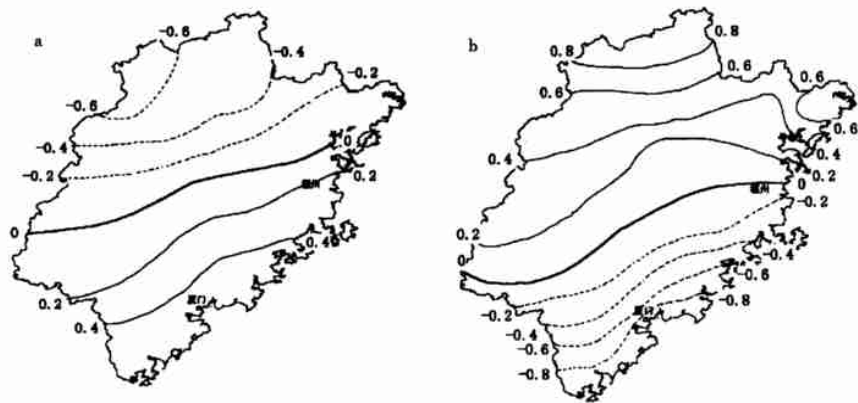


图 6 ENSO 事件衰减阶段(a)与发展阶段(b)雨季降水标准变量合成

Fig. 6 Composite distributions of normalized rainfall in rainy season for phases of ENSO attenuation (a) and development (b)

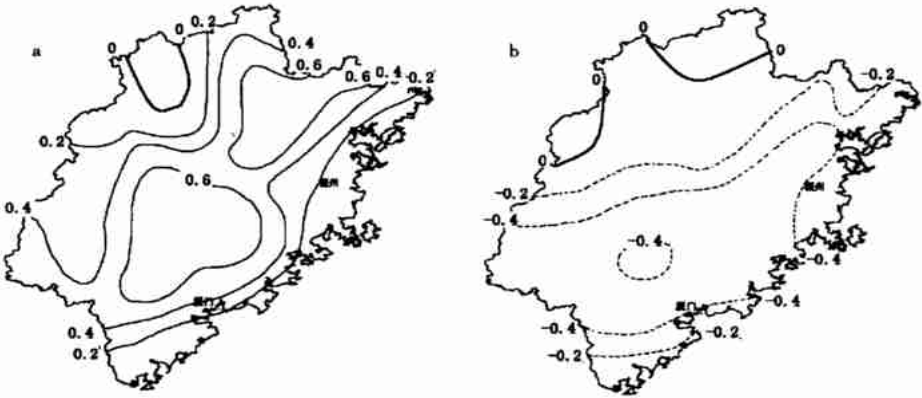


图 7 ENSO 事件衰减阶段(a)与发展阶段(b)夏季降水标准变量合成
Fig. 7 Composite distributions of normalized summer rainfall for
phases of ENSO attenuation (a) and development (b)

西太平洋副高活动的异常受到多方面因素的影响,如中高纬度环流,亚洲季风与青藏高原热状况等。通过以上分析表明,ENSO 事件作为一个显著因素影响副高,进而导致福建汛期降水及其分布的异常。因而关注赤道东太平洋海温及其 ENSO 信息对夏半年副高活动变化趋势的预测,对福建汛期旱涝趋势的预测具有重要意义。

5 小 结

- (1) 三大洋流区: 赤道东太平洋、西风漂流区和黑潮区是影响副高活动的海温关键区, 其中赤道东太平洋前期信息最明显, 其海温变化对夏半年西太平洋副高的影响, 特别是对强度与西伸的影响, 一般可超前至前期秋季, 其中冬春季尤为显著。
- (2) ENSO 事件的发生对副高活动的转折性影响时效大约为半年; El Nino 与 La Nina 年副高特征量距平反位相特征相当典型, 强度(面积)和西伸脊点、脊线位置也有所反映。
- (3) 福建雨季降水分布南北反向变化的异常, 显著地受到西太平洋副高异常活动的影响, 即副高偏强偏西且偏南, 有利于前汛期雨带偏北, 省内南旱北涝明显; 反之, 副高偏弱偏东且偏北, 前汛期雨带则偏南, 省内北旱南涝明显。夏季降水的增多与减少, 又显著地受到副高南北位置的影响, 即副高位置异常偏北, 全省降水普遍增多; 副高位置异常偏南, 全省降水普遍减少。
- (4) ENSO 循环处于不同的阶段, 类似于副高异常活动的影响, 省内雨季降水变量场呈北减南增或北增南减的相反趋势, 制约前汛期雨带的位置; 夏季降水变量场, 全省呈普遍增多与普遍减少的相反趋势。

参考文献:

[1] 李克让, 陈永申. 北太平洋海温距平经向差对副高影响的若干事实[J]. 大气科学, 1979, 3(2): 150-157.
[2] 陈烈庭. 北太平洋副热带高压与赤道东部海温的相互作用[J]. 大气科学, 1982, 6(2): 150-157.
[3] 臧垣范, 王绍武. 赤道东太平洋海温对低纬大气环流的影响[J]. 海洋学报, 1984, 6(1): 16-24.
[4] 符淙斌, 滕星林. 我国夏季的气候异常与埃尔尼诺/南方涛动现象的关系[J]. 大气科学, 1988, 12(特刊): 133-141.
[5] 冯晓伟, 孙照渤. ENSO 对东亚夏季风强度的影响[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(2): 196-200.
[6] 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制[J]. 大气科学, 1988, 12(特刊): 107-115.

- [7] Huang R H, Wu Y F. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism[J]. Adv Atmos Sci. 1989, 6: 21-32.
- [8] 陈兴芳, 赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 66-71.
- [9] 赵振国. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响[J]. 大气科学, 1996, 20(4): 422-428.
- [10] 倪东鸿, 孙照渤, 赵玉春. ENSO 循环在夏季的不同位相对东亚夏季风的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 48-54.
- [11] 谭桂容, 孙照渤, 赵振国. 我国东部夏季降水型与北半球大气环流和北太平洋海温的关系[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(1): 1-7.
- [12] 李晓燕, 翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究及最近 50 年 ENSO 事件分类[C] // 翟盘茂, 等. ENSO 监测和预测研究. 北京: 气象出版社, 2000: 37-46.
- [13] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 102.
- [14] ENSO 监测小组. 厄尔尼诺事件的划分标准和指数[J]. 气象, 1989, 15(3): 37-38.

Effect of ENSO Cycle on West Pacific Subtropical High and Drought/ Flood in Fujian during Rainy Season

CAI Xue-zhan, WU Bin, WEN Zhen-zhi

(Meteorological Observatory of Fujian, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Relationship between the variations of West Pacific subtropical high indices in summer half year and North Pacific SST in the previous stage is examined based on data of 1951—2000. The correlation between the subtropical high indices and the preceding SST in equatorial East Pacific is the strongest among the areas with great persistency from preceding autumn to spring. It is indicated that ENSO events appeared about a half year earlier than the change of the subtropical high activities and that the subtropical high intensity enhanced (weakened) and west terminal point moved westward (eastward) in the year of El Nino (La Nina) event. The result shows that the distribution of rainfall during rainy season in Fujian is greatly affected by subtropical high activities, which in turn are restricted by ENSO. So it is of significance to pay attention to equatorial East Pacific SST and ENSO information for short-term climate prediction.

Key words: ENSO cycle; West Pacific subtropical high; drought/flood during rainy season; Fujian Province