

ENSO 与北半球冬季大气环流异常的年代际关系

曹艳艳^{1,2}, 郭品文¹, 王群³

(1 南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044
2 宁波市气象局, 浙江 宁波 315012 3 盐城市气象局, 江苏 盐城 224001)

摘要: 利用 NCEP/NCAR 再分析资料和 CPC (气候预测中心) Nino3-4 区海表温度序列, 研究了 1950/1951—2002/2003 年冬季 ENSO 事件与北半球大气环流的相互关系及其年代际变化。结果表明: 北半球大气环流对 ENSO 事件的响应在 1978/1979 年有一个明显的跃变。跃变后, 低纬中高层大气环流对 ENSO 事件的响应明显减弱, 其中东南亚的减弱最为明显, 而低层大气环流对 ENSO 事件的响应则有所增强; 东半球中高纬大气环流异常与 ENSO 事件关系明显减弱; 西半球中高纬大气环流与 ENSO 事件的关系加强。
关键词: ENSO; 冬季大气环流; 年代际变化
中图分类号: P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2007) 06-0792-07

Interdecadal Variation of Relationship between ENSO and Northern Winter Atmospheric Circulation Anomalies

CAO Yan-yan^{1,2}, GUO Pin-wen¹, WANG Qun³

(1. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China
2. Ningbo Meteorological Bureau, Ningbo 315012, China
3. Yancheng Meteorological Bureau, Yancheng 224001, China)

Abstract Using the NCEP/NCAR reanalysis data and the CPC (Climate Prediction Center) SST data of the Nino3-4 region in 1950—2003, the relation and its interdecadal variation of the ENSO and the Northern Hemispheric atmospheric circulation in winter are studied. Results show: 1) the response of the Northern Hemispheric atmospheric circulation to ENSO abruptly changed in the winter of 1978/1979; 2) after the abrupt change, the association between ENSO and the middle-upper level atmospheric circulation over the low latitudes has been weakened, especially over the Southeast Asia, while that with the lower-level circulation enhanced; 3) the atmospheric circulation in the Eastern Hemisphere has been less affected by ENSO than before, while that in the Western Hemisphere more intensively affected.
Key words ENSO; winter atmospheric circulation; interdecadal variation

0 引言

ENSO 现象不仅是一种事件, 而且是一种循环, 它以热带东太平洋海面温度 (SST) 的暖位相和冷位相间隔出现为基本特征。当前, 厄尔尼诺现象及其相伴随的南方涛动的形成、发展, 大气环流和气候异常仍是气象学家、海洋学家感兴趣的研究课题。
El Niño 期间的正 SSTA 持续出现在赤道太平洋, 因此, El Niño 事件对热带环流的影响最为直接。

在 El Niño 期间 Walker 环流减弱^[1], Hadley 环流加强^[2]。ENSO 对西太平洋副热带高压的活动也有明显的影响, 西太平洋副高位置在 El Niño 年一般偏南, 在 La Niña 年偏北^[3]。El Niño 事件的发生不仅引起热带大气环流的明显异常, 还会引起中高纬度大气环流的异常。Horel 等^[4]发现 El Niño 容易在大气中激发出 PNA 型遥响应。一些研究^[5]还发现 ENSO 事件的统计特征具有显著的年代际差异。Wang^[6]研究表明 1976 年之后 El Niño 发生特点有

收稿日期: 2006-01-14 改回日期: 2006-04-24
基金项目: 江苏省高校自然科学基金研究计划项目 (05KJB170072)
作者简介: 曹艳艳 (1981—), 女, 浙江余姚人, 硕士, 研究方向: 海气相互作用, lih_cyy@sohu.com.

显著的变化。Rasmusson 等^[7]研究认为 80 年代以前的事件,海温主要增暖区首先发生在赤道东太平洋,而后向西扩展;80 年代以后,海温主要增暖区发生在赤道中、西太平洋,而后东传。罗连升等^[8]从有效位能变化分析了 Elnino 的年代际变化。朱乾根等^[9]通过对比 1976/1977 年与 1982/1983 年 Elnino 事件的强度和类型的差异以及造成差异的大气与海洋年代际背景场验证了 ENSO 事件的年代际变化。与此同时,全球大气环流的背景场也发生了变化。杨修群等^[10]研究表明,在年代际时间尺度上,全球海洋大气系统大约在 20 世纪 70 年代附近一致性地经历了一次跃变。70 年代末北太平洋发生了气候突变, Graham^[11]对此作了总结:以 1976/1977 年冬为界,在此之后阿留申低压加深,北太平洋中部 SST 下降。施能等^[12]对大气环流的年代际变化问题的研究工作和结果作了综合评述。

既然 ENSO 事件和大气环流都有年代际变化,而 ENSO 事件又与大气环流有密切联系,那么北半球大气环流和 ENSO 的相互作用在不同年代会有怎样的变化? 目前国内外对不同年代的 ENSO 和大气环流异常的关系研究还甚少。为了回答上面的问题,本文首先讨论了 ENSO 事件与北半球大气环流关系的一般特征,然后研究了不同年代的 ENSO 事件对大气环流异常的不同影响。

1 资料和 Elnino 年的确定

采用 NCEP/NCAR 逐月再分析资料 (1950-01—2003-02), 格距 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; 美国气候预测中心 (CPC) Nino3-4 区海表温度序列。

Elnino 年的确定是按照 Trenberth^[13] 的定义,

若 Nino3-4 区 ($120^{\circ}\text{W} \sim 170^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{N} \sim 5^{\circ}\text{S}$) 的海表面温度异常的 5 个月滑动平均超过 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 达到 6 个月或以上就分别定义为 Elnino 和 La Nina 事件。

2 ENSO 事件与北半球冬季大气环流的关系及其年代际变化

为了清楚地说明冬季赤道东太平洋海温与同期北半球大气环流的相互关系, 计算了冬季 Nino3-4 区海温异常 (以下简称 N3-4) 与北半球 500 hPa 高度异常间的同期相关 (图 1)。

由图 1 可以看出, Nino3-4 区海温距平与热带、副热带上空的 500 hPa 高度距平的相关性普遍较高, 所以热带、副热带地区的大气环流受 ENSO 事件影响很大。在中高纬度上, 西半球可以很清楚地看到中太平洋—北太平洋—北美的 PNA 型遥相关的存在, 这与 Horel 等^[4]的研究结果一致, 表明 Elnino 容易在大气中激发出 PNA 型遥响应; 另外, 在东半球的亚洲东北部 (切尔斯基山脉—鄂霍次克海附近) 有一明显的负相关区, 与其南边的正相关相配合, 表明海温升高时, 东亚极锋锋区偏北, 东亚大槽减弱, 因而不利于寒潮向南爆发, 东亚的冬季风也就偏弱。这也是 Elnino 年我国东部地区的气温多比常年偏高, 较易出现暖冬的原因。许多研究都证实了这一点^[5]。

为了确定不同年代际背景场作用下, 大气环流对 ENSO 事件的响应是否有所不同, 取图 1 中亚洲东北部的高相关区 ($135^{\circ}\text{E} \sim 170^{\circ}\text{E}$, $55^{\circ}\text{N} \sim 70^{\circ}\text{N}$) 为关键区, 求出该地区冬季平均的 500 hPa 标准化高度异常, 与 Nino3-4 区海温距平作了滑动相关分析^[14]。滑动窗口长度 $l=21$ a 当显著性水平 $\alpha=0.01$ 时,

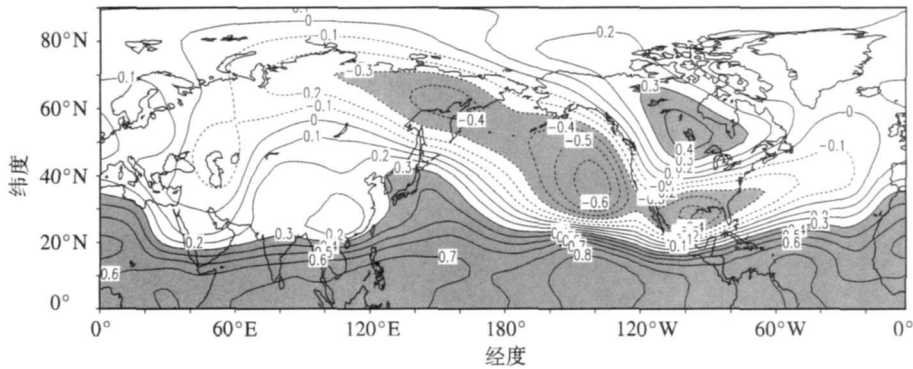


图 1 Nino3-4 区 SSTa 与北半球冬季 500 hPa 高度距平的同期相关系数分布 (阴影区通过 99.9% 置信水平)

Fig 1 Contemporary correlation coefficients between SSTa in Nino3-4 region and 500 hPa geopotential height anomaly in North Hemisphere in winter (shaded areas denote the correlation significant at a more than 99.9% confidence level)

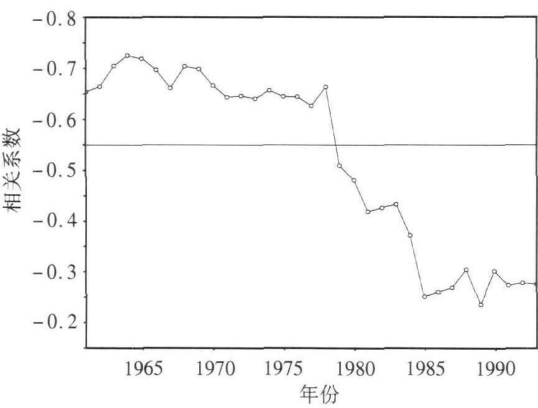


图 2 1950—2002 年间 Niño-3-4 区海温距平与关键区 (135~170°E, 55~70°N) 500 hPa 标准化高度异常的滑动相关系数分布 (横线为 99 % 置信水平的相关系数)

Fig. 2 Running correlation coefficient between SSTA in Niño-3-4 region and standard geopotential height anomaly in key area (55—70°N, 135—170°E) during 1950 and 2002 (the solid line denotes critical value $y = -0.5487$, significant at the 99 % confidence level)

$|r_{xy}(t_0)| \geq 0.5487$ 。由图 2 可以看到, Niño-3-4 区海温距平的年际变化与北半球冬季 500 hPa 标准化高度异常的年际变化在 1977/1978 年冬季以前相关系数均在 -0.65 左右,而到了 1978/1979 年冬季以后,两者的相关系数明显减小,甚至不能通过 99 %

的置信度检验。以上分析表明, ENSO 事件与东北亚大气环流的关系具有显著的年代际变化,在 1978/1979 年冬季前两者有很好的关系,而到了 1978/1979 年冬季以后,东北亚大气环流受 ENSO 事件影响明显减弱。由此可以推断 ENSO 事件与整个北半球大气环流的关系也应该具有年代际变化,这种变化的具体表现正是本文所要研究的。

3 ENSO 事件的年代际变化对大气环流的影响

3.1 近赤道地区大气环流对 ENSO 事件年代际变化的响应

为了说明 ENSO 事件与北半球大气环流关系的年代际差异,作了不同年代冬季 N3-4 与同期 500 hPa 高度异常的相关分析 (图 3)。由图 3 可以看出,相关最高的区域始终位于近赤道地区,表明 ENSO 事件与近赤道地区大气环流的关系最为密切。对比图 3 中两幅图可清楚看到, 1978/1979 年以前的冬季 (图 3a), 近赤道地区较高的正相关区向北延伸至中纬度地区, 东亚的高相关区甚至延伸至 40°N 以北, 进而使得赤道东太平洋海温持续升高时, 东亚大槽减弱; 而到了 1978/1979 年以后的冬季 (图 3b), 近赤道地区的高相关区明显南缩, 除个别

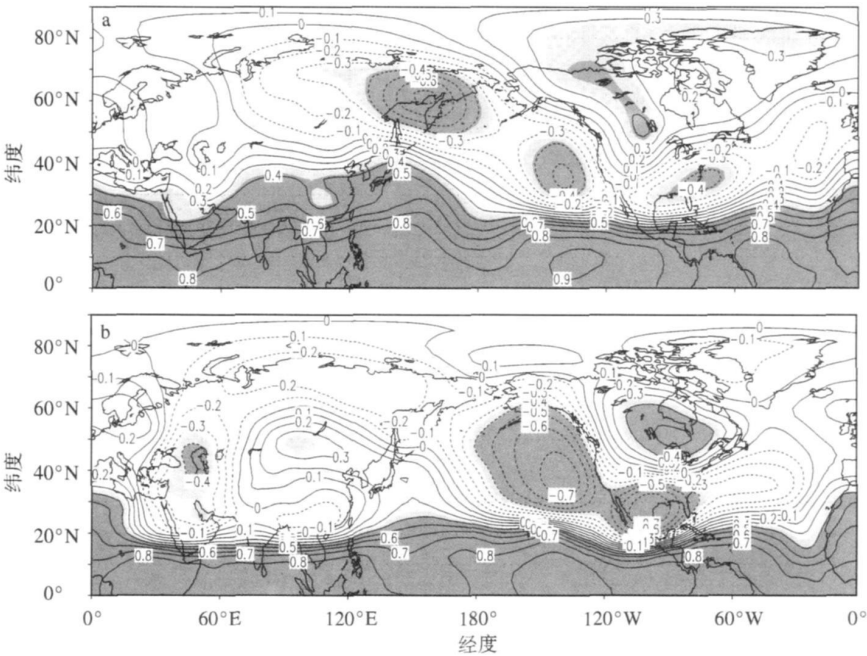


图 3 1978/1979 年前 (a) 和 1978/1979 年后 (b) Niño-3-4 区 SSTA 与同期北半球 500 hPa 高度距平相关系数分布 (深、浅阴影区分别表示通过 95 %、90 % 置信水平检验)

Fig. 3 Contemporaneous correlation coefficients between SSTA in Niño-3-4 and 500 hPa height anomaly (a) before and (b) after 1978/1979 winter (the region over 95 % / 90 % confidence level is heavily / lightly shaded, respectively)

区域外大多限制在热带地区。可见, 北半球热带、副热带地区的大气环流对 ENSO 事件的响应在 1978/1979 年冬以后明显减弱, 其中尤以东南亚的减弱最为明显。

与对流层中部的大气环流异常相对应, 海平面气压异常与 Nino3-4 区 SSTa 的相关系数 (图 4) 分布反映了低层大气环流对 ENSO 事件的响应。赤道中东太平洋的海平面气压在海温升高时明显降低, 而赤道西太平洋、大西洋和印度洋上的海平面气压则与赤道东太平洋的海温异常呈正相关。与对流层中部不同, 近赤道地区低层大气环流与 ENSO 事件的关系在 70 年代末以后有所增强。东亚附近的海平面气压与 Nino3-4 区 SSTa 的相关系数为正, 说明当 El Niño 事件发生时, 东亚附近的海平面气压升高, 减小了海陆间的气压差异, 从而使得东亚冬季风偏弱。而东亚附近的相关系数在 20 世纪 70 年代末以后明显减小, 且通过统计检验的区域明显南缩, 东亚冬季风偏弱的趋势减弱。朱乾根等^[15]分析表明, 背景海温高, 从而加大海气交换, 促进了热带对流加强, 改变了海陆气压差, 也就改变了季风的强度。

以上分析表明, 低纬高层大气环流受 ENSO 循环影响减弱, 而低层大气环流受 ENSO 循环影响增强。

3.2 东半球中高纬地区大气环流对 ENSO 事件年代际变化的响应

图 3 中除了近赤道地区的变化明显外, 中高纬地区的变化也很大。在亚洲东北部, 即本文所选关键区的相关系数从气候突变前较高 (约 0.7) 变到突变后的很小 (约 0.2), 直至不能通过 0.1 的显著性水平检验, 表明 1978/1979 年冬季以后, 该地区大气环流受 ENSO 事件的影响要比气候突变前明显减小。为了进一步说明 ENSO 事件与该地区大气环流关系的年代际变化, 对 1950/1951—1977/1978 年冬和 1978/1979—2002/2003 年冬北半球 Elnino 期间 500 hPa 高度异常合成 (图 5) 进行了对比分析。分析发现, 尽管近赤道地区的异常值较小, 但变化显著。在前一时段当 El Niño 发生时, 东北亚的高度场出现较大的负异常, 而在后一时段中, 该地区的负异常减小, 说明该地区冬季大气环流对 ENSO 事件的响应在 1978/1979 年后减弱。由图 5 还可发现, 贝加尔湖附近和里海附近在前后两个年代呈现相反的异常变化, 结合图 3 中 1978/1979 年后, 贝加尔湖附近和里海附近的相关系数增大的事实, 可见 ENSO 事件对冬季欧亚大陆上的高压系统的影响明显加强。

为了更具体地说明 ENSO 事件的年代际变化对阿留申低压和欧亚大陆上高压的影响, 分析了与

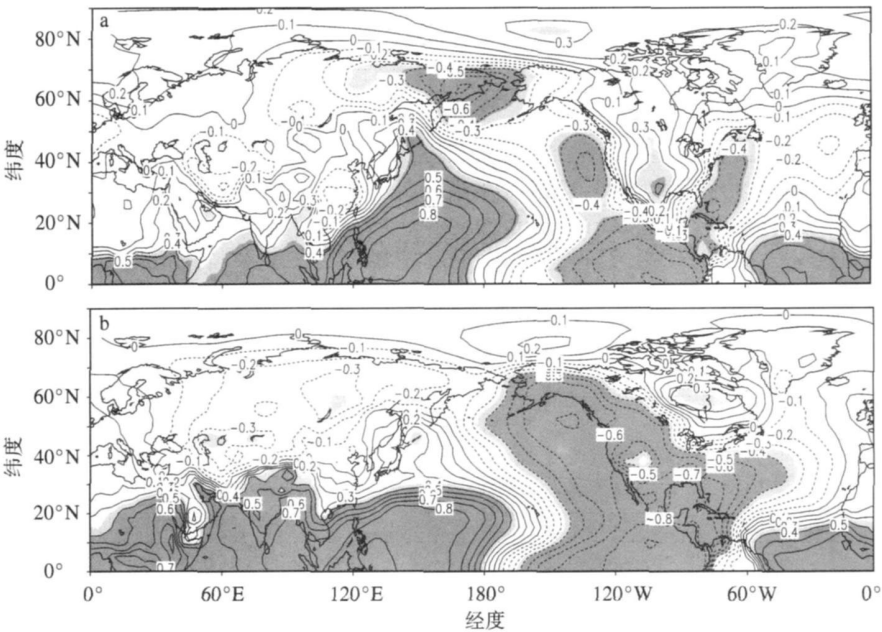


图 4 1978/1979 年前 (a) 和 1978/1979 年后 (b) Nino3-4 区 SSTa 与同期北半球海平面气压异常的相关系数分布 (深、浅阴影区分别通过 95 %、90 % 置信水平检验)

Fig 4 Contemporary correlation coefficients between SSTA in Nino3-4 and northern sea level pressure anomaly (a) before and (b) after 1978/1979 winter (the region over 95 % /90 % confidence level is heavily / lightly shaded, respectively)

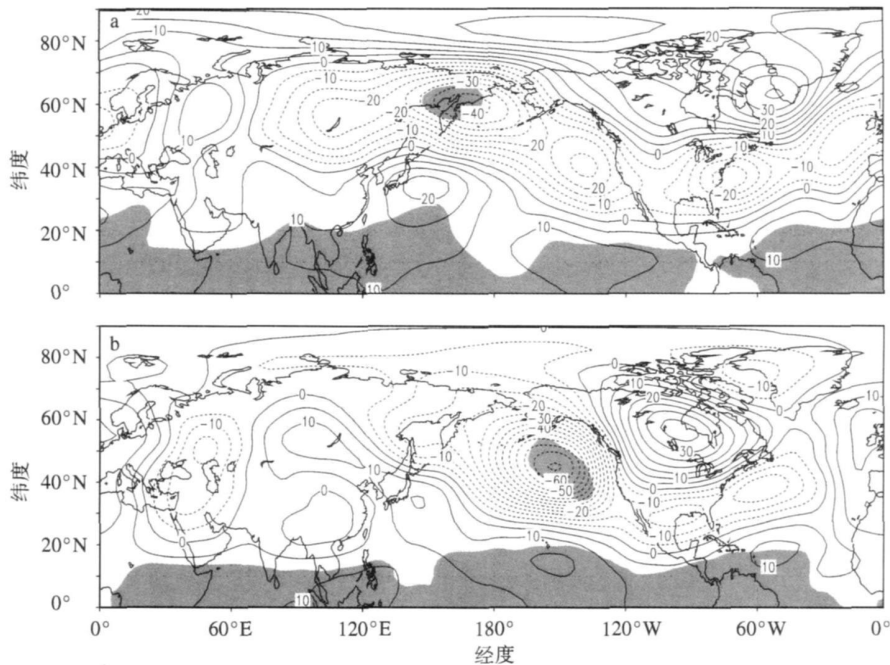


图 5 1978/1979年前 (a)和 1978/1979年后 (b) Elnino期间冬季
北半球 500 hPa高度异常合成场 (阴影区 t检验通过 90%置信水平;单位: gpm)

Fig 5 Composites of winter 500 hPa geopotential height anomaly in North Hemisphere during Elnino (a) before
and (b) after 1978/1979 winter (regions over the 90% confidence level in t-test are shaded units gpm)

500 hPa相对应的时段内时间平均的 1 月份海平面气压场 (图略)和 Elnino 年时间平均的 1 月份海平面气压场合成图 (图 6)。在平均图上阿留申低压的位置和强度的年代际变化与 Graham^[11]和 Nitta 等^[16]指出的北太平洋上发生的气候变化一致,而欧亚大陆上的蒙古高压在 1979 年以后有所减弱。比较后发现气候突变前,当 Elnino 发生时,阿留申低压的中心位于日界线以西约 10 个经距处,近中心最低气压为 995.971 hPa 而在该时段内平均的阿留申低压近中心最低气压为 998.221 hPa,可见 ENSO 事件发生时,阿留申低压增强;而到了 80 年代以后,平均的阿留申低压中心位置向东移至日界线以东,强度也明显增大,近中心最低气压为 996.559 hPa,当 Elnino 事件发生时,近中心最低气压为 993.022 hPa 强度明显增强。所以 Elnino 事件使阿留申低压明显加强,且这种影响在 70 年代末以后有所加强,这与图 3 上中高纬地区日界线附近的高相关区在 70 年代前后的变化吻合。70 年代末以前, Elnino 对中纬东太平洋副高的影响较小,而到了 70 年代末以后, Elnino 使东太平洋副高明显减弱,这与图 3 中该地区附近的负相关在 70 年代末以后明显增大相对应。

由此可见,20 世纪 70 年代末以后,东半球中高纬大部分地区的大气环流受 ENSO 事件的影响减弱,而欧亚大陆上的小部分地区的大气环流与 ENSO 事件的关系则明显增强。

3.3 西半球中高纬地区大气环流对 ENSO 事件年代际变化的响应

图 3 中,西半球上 PNA 型遥响应始终存在,并且 1978/1979 年以后的冬季这种遥响应明显加强,由此可见 Elnino 事件对 PNA 型遥响应的激发作用在 70 年代末以后明显增强。对比不同年代 Elnino 和 La Nina 年冬季 500 hPa 高度异常的合成图 (图略)也可得到同样的结论。同时,格陵兰岛上的正相关减弱,所以 ENSO 事件对冬季格陵兰高压的加强作用在 70 年代末以后减弱。由此可得,70 年代末以后, ENSO 事件对西半球中高纬大部分地区大气环流异常的影响明显增强,而对格陵兰岛附近的大气环流影响却有所减弱。

70 年代末以后,阿留申低压东移加强。从不同年代对流层中部的大气环流和低层大气环流受 ENSO 影响的变化看到, Elnino 事件发生时,阿留申低压加强的趋势在 70 年代末以后偏强。

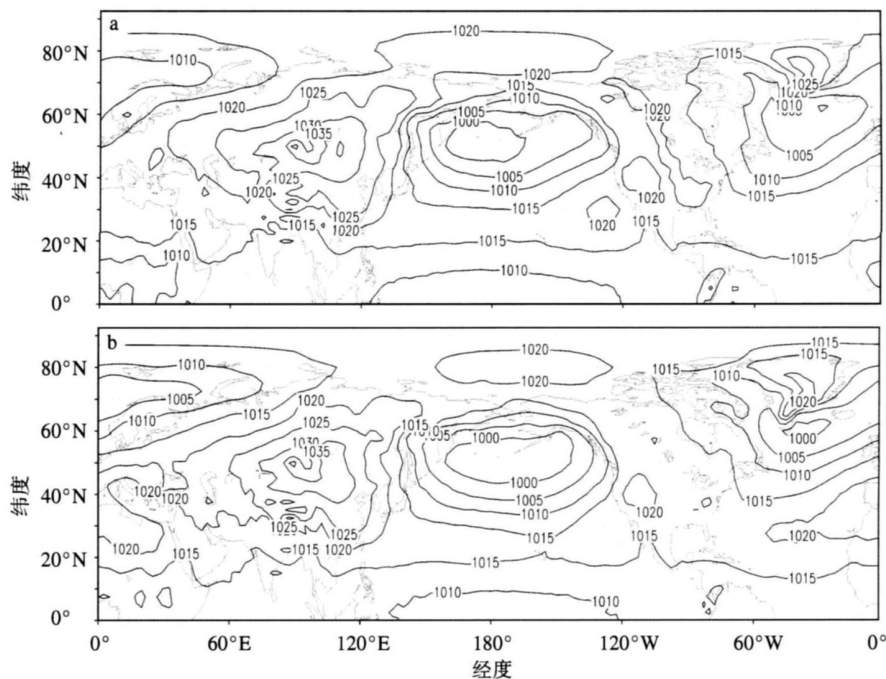


图 6 1979 年前 (a) 和 1980 年后 (b) El Niño 期间平均的 1 月海平面气压合成场 (单位: hPa)

Fig. 6 Composite January SLPs of North Hemisphere during El Niño (a) before and (b) after 1978/1979 winter (units hPa)

4 造成 ENSO 和北半球大气环流异常关系的年代际变化的可能原因

不同要素间的相关关系的年代际变化可能与时间序列的周期结构的改变有关。为了研究本文所选的时间序列在不同年代的周期变化,对文中用来做滑动相关的两个时间序列分别作了 Morlet 小波分析(图略)。通过分析发现,70 年代末以后,两个时间序列的周期都有所调整。关键区的 500 hPa 标准化高度距平在较高频的主周期从 2.5 a 左右,增长到了 70 年代末以后的 5 a 左右;Fedorov 等^[17]经过功率谱分析发现,ENSO 循环的周期在 70 年代末前后从 3 a 左右调至 5 a 左右。可见,ENSO 循环与北半球大气环流的周期结构的改变是造成两者关系的年代际变化的可能原因。

5 结论

- (1) 北半球大气环流对 ENSO 事件的响应在 1978/1979 年冬季发生跃变。
- (2) 跃变发生后,近赤道地区的对流层中部大气环流异常与 ENSO 事件的关系明显减弱,其中东南亚地区的减弱最为显著;而低层大气环流对 ENSO 事件的响应增强。
- (3) 跃变发生后,ENSO 事件对东半球中高纬

大气环流的影响明显减小。而对西半球中高纬大气环流的影响明显增强。El Niño 事件激发的 PNA 型异常环流明显增强,对阿留申低压的增强作用偏强。

(4) 造成 ENSO 事件与北半球冬季大气环流异常关系的年代际变化的原因可能是大气环流和 ENSO 事件在两个年代的周期结构发生了明显改变。

本文研究表明,北半球大气环流对 ENSO 事件的响应具有年代际变化特征,但其中的物理机制还不是很清楚。下一步将用一个海气耦合模式来模拟 ENSO 事件与北半球大气环流关系的年代际演变,找出其可能的物理机制。同时很多研究^[18-21]表明,ENSO 事件对我国的气候异常也有影响,所以不同年代 ENSO 对我国气候异常的影响也是值得研究的。

致谢:国家自然科学基金委员会地球科学部南京大气资料服务中心提供了资料,谨致谢忱!

参考文献:

[1] 杨修群,谢倩,黄士松.全球大气-热带太平洋耦合距平模式中由 ENSO 增暖引起的全球大气环流异常[J].大气科学,1996,20(2): 129-137.

[2] Bjerknes J A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature[J]. Tellus 1966, 18(4): 820-829.

[3] 李崇银,龙振夏. 准两年振荡及其对东亚大气环流和气候的影响 [J]. 大气科学, 1992, 16(2): 167-176

[4] Horel J D, Wallace J M. Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation [J]. Mon Wea Rev, 1981, 109(4): 813-829

[5] 李崇银. 气候动力学引论 [M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2000: 233-310.

[6] Wang B. Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades [J]. J Climate, 1995, 8(2): 267-285.

[7] Rasmusson E M, Carpenter T H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño [J]. Mon Wea Rev, 1982, 110(5): 354-384.

[8] 罗连升,杨修群. 从有效位能变化来分析 El Niño 的年代际变化 [J]. 气象科学, 2003, 23(1): 1-11.

[9] 朱乾根,葛旭阳,矫梅燕. 1976—1977 年及 1982—1983 年厄尔尼诺事件过程差异的年代际背景 [J]. 气象科学, 1998, 18(3): 203-212

[10] 杨修群,郭燕娟,徐桂玉,等. 年际和年代际气候变化的全球时空特征比较 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2002, 38(3): 308-317

[11] Graham N E. Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: Observations and model results [J]. Climate Dynamics, 1994, 9(3): 135-162

[12] 施能,朱乾根. 大气环流年代际变化问题 [J]. 气象科技, 1995, 3: 12-17.

[13] Trenberth K E. The definition of El Niño [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997, 78(12): 2771-2777.

[14] 徐建军,朱乾根,施能. 近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的相互关系及其年代际异常 [J]. 大气科学, 1997, 21(6): 641-648.

[15] 朱乾根,徐建军. ENSO 及其年代际异常对中国东部气候异常影响的观测分析 [J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(4): 615-623.

[16] Nitta T, Yamada S. Recent warming of the tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation [J]. J Meteorol Soc Japan, 1989, 67(3): 375-383.

[17] Fedorov A V, Philander S G. Is El Niño Changing? [J]. Science, 2000, 288(16): 1997-2002

[18] 许武成,马劲松,王文. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述 [J]. 气象科学, 2005, 25(2): 212-220.

[19] 孔春燕,屠其璞. 全球气候背景下厄尔尼诺对中国东部汛期降水的影响 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 84-88.

[20] 信忠保,谢志仁. ENSO 事件对淮河流域降水的影响 [J]. 气象科学, 2005, 25(4): 346-354

[21] 陈海山,朱伟军,邓自旺,等. 江苏冬季气温的年代际变化及其背景场分析 [J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(4): 433-442