

薛峰, 段欣好, 苏同华. 2018. El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风季节内变化的比较 [J]. 气候与环境研究, 23 (3): 321–331. Xue Feng, Duan Xinyu, Su Tonghua. 2018. Comparison of intraseasonal variation of the East Asian summer monsoon between El Niño developing years and La Niña years [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 23 (3): 321–331, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17044.

# El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风 季节内变化的比较

薛峰<sup>1</sup> 段欣好<sup>1,2</sup> 苏同华<sup>3</sup>

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 中国科学院大学, 北京 100049

3 福建省气象台, 福州 350001

**摘要** 基于 1979~2013 年多种再分析资料, 合成分析了 El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风的季节内变化。结果表明, 东亚夏季风在两种情况下呈现出不同的季节内变化特征。在 El Niño 发展年, 初夏期间高纬度地区出现偏北风异常, 造成东亚地区位势高度场偏低, 西太平洋副热带高压偏东, 但均不显著。盛夏期间, El Niño 强迫造成中太平洋对流增强, 副热带西太平洋出现气旋异常, 位势高度显著降低, 副热带高压明显偏东。与此不同的是, La Niña 年春季暖池海温偏高, 造成夏季对流偏强, 西太平洋地区位势高度场偏低, 副热带高压减弱东退。此外, La Niña 年东亚夏季风的季节内变化较为复杂, 6 月异常较弱, 7 月达到最强, 8 月又开始减弱。因此, 虽然 El Niño 发展年和 La Niña 年夏季平均副高异常有一定的相似性, 但季节内变化则有很大差异, 其成因也完全不同。

**关键词** 东亚夏季风 西太平洋副热带高压 季节内变化 El Niño 发展年 La Niña 年

文章编号 1006-9585 (2018) 03-0321-11

中图分类号 P466

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17044

## Comparison of Intraseasonal Variation of the East Asian Summer Monsoon between El Niño Developing Years and La Niña Years

XUE Feng<sup>1</sup>, DUAN Xinyu<sup>1,2</sup>, and SU Tonghua<sup>3</sup>

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001

**Abstract** Based on various reanalysis datasets during 1979–2013, we compare the intraseasonal variation of the East Asian summer monsoon (EASM) between El Niño developing years and La Niña years. It is shown that the EASM exhibits different features in the intraseasonal variation under the two situations. During the early summer of El Niño developing years, there exist weak northerly anomalies in the high latitudes, which induce negative geopotential height anomalies over East Asian and a slightly eastward retreat of the western Pacific subtropical high (WPSH). During the late summer, a cyclonic anomaly is induced in the subtropical western Pacific with enhanced convection in the central Pacific due to El Niño forcing. As a result, geopotential height reduces significantly and the WPSH tends to retreat eastward remarkably. In La Niña years, however, the warm pool convection in the summer clearly enhances due to warmer sea

收稿日期 2017-03-17; 网络预出版日期 2017-07-13

作者简介 薛峰, 男, 1962 年出生, 研究员, 主要从事东亚季风研究。E-mail: fxue@lasg.iap.ac.cn

资助项目 国家自然科学基金项目 41475052、41405056

Funded by National Natural Science Foundation of China (Grants 41475052 and 41405056)

surface temperature in the western Pacific in the spring. Accordingly, geopotential height reduces and the WPSH tends to retreat eastward. Besides, the intraseasonal variation of the East Asian summer monsoon exhibits complicated characters in La Niña years with the strongest anomaly occurring in July and relatively weak anomaly occurring in June and August. Although the summer mean WPSH in El Niño developing years is somewhat similar to that in La Niña years, there is a significant discrepancy in the intraseasonal variation. More importantly, the physical mechanisms for the intraseasonal variation are completely different.

**Keywords** East Asian summer monsoon, Western Pacific subtropical high, Intraseasonal variation, El Niño developing year, La Niña year

## 1 引言

ENSO 是热带海气耦合系统最强的年际变化信号, 包括 El Niño 和 La Niña 两种不同的状态, El Niño 时中东太平洋海表温度(SST)升高, 而 La Niña 时则相反。一般而言, El Niño 从发展到衰减要经历两年时间, 而衰减结果则与 El Niño 的强度有关。研究表明, 有两种强度的 El Niño 衰减并转变成 La Niña。其中负异常信号自西太平洋向中东太平洋的东传主导了强 El Niño 向 La Niña 的转变过程, 具体动力过程类似于西太平洋振子理论, 其中热带西北太平洋大气异常反气旋在强 El Niño 位相转变中起核心作用(刘长征和薛峰, 2010a)。而较弱的 El Niño 则以另一种方式进行位相转换, 伴随东南太平洋副热带高压(简称副高)的偏强和西移, 东风异常和海表温度负异常自赤道东太平洋向西扩展, 这是一种平流模态过程, 结果导致较弱 El Niño 衰减进入 La Niña (刘长征和薛峰, 2010b)。因此, La Niña 是 El Niño 自然衰减的结果, 但与 El Niño 不同, La Niña 可以持续多年(Okumura and Deser, 2010)。

大量研究表明, ENSO 循环对东亚夏季风的年际变化有重要影响。在 ENSO 循环的 3 个不同阶段, 即 El Niño 发展年、衰减年和 La Niña 年, 东亚夏季风表现出不同的年际变化, 其中以 El Niño 衰减年夏季的异常最为显著。符淙斌和滕星林(1988)的研究表明, 在 El Niño 发展年夏季, 西太平洋副高偏东, 中国南方多雨, 而在衰减年夏季, 副高则显著偏西, 长江流域多雨, 例如 1998 年夏季长江流域的大洪水就与 1997~98 年的 El Niño 事件有关(陶诗言等, 1998)。在 La Niña 年冬季和春季, 西太平洋 SST 偏高, 暖池对流偏强, 副高也趋于偏东(Xue and Zhao, 2017)。因此, 东亚夏季风的异常变化在 El Niño 发展年和 La Niña 年存在一定程度的相似性。

值得注意的是, 东亚夏季风存在显著的季节内

变化, 主要特征表现为西太平洋副高在夏季期间两次明显的北跳和雨带的北进, 大致在 6 月中旬和 7 月中下旬, 分别对应于江淮梅雨的开始和结束。苏同华和薛峰(2010)的研究表明, 副高的第一次北跳主要受南海地区对流活动增强的影响, 而第二次北跳则是暖池对流活动与高纬地区环流共同作用的结果。此外, 副高的北跳过程同时伴随着显著的东西进退, 特别是副高在第二次北跳之后, 强度急剧减弱, 主体位置东退到日本南部, 东亚地区由初夏进入以高温高湿为主要特征的盛夏期。在盛夏期间, 东亚夏季风到达其最北位置, 华北和东北进入主汛期, 而江淮流域则进入伏早期, 东南沿海多台风活动。因此, 初夏到盛夏的环流转变是东亚夏季风季节内变化的主要模态(Xue et al., 2015)。

东亚夏季风的季节内变化特别是初夏到盛夏的环流转变还能够进一步影响到 ENSO 循环对东亚夏季风的影响。薛峰和刘长征(2007)发现在 El Niño 衰减年夏季, 东亚夏季风异常随东亚地区的季节进程有明显的变化, 6 月异常较弱, 而 8 月异常最强。Kawatani et al. (2008)也注意到副高的年际变化在 6 月最小而 8 月最大。Su and Xue (2011)比较了副高两次北跳的年际变化, 发现二者相互独立并受到不同因子的影响, 其中与梅雨结束有关的第二次北跳与 El Niño 有显著的相关。Xiang et al. (2013)发现 8 月西北太平洋对流增强使大气对局地 SST 强迫在盛夏比初夏更为敏感, 因而副高在 8 月更易产生异常加强。赵俊杰等(2016)等基于东亚夏季风降水呈现阶段式北进的特征, 将夏季分为华南前汛期、江淮梅雨期、华北雨期以及华南后汛期, 分析了 El Niño 衰减年东亚夏季风和降水的季节内变化。结果表明, 在上述各个时段, 大气对流层低层表现为一致的环流异常型, 副高及其以南区域为异常反气旋, 其北部为异常气旋。这种环流异常型随东亚夏季风逐步向北推进, 导致东亚各地区的主汛期降水增加, 非主汛期降水减少, 降水分布更为集中。

这些研究表明 ENSO 对东亚夏季风的影响与东亚地区的季节进程有很大关系。

由于东亚夏季风异常在 El Niño 衰减年夏季最为显著,对中国夏季气候异常影响更强,上述有关 ENSO 影响东亚夏季风的研究主要集中在衰减年夏季。相对而言,由于 El Niño 发展年和 La Niña 年的信号较弱,对东亚夏季风的影响也较弱,因而研究较少。特别是,两种情况下热带 SST 异常分布并不相同,但并不清楚为何东亚夏季风异常存在一定程度的相似,例如副高均偏东。为此,本文基于 1979~2013 年的再分析资料,比较了 El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风的异常变化,分析了二者的相似和差异及其季节内变化特征,希望进一步揭示 ENSO 循环对东亚夏季风年际变化影响的物理机制,为提高东亚夏季风预测水平奠定理论基础。

## 2 资料和方法

本文所用资料包括美国国家环境预测中心和能源部提供的大气环流再分析资料,分辨率为  $2.5^\circ$  (纬度)  $\times 2.5^\circ$  (经度) (Kanamitsu et al., 2002); 美国国家海洋和大气管理局提供的向外长波辐射 (OLR) 再分析资料,分辨率同上 (Liebmann and Smith, 1996); 月平均海表温度来源同上,分辨率为  $2^\circ$  (纬度)  $\times 2^\circ$  (经度) (Smith et al., 2008)。全球降水气候学计划提供的月平均降水资料,分辨率为  $2.5^\circ$  (纬度)  $\times 2.5^\circ$  (经度) (Huffman et al., 1997), 中国区域台站降水观测资料来自于中国气象局。需要说明的是,由于目前可用的 OLR 资料只到 2013 年,上述资料时间统一取为 1979~2013 年,共 35 年。

文中使用 Niño3.4 指数来鉴别 El Niño 和 La Niña 事件,该指数定义为 ( $5^\circ\text{S}\sim 5^\circ\text{N}$ ,  $170^\circ\text{W}\sim 120^\circ\text{W}$ ) 区域平均的 SST 异常,取自美国国家海洋和大气管理局的气候预测中心网站 ([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/\[2017-03-01\]](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/[2017-03-01]))。通常当该指数大于  $0.5^\circ\text{C}$  并持续 6 个月以上时,就认为发生了一次 El Niño 事件,相反则为 La Niña 事件 (Trenberth, 1997)。但考虑到较弱事件影响较小,本文仅考虑主要的 El Niño 和 La Niña 事件,即 Niño3.4 指数最大值大于  $1^\circ\text{C}$  或小于  $-1^\circ\text{C}$ 。如图 1 所示,在 1979~2013 年的 35 年中,共有 8 次主要 El Niño 事件,分别为 1982~1983 年、1986~1987 年、1991~1992 年、1994~1995 年、1997~1998 年、2002~2003 年、2006~2007 年、2009~2010 年,上述事件的前一年即为 El Niño 发展年。主要 La Niña 事件总共有 5 个,分别为 1984~1985 年、1988~1989 年、1998~2000 年、2007~2008 年和 2010~2012 年,其中 1998~2000 年和 2010~2012 年为持续超过 2 年的事件,据此选取 La Niña 年共有 7 个,即 1985 年、1989 年、1999 年、2000 年、2008 年、2011 年和 2012 年。根据上述 8 个 El Niño 发展年和 7 个 La Niña 年的合成结果来比较分析二者对东亚夏季风季节内变化的影响,并利用  $t$  检验方法来检验合成结果的信度。

根据曾庆存等 (2005) 提出的大气环流相似度理论和方法来描述东亚夏季风环流的季节内变化,该方法能将风场的变化以标量的形式表现出来,具有简单直观的优势。相似度的数值越大,表示前后两个时段的环流相似程度越高,因而变化较小,反之则表示环流场发生了较大变化。在具体计算过程中,将合成的逐日资料做 5 d 滑动平均,然后计算

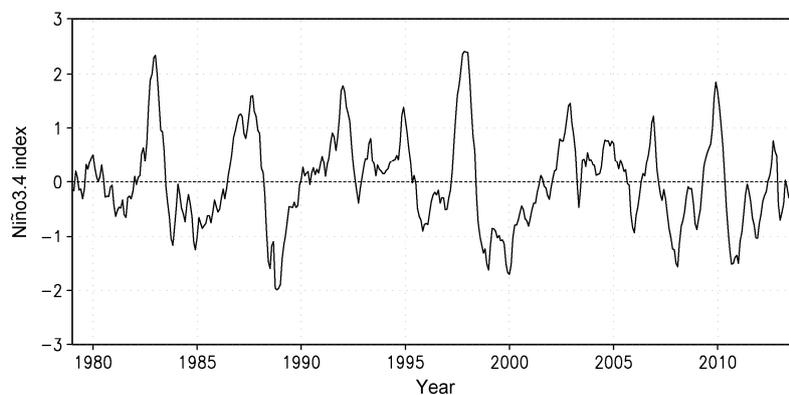


图 1 1979~2013 年 Niño3.4 指数

Fig. 1 Niño3.4 index during 1979-2013

风场的相似度。

图 2 为 El Niño 发展年和 La Niña 年夏季东亚地区 850 hPa 风场的相似度, 同时给出气候平均的结果以做比较。在 6 月, 上述三者的相似度均很高, 超过 0.8, 6 月中旬相似度有一次微弱的降低, 对应于副高的第一次北跳和梅雨的开始。但到 7 月份, 三者的变化则完全不同。气候平均情况下, 相似度自 7 月中旬开始降低, 在 7 月 20 日左右降低到 0.75 以下。结合以前的研究结果(苏同华和薛峰, 2010), 这表明副高发生了第二次北跳和东亚地区盛夏期的来临, 其后相似度维持到 8 月初并持续降低。El Niño 发展年的变化与气候平均有些类似, 但有两点不同, 一是 7 月中旬到下旬的下降更加显著, 二是 8 月份的数值更低, 最小值小于 0.55, 这表明在 El Niño 发展年 8 月夏季风环流变化更为剧烈。La Niña 年的变化与上述情况则有很大差异, 相似度自 7 月初即开始降低, 到 7 月 25 日降低到 0.55, 之后反而开始上升, 到 8 月上旬达到最大值后又开始下降。因此, El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风季节内变化形成鲜明的对比, 前者单调而剧烈, 后者则平缓而多变, 8 月份的变化趋势几乎相反。根据上述分析结果, 以 7 月 20 日为界分为两个时段来分析 El Niño 发展年的季节内变化, 对于 La Niña 年将分别比较 6、7、8 月逐月的变化。

### 3 东亚夏季风季节内变化的比较

图 3 为气候平均盛夏(7 月 20 日至 8 月 31 日)

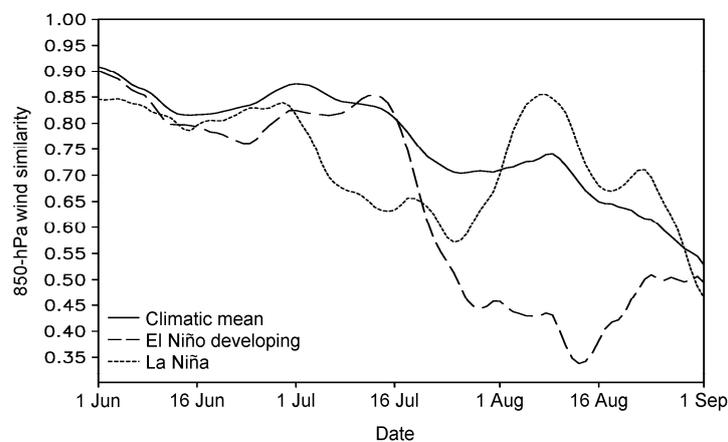


图 2 东亚地区 (20°N~45°N, 110°E~140°E) 850 hPa 风场相似度。实线、长虚线和短虚线分别为气候平均、El Niño 发展年和 La Niña 年  
Fig. 2 850-hPa wind similarity over East Asia (20°N-45°N, 110°E-140°E). The solid, long-dashed, and short-dashed lines represent the climatology, El Niño developing years, and La Niña years

和初夏(6 月 1 日至 7 月 19 日)的差异。如图 3a 中所示, 与初夏期间相比, 盛夏期菲律宾以东对流显著增强, 表明西北太平洋夏季风发展。相反, 长江流域到日本附近对流减弱, 梅雨结束。对应于图 3a 中 OLR 的变化, 低层流场也发生了显著变化(图 3b), 副热带西太平洋出现气旋性差异, 中心位于台湾以东洋面。低纬度地区西风增强, 而长江流域到日本东风增强, 长江以南地区偏北风增强, 说明西南季风环流减弱。同时, 低纬度位势高度场减弱, 中高纬度高度场升高(图 3c)。西太平洋副高脊线越过 30°N, 并减弱东退到日本南部。值得注意的是, 由于西太平洋暖池对流增强, 盛夏期间东亚夏季风环流对外界扰动例如 ENSO 的强迫影响会更加敏感。

图 4 为 El Niño 发展年和 La Niña 年春季和夏季 SST 异常的分布。春季, El Niño 已开始出现, 但信号比较弱, 仅日界线附近比较显著(图 4a)。在 La Niña 年春季, 中东太平洋 SST 为显著负异常, 最小值达到 -1 °C, 西太平洋暖池特别是菲律宾以东 SST 偏暖(图 4b)。随着 El Niño 的发展, 夏季中东太平洋 SST 异常超过 0.6 °C, El Niño 信号已经很显著(图 4c)。与 El Niño 发展年不同, 夏季 La Niña 信号明显减弱, 中东太平洋最小值减弱到 -0.6 °C, 西太平洋特别是南海地区 SST 变成负异常(图 4d)。因此, El Niño 发展年和 La Niña 年的 SST 异常分布存在显著差异, 而且从春到夏有明显的季节变化。

图 5 为 El Niño 发展年初夏东亚夏季风的异常。图 5a 显示初夏 OLR 异常较弱, 达到显著性异常的

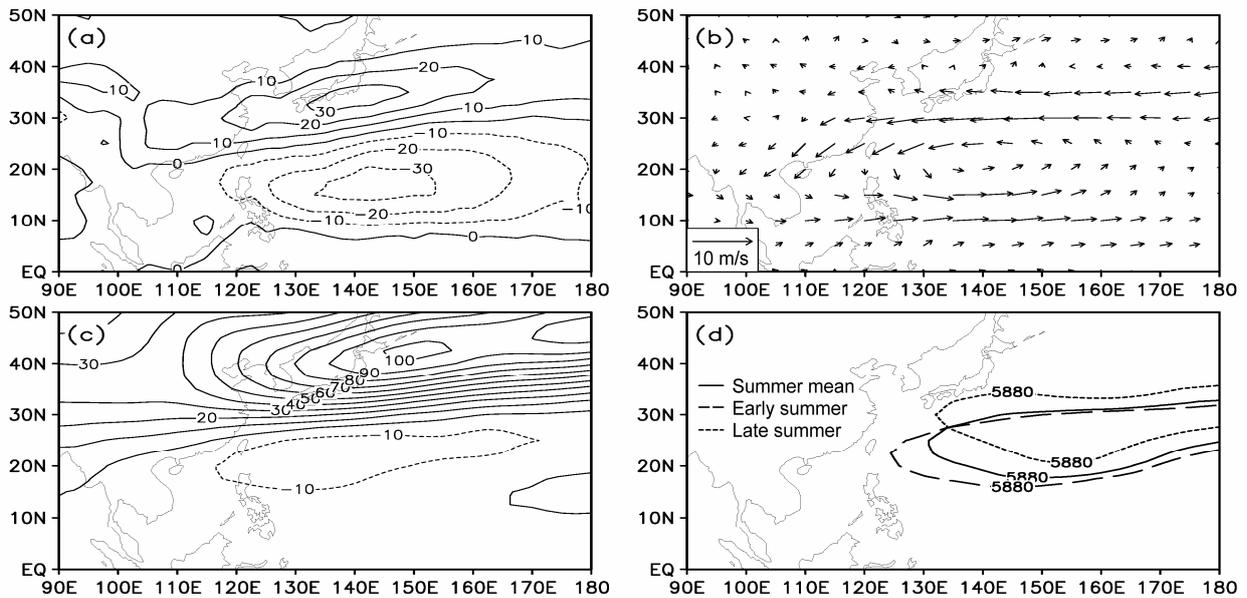


图 3 (a) 向外长波辐射 (单位:  $W/m^2$ )、(b) 850 hPa 风场、(c) 500 hPa 位势高度 (单位: gpm) 盛夏 (7 月 20 日至 8 月 31 日) 与初夏 (6 月 1 日至 7 月 19 日) 的差值场; (d) 夏季平均 (实线)、初夏 (长虚线) 和盛夏 (短虚线) 西太平洋副热带高压 (单位: gpm)

Fig. 3 Differences between the late summer (20 July to 31 August) and early summer (1 June to 19 July): (a) Outgoing longwave radiation ( $W/m^2$ ); (b) 850-hPa wind (m/s); (c) 500-hPa geopotential height (gpm). (d) The western Pacific subtropical high (gpm) of the summer mean (solid), the early summer (long-dashed contours), and late summer (short-dashed contours)

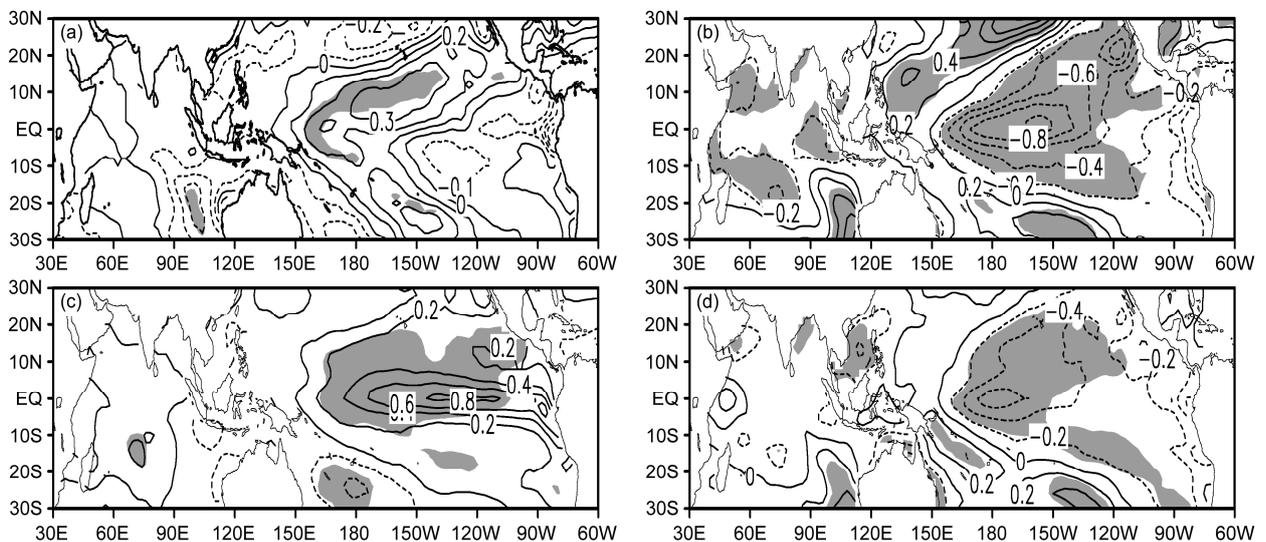


图 4 (a) El Niño 发展年春季、(b) La Niña 年春季、(c) El Niño 发展年夏季、(d) La Niña 夏季海表温度异常 (单位:  $^{\circ}C$ )。阴影区为超过 95% 显著性检验的区域

Fig. 4 Sea surface temperature anomalies ( $^{\circ}C$ ) in (a) the spring of El Niño developing years, (b) the spring of La Niña years, (c) the summer of El Niño developing years, and (d) the summer of La Niña years. Shaded areas indicate significance at/above the 95% confidence level

只是在热带个别区域。低层风场异常主要表现为热带出现显著的西风异常。另外, 东北亚地区出现较弱的偏北风异常, 但不能达到显著性标准 (图 5b)。东亚地区位势高度场偏低, 这与东北亚地区的偏北风异常引起的冷平流异常有关 (Xue and Fan,

2016), 但与风场异常一致, 高度场异常也不能通过信度检验 (图 5c)。因此, 初夏期间副高略微减弱并偏东 (图 5d)。

随着菲律宾以东对流发展, El Niño 的影响趋于增强, 因此盛夏期间的异常与初夏有很大不同。如

图 6a 所示, 日界线以西 OLR 为显著负异常, 对流增强, 印尼附近 OLR 为显著正异常。对应于中太平洋对流增强, 副热带西太平洋出现大范围气旋性异常, 这是一种典型的 Gill 型响应 (Gill, 1980), 热带西风异常继续增强 (图 6b)。这与大气环流模式模拟的结果一致, 说明环流异常与 El Niño 的强迫有关 (Lau and Nath, 2000)。同时, 副热带西太

平洋位势高度场显著偏低 (图 6c), 结果造成盛夏期间副高显著偏弱偏东 (图 6d)。因此, 虽然初夏和盛夏的副高均偏东, 但异常程度有显著差异。更为重要的是, 其异常成因也完全不同, 前者主要是大气内部变化引起, 而后者是 El Niño 强迫所造成。此外, 对比图 5b 和图 6b 可以发现, 初夏日本南部为较弱的反气旋异常, 盛夏则为显著的气旋异常,

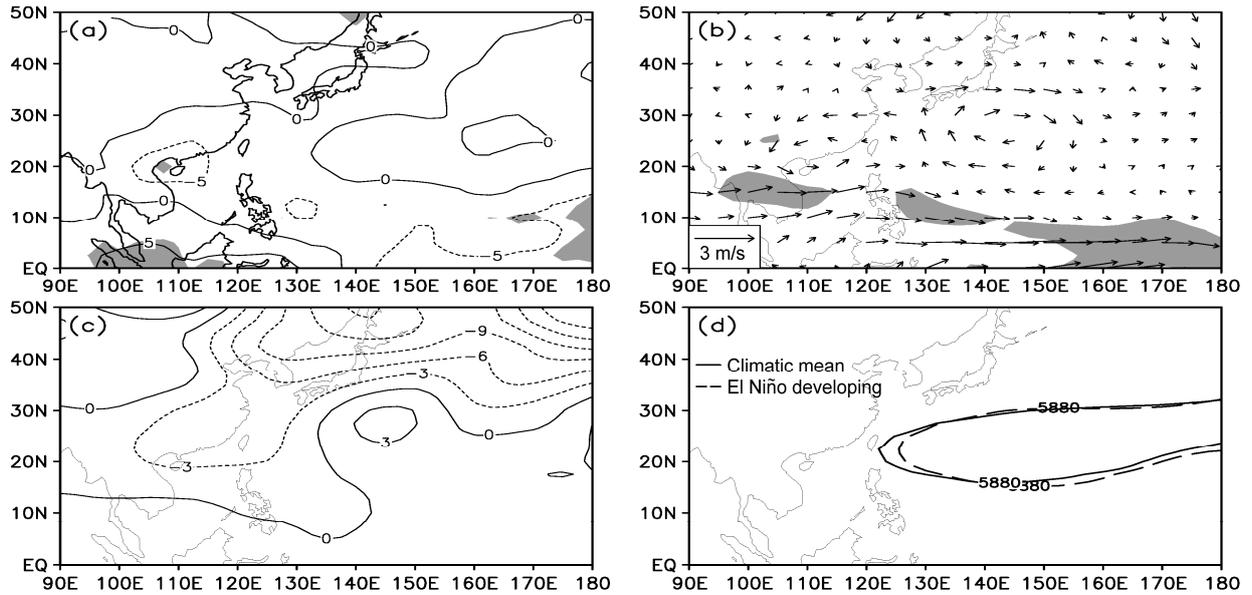


图 5 El Niño 发展年初夏东亚夏季风异常场 (阴影区为超过 95% 显著性检验的区域): (a) 向外长波辐射 (单位:  $W/m^2$ ); (b) 850 hPa 风场; (c) 500 hPa 位势高度 (单位:  $gpm$ ); (d) 气候平均 (实线) 和 El Niño 发展年初夏 (虚线) 西太平洋副热带高压 (单位:  $gpm$ )

Fig. 5 East Asian summer monsoon anomalies in the early summer of El Niño developing years (shaded areas indicate significance at/above the 95% confidence level): (a) Outgoing longwave radiation ( $W/m^2$ ); (b) 850-hPa wind (m/s); (c) 500-hPa geopotential height (gpm). (d) The western Pacific subtropical high (gpm) of the climatology (solid contours) and in the early summer of El Niño developing years (dashed contours)

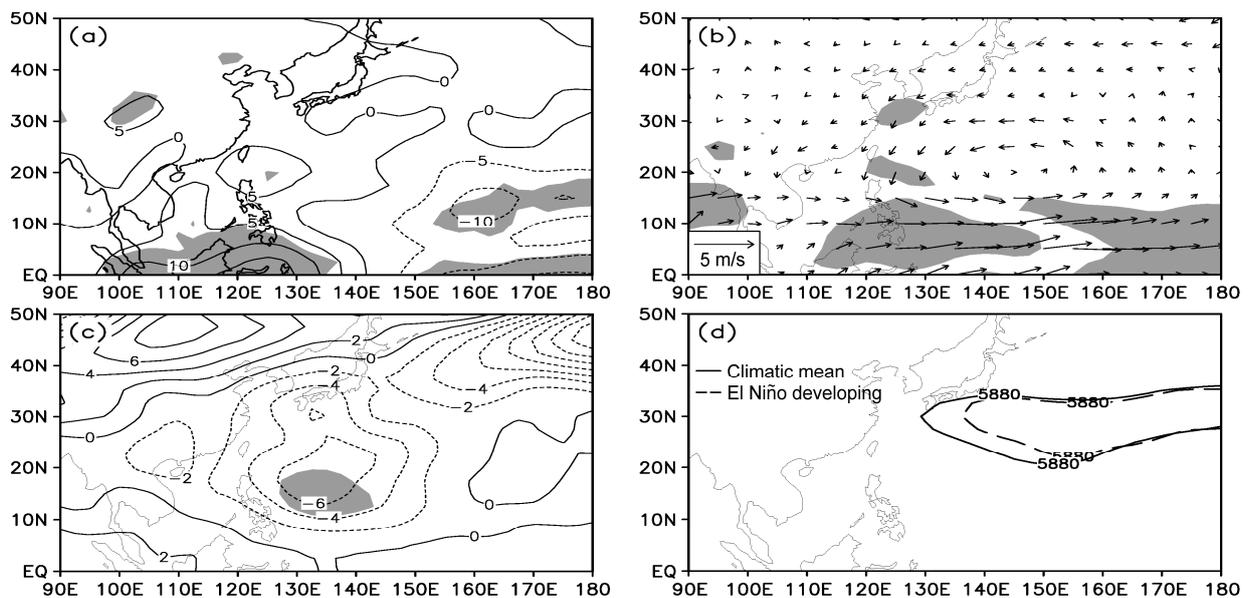


图 6 同图 5, 但为盛夏期

Fig. 6 Same as Fig. 5, but in the late summer

也说明二者异常的成因不同。

La Niña 年东亚夏季风季节内变化与 El Niño 发展年有很大不同。图 7a 显示 6 月南海和菲律宾附近对流明显增强, 华南和南海附近出现较弱的气旋性异常 (图 7b), 热带西太平洋地区位势高度显著偏低, 东亚副热带地区也偏低, 但不显著 (图 7c), 副高减弱东退 (图 7d)。与 El Niño 发展年初夏有所

不同的是, 高纬度地区为较弱的偏南风异常, 因此 6 月副高偏东与春季暖池 SST 偏高造成的对流偏强有关, 不是大气内部变化造成的。

但到 7 月份, 西太平洋暖池特别是菲律宾以东对流急剧增强, OLR 负异常中心超过  $-15 \text{ W/m}^2$  (图 8a)。由于热带对流异常的强迫, 副热带地区出现显著气旋异常, 日本东部为显著反气旋异常, 高低

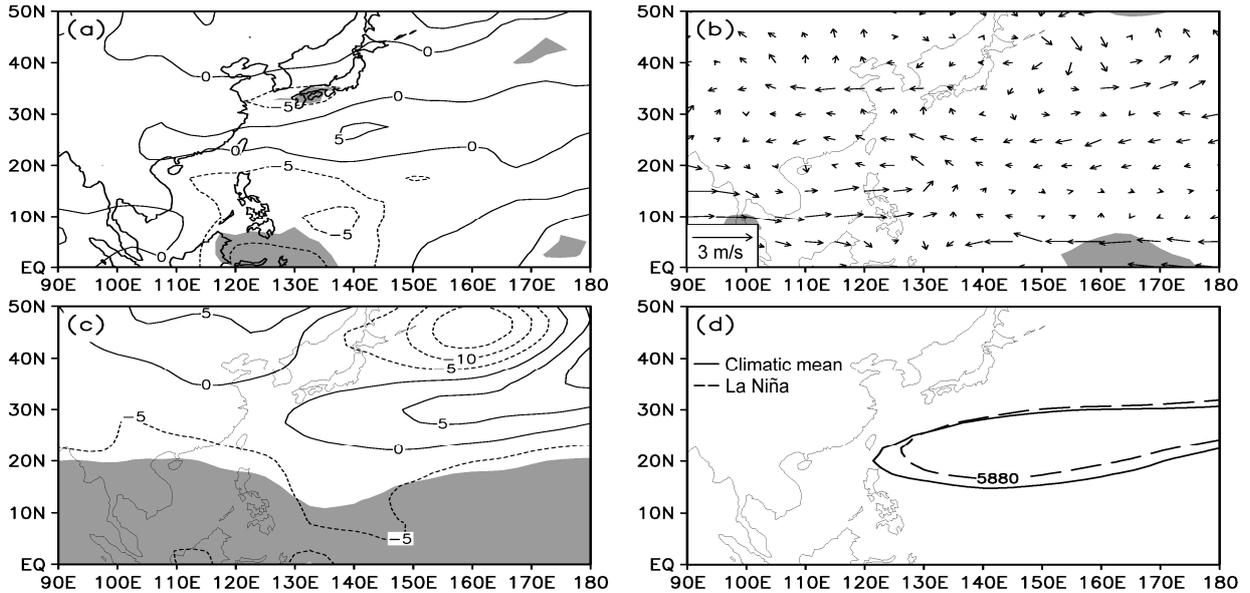


图 7 La Niña 年 6 月东亚夏季风异常场 (阴影区为超过 95% 显著性检验的区域): (a) 向外长波辐射 (单位:  $\text{W/m}^2$ ); (b) 850 hPa 风场; (c) 500 hPa 位势高度 (单位: gpm)。 (d) 气候平均 (实线) 和 La Niña 年 6 月 (虚线) 西太平洋副热带高压 (单位: gpm)

Fig. 7 East Asian summer monsoon anomaly in June of La Niña years (shaded areas indicate significance at/above the 95% confidence level): (a) Outgoing longwave radiation ( $\text{W/m}^2$ ); (b) 850-hPa wind; (c) 500-hPa geopotential height (gpm). (d) The western Pacific subtropical high (gpm) of the climatology and in June of La Niña years

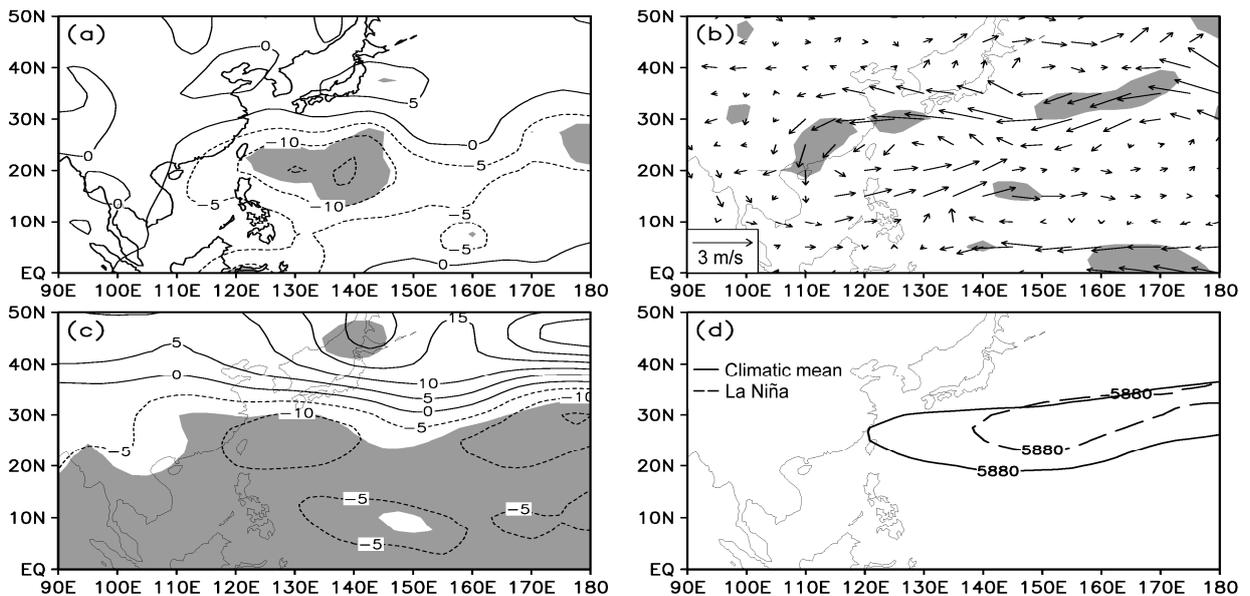


图 8 同图 7, 但为 7 月

Fig. 8 Same as Fig. 7, but in July

纬度之间为典型的东亚—太平洋遥相关型 (图 8b) (Nitta, 1987; Huang and Sun, 1989)。热带和副热带地区位势高度显著降低, 而高纬度特别是东北亚地区升高 (图 8c), 结果造成副高大幅度东退到 140°E 以东 (图 8d)。

8 月的情况与 7 月类似, 但有两点不同 (图 9)。一是随着东亚夏季风的北进, 异常中心亦随之北进, 例如 OLR 和高度负异常中心均越过 30°N, 高低纬度之间仍维持类似的遥相关型。二是异常强度明显减弱, 这是因为 7 月对流的急剧增强能使海温降低 (图 4d), 而降低的海温则反过来抑制对流的发展。因此, 8 月副高虽然减弱东退, 但变化幅度要明显弱于 7 月 (图 9d)。

因此, 虽然 El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风异常存在一定程度的相似, 例如副高在夏季各

个时期均偏东, 但季节内变化则有很大差异。El Niño 发展年主要在盛夏, 而 La Niña 年则主要在 7 月, 副高提前东退, 造成东亚地区盛夏期提早来临。此外, 异常成因也有所不同, El Niño 发展年初夏副高偏东主要是高纬度环流变化所致, 异常较弱, 而盛夏期偏东则与 El Niño 发展造成的对流偏强有关, 与东亚夏季风的季节进程基本同步, 而 La Niña 年的副高偏东主要与前期暖池海温偏暖造成对流偏强有关。

图 10 给出夏季平均副高的变化, 与以前研究结果类似, 副高在两种情况下均表现为减弱东退。但由于 La Niña 年各月均受 SST 异常影响, 特别是 7 月副高急剧减弱东退, 相对于 El Niño 发展年而言, La Niña 年夏季副高异常更为明显。对应于副高和热带对流的异常变化, 东亚和西太平洋地区夏季降水也呈现明显的变化 (图 11)。在 El Niño 发展

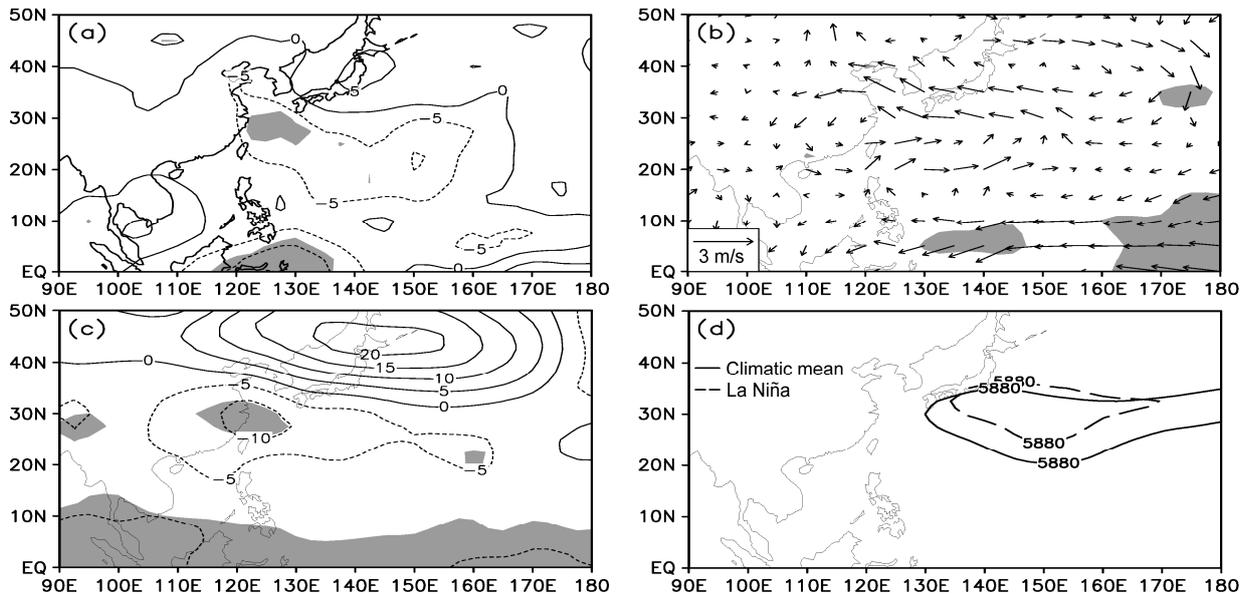


图 9 同图 7, 但为 8 月  
Fig. 9 Same as Fig. 7, but in August

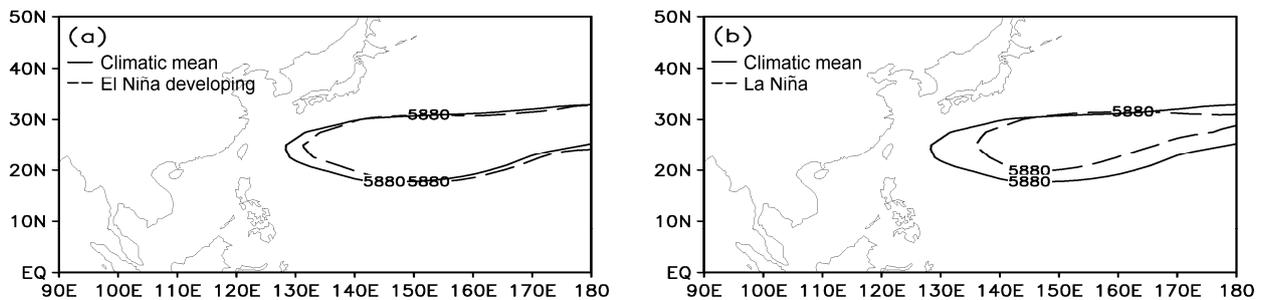


图 10 夏季平均西太平洋副热带高压 (单位: gpm): (a) El Niño 发展年; (b) La Niña 年。图 10a 和图 10b 中的长虚线分别为 El Niño 发展年和 La Niña 年, 实线为气候平均

Fig. 10 Summer mean western Pacific subtropical high (gpm): (a) El Niño developing years; (b) La Niña years. The dashed contours in Fig. 10a and Fig. 10b represent El Niño developing years and La Niña years, respectively. The solid contours represent the climatology

年,日界线以西降水偏多,印尼附近降水偏少。在中国东部地区,长江以南降水偏多,长江以北降水偏少(图 11a)。在 La Niña 年,由于副高显著偏东,中国东部大部分地区降水偏少,西太平洋洋面降水显著偏多(图 11b)。但与热带相比,中国东部夏季降水异常信号并不显著,仅个别区域能达到显著水平。如图 12 所示,在 El Niño 发展年夏季,华南降水偏多,长江以北降水偏少。在 La Niña 年夏季,华南部分地区降水偏少,长江流域下游降水略微偏多。但能达到显著性检验的区域较少,这与图 11 的结果是一致的,表明在 El Niño 发展年和 La Niña 年来自热带的异常信号较弱。此外,虽然中国西部能达到显著性检验的范围较大,但该地区并非东亚夏季风的影响范围,有可能是资料误差所致,在此不做分析。

已有研究表明,在 ENSO 循环的 3 个不同阶段,东亚夏季风的异常在 El Niño 衰减年最为显著,表现为副高偏西偏南,强度增强,中国东部为典型的三极型夏季降水异常,即长江流域降水偏多而华南

和华北降水偏少。而在 El Niño 发展年和 La Niña 年夏季,副高则偏东偏北,强度减弱。因此,在整个 ENSO 循环过程中,东亚夏季风呈现出明显的准两年振荡现象。另一方面,与 El Niño 衰减年相比,后二者的影响明显偏弱。实际上,即使在两个相似的强 La Niña 年,由于高纬度环流和南半球环流的影响差异,中国东部降水夏季降水异常也会出现很大差异(薛峰, 2008)。因此,在 El Niño 发展年和 La Niña 年,除热带强迫信号外,还必须考虑其它因子的综合影响,才能做出准确的预测。

#### 4 小结

本文基于 1979~2013 年期间发生的主要 El Niño 和 La Niña 事件,合成了 El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风的季节内变化。结果表明,尽管夏季西太平洋副高在两种情况下均呈现偏东偏弱的态势,但季节内变化却有很大差异。在 El

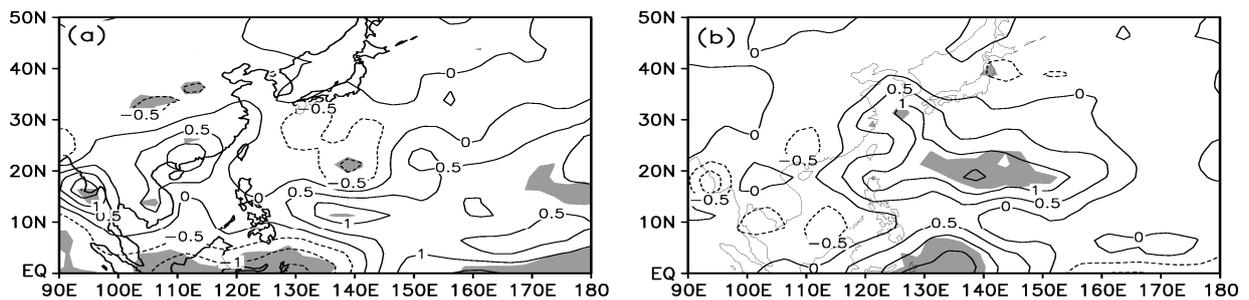


图 11 夏季平均降水异常(单位: mm/d): (a) El Niño 发展年; (b) La Niña 年。阴影区为超过 95% 显著性检验的区域

Fig. 11 Summer mean rainfall anomalies (mm/d): (a) El Niño developing years; (b) La Niña years. Shaded areas indicate significance at/above the 95% confidence level

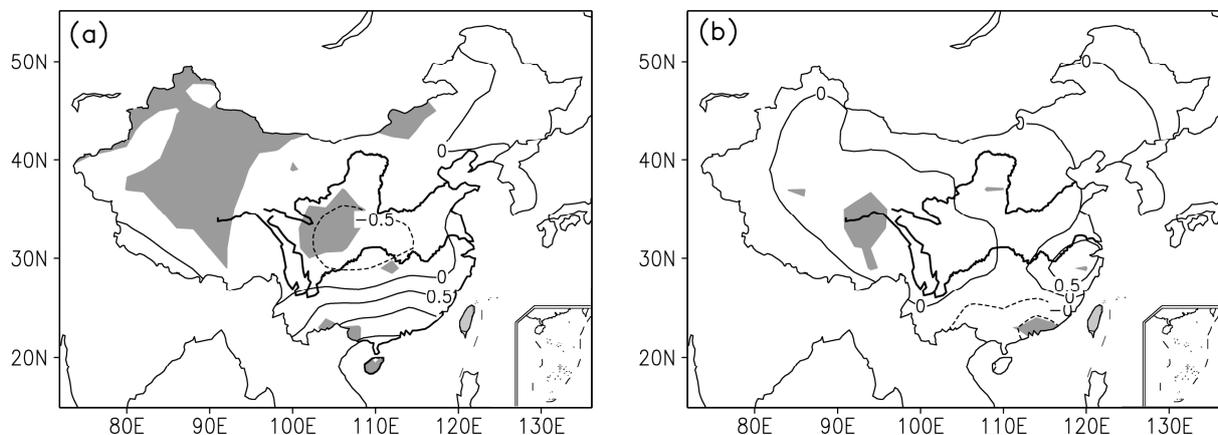


图 12 中国区域夏季平均降水异常(单位: mm/d): (a) El Niño 发展年; (b) La Niña 年。阴影区为超过 95% 显著性检验的区域

Fig. 12 Summer mean rainfall anomalies in China (mm/d): (a) El Niño developing years; (b) La Niña years. Shaded areas indicate significance at/above the 95% confidence level

Niño 发展年,初夏期间高纬度地区出现较弱的偏北风异常,东亚地区位势高度场偏低,造成副高略微偏东。随着东亚夏季风季节进程的发展特别是西太平洋暖池对流增强,暖池对流变化影响在盛夏期间趋于增强。西太平洋地区出现气旋性异常,位势高度场显著降低,副高出现明显的东退。因此,El Niño 发展年副高异常主要发生在盛夏,并受到东亚夏季风季节进程和 El Niño 强迫的共同影响。

与 El Niño 发展年相比,La Niña 年东亚夏季风的季节内变化复杂多变,6 月异常较弱,7 月达到最强,8 月又开始减弱。在 La Niña 年春季,西太平洋海温偏高,夏季暖池对流偏强,特别是 7 月西太平洋出现显著气旋异常,位势高度场显著偏低,造成 7 月副高大幅度减弱东退。但对流发展造成海温降低,致使 8 月异常反而减弱。因此,La Niña 年副高异常主要发生在 7 月,结果造成东亚夏季风季节进程加速,东亚地区盛夏提前来临,中国东部地区降水总体上偏少。

与 El Niño 衰减年相比,东亚夏季风夏季平均异常在上述两种情况下均明显偏弱,因而可预测性相对较低(薛峰和刘长征,2007)。因此,为准确预测东亚夏季风的异常变化,需综合考虑其它因子特别是高纬度环流和热带环流变化的影响。另一方面,为提高预测准确度,也需要进一步加强月尺度的预报。我们的研究结果显示,La Niña 年 7 月和 El Niño 发展年 8 月东亚夏季风异常均非常显著,因此,La Niña 年梅雨偏少和 El Niño 发展年北方降水偏少的可能性较大,这些结果对提高月尺度预报的准确度有重要意义。

### 参考文献 (References)

- 符淙斌,滕星林. 1988. 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, 12 (S1): 133-141. Fu Congbin, Teng Xinglin. 1988. Climate anomalies in China associated with El Niño/southern Oscillation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 12 (S1): 133-141, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1988.t1.11.
- Gill A E. 1980. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 106: 447-462, doi:10.1002/qj.49710644905.
- Huang R H, Wu Y F. 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 6 (1): 21-32, doi:10.1007/BF02656915.
- Huffman G J, Adler R F, Arkin P, et al. 1997. The global precipitation climatology project (GPCP) combined precipitation dataset [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78 (1): 5-20, doi:10.1175/1520-0477(1997)078<0005:TGPCPG>2.0.CO;2.
- Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. 2002. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2) [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83: 1631-1644, doi:10.1175/BAMS-83-11-1631.
- Kawatani Y, Ninomiya K, Tokioka T. 2008. The North Pacific subtropical high characterized separately for June, July, and August: Zonal displacement associated with submonthly variability [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 86 (4): 505-530, doi:10.2151/jmsj.86.505.
- Lau N C, Nath M J. 2000. Impact of ENSO on the variability of the Asian-Australian monsoons as simulated in GCM experiments [J]. J. Climate, 13: 4287-4309, doi:10.1175/1520-0442(2000)013<4287:IOEOTV>2.0.CO;2.
- Liebmann B, Smith C A. 1996. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 1275-1277.
- 刘长征, 薛峰. 2010a. 不同强度 El Niño 的衰减过程. I, 强 El Niño 的衰减过程 [J]. 地球物理学报, 53 (1): 39-48. Liu Changzheng, Xue Feng. 2010a. The decay of El Niño with different intensity. Part I, the decay of the strong El Niño [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 53 (1): 39-48, doi:10.3969/j.issn.0001-5733.2010.01.005.
- 刘长征, 薛峰. 2010b. 不同强度 El Niño 的衰减过程. II, 中等和较弱 El Niño 的衰减过程 [J]. 地球物理学报, 53 (11): 2564-2573. Liu Changzheng, Xue Feng. 2010b. The decay of El Niño with different intensity. Part II, the decay of the moderate and relatively-weak El Niño [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 53 (11): 2564-2573, doi:10.3969/j.issn.0001-5733.2010.11.004.
- Nitta T. 1987. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 65 (3): 373-390.
- Okumura Y M, Deser C. 2010. Asymmetry in the duration of El Niño and La Niña [J]. J. Climate, 23: 5826-5843, doi:10.1175/2010JCLI3592.1.
- Smith T M, Reynolds R W, Peterson T C, et al. 2008. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006) [J]. J. Climate, 21: 2283-2296, doi:10.1175/2007JCLI2100.1.
- 苏同华, 薛峰. 2010. 东亚夏季风环流和雨带的季节内变化 [J]. 大气科学, 34 (3): 611-628. Su Tonghua, Xue Feng. 2010. The intraseasonal variation of summer monsoon circulation and rainfall in East Asia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Science (in Chinese), 34 (3): 611-628, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2010.03.13.
- Su T H, Xue F. 2011. Two northward jumps of the summertime western Pacific subtropical high and their associations with the tropical SST anomalies [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 4 (2): 98-102, doi:10.1080/16742834.2011.11446910.
- 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998. 1998 年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件 [J]. 气候与环境研究, 3 (4): 290-299. Tao Shiyan, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. 1998. The great floods in the Changjiang River valley in 1998 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 3 (4): 290-299, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.1998.04.01.
- Trenberth K E. 1997. The definition of El Niño [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78: 2771-2777, doi:10.1175/1520-0477(1997)078<2771:TDOENO>2.0.

- CO<sub>2</sub>.
- Xiang B Q, Wang B, Yu W D, et al. 2013. How can anomalous western North Pacific subtropical high intensify in late summer? [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 40: 2349–2354, doi:10.1002/grl.50431.
- 薛峰. 2008. 强 La Niña 背景下的东亚夏季风异常与 1989 年和 1999 年中国夏季降水的对比分析 [J]. *大气科学*, 32 (3): 423–431. Xue Feng. 2008. East Asian summer monsoon anomalies in strong La Niña years and comparison of summer precipitation in China between 1989 and 1999 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (3): 423–431, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2008.03.01.
- 薛峰, 刘长征. 2007. 中等强度 ENSO 对中国东部夏季降水的影响及其与强 ENSO 的对比分析 [J]. *科学通报*, 52 (23): 2798–2805. Xue Feng, Liu Changzheng. 2008. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO [J]. *Chinese Science Bulletin*, 53 (5): 791–800, doi:10.3321/j.issn:0023-074x.2007.23.017.
- Xue F, Fan F X. 2016. Anomalous western Pacific subtropical high during late summer in weak La Niña years: Contrast between 1981 and 2013 [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 33 (12): 1351–1360, doi:10.1007/s00376-016-5281-1.
- Xue F, Zhao J J. 2017. Intraseasonal variation of the East Asian summer monsoon in La Niña years [J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 10 (2): 156–161, doi:10.1080/16742834.2016.1254008.
- Xue F, Zeng Q C, Huang R H, et al. 2015. Recent advances in monsoon studies in China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 32 (2): 206–229, doi:10.1007/s00376-014-0015-8.
- 曾庆存, 张东凌, 张铭, 等. 2005. 大气环流的季节突变与季风的建立 I. 基本理论方法和气候场分析 [J]. *气候与环境研究*, 10 (3): 285–302. Zeng Qingcun, Zhang Dongling, Zhang Ming, et al. 2005. The abrupt seasonal transitions in the atmospheric general circulation and the onset of monsoons Part I: Basic theoretical method and its application to the analysis of climatological mean observations [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (3): 285–302, doi:10.3969/j.issn.1006-9585.2005.03.003.
- 赵俊杰, 薛峰, 林万涛, 等. 2016. El Niño 对东亚夏季风和夏季降水季节内变化的影响 [J]. *气候与环境研究*, 21 (6): 678–686. Zhao Junjie, Xue Feng, Lin Wantao, et al. 2016. The El Niño influence on intra-seasonal variations of East Asian summer monsoon and summer rainfall [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 21 (6): 678–686, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2016.15244.