氣候與環境研究
Climatic and Environmental Research

超长La Nia事件背景下东亚夏季风的季节内变化：1999～2000年和1984～1985年的对比分析

段欣妤 薛峰 郑飞

Intraseasonal Variation of East Asian Summer Monsoon under Multiyear La Niña Events: Contrast between 1999–2000 and 1984–1985

DUAN Xinyu XUE Feng ZHENG Fei

在线阅读 View online: https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2020.20077

您可能感兴趣的其他文章 Articles you may be interested in

El Niño发展年和La Niña年东亚夏季风季节内变化的比较

Comparison of Intraseasonal Variation of the East Asian Summer Monsoon between El Nio Developing Years and La Nia Years

气候与环境研究. 2018, 23(3): 321 https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17044

西太平洋暖池对流三类显著月际变化及其成因

Three Categories of Significant Inter-monthly Variations of the Warm Pool Convection in the Western Pacific and the Related Physical Mechanism

气候与环境研究. 2020, 25(2): 113 https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2019.19139

衰退年夏季西北太平洋异常反气旋季节内演变特征及其机制

Characteristics and Mechanisms of Sub-seasonal Evolution of Northwest Pacific Anomalous Anticyclone during the El Nio Decaying Summer

气候与环境研究. 2019, 24(4): 525 https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2019.18156

南海夏季风爆发与前期东亚冬季风异常的关系以及ENSO的作用

The Relationship between the East Asian Winter Monsoon Anomaly and the Subsequent Summer Monsoon Onset over the South China Sea and the Impact of ENSO

气候与环境研究. 2018, 23(4): 401 https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17026

清江流域水热关系与东亚夏季风的联系

Correlation of Surface Air Temperature and Precipitation in the Qingjiang River basin and Its Connection with the East Asian Summer Monsoon

气候与环境研究. 2020, 25(6): 677 https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2020.20035

无显著海温异常强迫下西太平洋副热带高压的异常变动:1980年和1981年的对比分析

Abnormal Activities of the Western Pacific Subtropical High without Remarkable SST Anomaly Forcing: A Comparison between 1980 and 1981

气候与环境研究. 2018, 23(1): 83 https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2017.16221

关注微信公众号，获得更多资讯信息

段欣好, 薛峰, 郑飞. 2021. 超长 La Niña 事件背景下东亚夏季风的季节内变化：1999～2000 年和 1984～1985 年的对比分析 [J]. 气候与环境研究, 26(2): 169−180. DUAN Xinyu, XUE Feng, ZHENG Fei. 2021. Intraseasonal Variation of East Asian Summer Monsoon under Multiyear La Niña Events: Contrast between 1999−2000 and 1984−1985 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 26 (2): 169−180. doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2020.20077

超长 La Niña 事件背景下东亚夏季风的季节内变化：1999 ~ 2000 年和 1984 ~ 1985 年的对比分析

段欣好[1, 2, 3] 薛峰[1] 郑飞[1]

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 甘肃省气象局兰州区域气候中心，兰州 730020

摘 要 基于多种再分析资料和观测资料，对比分析了两次超长 La Niña 事件中东亚夏季风的季节内变化。选取的两次事件分别发生在 1984～1985 年和 1999～2000 年，但强度有明显差异，其中前者为中等强度事件，而后者则为强事件。在两次事件过程中，暖池对流偏强，西太平洋副热带高压（副高）偏东偏弱，但季节内变化有很大差异。对强事件而言，6 月对流开始发展，异常值在 7 月达到最大，8 月稍弱，这与 La Niña 年合成结果一致，表明 La Niña 信号主导了东亚夏季风的季节内变化。与此不同的是，在 1984～1985 年事件中，6 月和 8 月对流偏强，7 月偏弱，呈双峰型异常变化。分析表明，当前一个月海温偏高时，后一个月对流偏强，减弱了太阳辐射，造成局地海温降低，偏低的海温又反过来抑制了后一个月的对流发展，暖池地区局地海气相互作用在中等强度 La Niña 事件中起到关键作用。因此，在两次超长 La Niña 事件中，东亚夏季风的季节内变化过程和影响因子有很大差异。此外，由于副高偏东，中国东部夏季降水总体上偏少。

关键词 超长 La Niña 事件 东亚夏季风 季节内变化 暖池对流 局地海气相互作用
文章编号 1006-9585(2021)02-0169-12 **中图分类号** P467 **文献标识码** A
doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2020.20077

Intraseasonal Variation of East Asian Summer Monsoon under Multiyear La Niña Events: Contrast between 1999−2000 and 1984−1985

DUAN Xinyu[1, 2, 3], XUE Feng[1], and ZHENG Fei[1]

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 *Lanzhou Regional Climate Center of Gansu Provincial Meteorological Bureau*, *Lanzhou* 730020

Abstract Based on multi-reanalysis data and observational data, this study focuses on the intraseasonal variation of the East Asian summer monsoon (EASM) during two multiyear La Niña events, occurred in 1984−1985 and 1999−2000, respectively. There is a significant discrepancy in intensity between two events, with moderate intensity for the former and strong intensity for the latter. The warm pool convection is enhanced during two events, inducing eastward retreat of

收稿日期 2020-06-22；**网络预出版日期** 2020-09-16
作者简介 段欣好，女，1991 年出生，博士研究生，从事东亚季风研究。E-mail: duanxinyu@mail.iap.ac.cn
通讯作者 薛峰，E-mail: fxue@lasg.iap.ac.cn
资助项目 国家自然科学基金 41630530、41861144015
Funded by National Natural Science Foundation of China (Grants 41630530 and 41861144015)

the western Pacific subtropical high (WPSH) with weak intensity, but the intraseasonal variation is different between two events. During the strong event, convection begins to develop in June and reaches its maximum in July, then decays in August. This feature is consistent with the composite result in La Niña years, indicating that a La Niña signal dominates the EASM intraseasonal variation. By contrast, convection is enhanced in June and August with two peaks, but it is suppressed in July during 1984−1985 La Niña event. The result also shows that, when the sea surface temperature (SST) is higher in the preceding month, convection in the next month is enhanced along with a reduced solar radiation and local SST. Consequently, convection is suppressed due to the reduced SST in the preceding month. During the moderate La Niña event, the local air−sea interaction in the warm pool plays a key role. Therefore, the EASM exhibits a remarkable difference in the intraseasonal variation and impacting factors between two events. Due to eastward retreat of the WPSH, in general, there is less rainfall in the eastern part of China.

Keywords Multiyear La Niña event, East Asian summer monsoon, Intraseasonal variation, Warm pool convection, Local air−sea interaction

1 引言

ENSO（El Niño and Southern Oscillation）循环是指热带中东太平洋海温异常及相关的大气环流异常变化现象，包括 El Niño 和 La Niña 两种相反的状态，El Niño 发生时赤道中东太平洋海表温度升高，而 La Niña 时则相反。一般情况下，El Niño 事件在第一年春夏季发展，在冬季达到峰值，之后开始衰减，在第二年春夏季转变成平常态或 La Niña 状态。因此，La Niña 是 El Niño 自然衰减的结果（刘长征和薛峰, 2010a, 2010b）。另一方面，由于 La Niña 事件中热带太平洋海温仍然维持“西暖东冷”的分布，因此在冬季海温负异常达到峰值后可以长时间维持，并且在第二年冬季再次达到峰值，形成超长 La Niña 事件（Okumura and Deser, 2010）。Hu et al.（2014）发现，超长 La Niña 事件的形成需要两个先决条件，一是 La Niña 事件的强度必须达到中等强度以上，二是在第一次 La Niña 事件衰减时，西太平洋暖海温没有激发出东传 Kelvin 波来抵消第二次 La Niña 事件发生。据统计约 35%～50%La Niña 事件可以持续两年以上，特别是从 20 世纪 80 年代开始，超长 La Niña 事件发生的频率明显增加（McPhaden and Zhang, 2009）。因此，研究超长 La Niña 事件对东亚夏季风的影响有重要的现实意义。

在 La Niña 年，由于春季暖池海温偏高，导致夏季对流偏强，激发 Rossby 波列并向东北方向传播，进而影响东亚夏季气候异常（Nitta, 1987）。此外，由于暖池对流偏强，热带西太平洋位势高度场偏低，副高减弱东退，中国东部降水偏少（Xue and Zhao, 2017）。合成分析还表明，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，这与 El Niño 年异常在 8 月达到最大是不同的（赵俊杰等, 2016）。

另一方面，虽然合成结果揭示了 La Niña 事件对东亚夏季风的影响，但超长 La Niña 事件的影响与一般事件的差异还需要进一步研究，例如超长事件的影响是否比一般事件更为显著。此外，由于超长 La Niña 事件中海温异常持续时间更长，由 ENSO 循环过程中位相转换造成的东亚夏季风准两年振荡现象是否存在，也需要进一步证实，这对东亚夏季风的年际预测有重要意义。为此，本文对比分析了两次超长 La Niña 事件中东亚夏季风的季节内变化，期望为预测超长 La Niña 事件中东亚夏季风异常和中国夏季降水分布提供观测和理论基础。

2 资料与超长 La Niña 事件的选取

本文主要使用了以下再分析和观测资料，月平均大气环流再分析资料由 NCEP 和美国能源部提供，包括位势高度场、风场以及表层太阳辐射通量，分辨率为 2.5°（纬度）×2.5°（经度）（Kanamitsu et al., 2002），海温资料 ERSST（V5）和卫星观测的对外长波辐射（Outgoing Longwave Radiation, OLR）资料取自 NOAA，分辨率分别为 2.0°（纬度）×2.0°（经度）和 2.5°（纬度）×2.5°（经度）（Liebmann and Smith, 1996; Huang et al., 2017），全球月平均降水资料取自 NOAA 气候预测中心，分辨率为 2.5°（纬度）×2.5°（经度）（Xie and Arkin, 1997）。上述资料时间统一取为 1979～2018 年，共 40 年。

文中根据 Niño3.4 指数来鉴别 La Niña 事件（Trenberth, 1997），该指数定义为 Niño3.4 区（5°N～5°S,120°W～170°W）平均海温异常，当该

指数低于−0.5°C 且持续 6 个月以上，则认为发生了一次 La Niña 事件。据此可以发现 1979～2018 年期间共发生了 11 次 La Niña 事件（图 1a），分别是 1983～1984 年、1984～1985 年、1988～1989 年、1995～1996 年、1998～1999 年、1999～2000 年、2000～2001 年、2007～2008 年、2010～2011 年、2011～2012 年、2017～2018 年。图 1b 为这 11 次 La Niña 事件合成的 Niño3.4 指数的演变情况，Niño3.4 指数在第一年春季开始转变为负异常，之后持续降低，在 12 月达到峰值，约为−1.3°C，在第二年春季开始明显衰减，在夏季其绝对值已经低于 0.5°C，La Niña 事件结束。与 El Niño 事件类似，La Niña 事件也存在明显的季节锁相。

根据上述合成 La Niña 事件的演变，如果 Niño3.4 指数从冬季到夏季持续为负值且持续 2 年以上，这次事件则定义为超长 La Niña 事件，在 1979～2018 年期间只有 1984～1985 年和 1999～2000 年符合该标准。图 2 为这两次超长 La Niña 事件 Niño3.4 指数的演变情况，两次事件分别源自 1983 年和 1998 年这两次强 El Niño 事件的衰减，前者在 1983 年 11 月和 1984 年 12 月负异常达到峰值，约为−1.3°C 和−1.4°C，与合成结果接近，而后者分别在 1999 年 1 月和 2000 年 1 月达到峰值，约为−1.7°C 和−1.8°C，明显超过合成结果。因此，两次事件的强度存在明显差异，前者为中等强度，后者为强 La Niña 事件。另外，由于以前合成结果中主要反映的是强 La Niña 信号，首先分析 1999～2000 年这次强事件过程中东亚夏季风的季节内变化，然后再比较中等强度事件过程中东亚夏季风季节内变化与强事件的差异。

3　1999 ~ 2000 年超长 La Niña 事件中东亚夏季风的季节内变化

图 3 为 1999 年和 2000 年春季海温异常分布，受 La Niña 事件的影响，热带中东太平洋海温偏低，

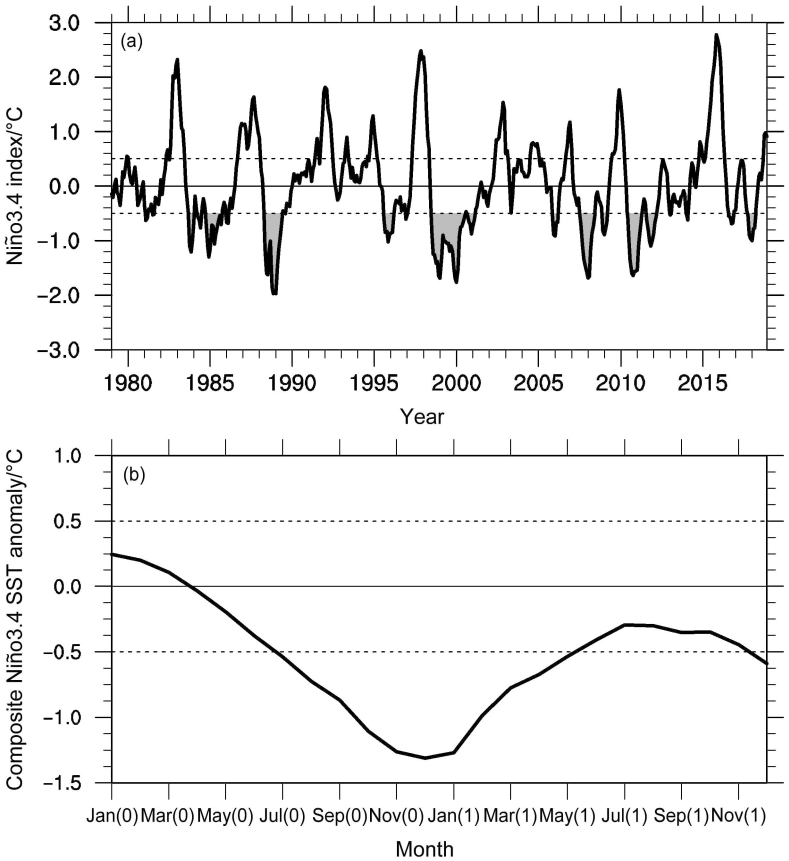

图 1　（a）1979～2018 年 Niño3.4 指数（虚线表示正、负 0.5°C，阴影代表 Niño3.4 指数小于−0.5°C）和（b）合成的 11 次 La Niña 事件 Niño3.4 指数（横坐标中的 0 和 1 分别表示 La Niña 事件发展年和衰减年）

Fig. 1　(a) Niño3.4 index during 1979–2018 (dashed line represents positive or negative 0.5°C, while the shadings represent Niño3.4 index below −0.5°C) and (b) composite Niño3.4 index for the 11 La Niña events (0 and 1 in the abscissa represent the developing and decaying year, respectively)

而热带西太平洋海温偏高，两年海温异常分布大体相同。但 1999 年热带西太平洋海温异常较 2000 年略微偏强，海温正异常向西延伸至孟加拉湾。由于春季暖池海温偏高，将导致夏季暖池对流偏强并进而影响到东亚夏季风的季节内变化（Xue and Zhao, 2017）。

图 4 为 1999 年和 2000 年 6～8 月的对外长波辐射异常分布。由于春季暖池偏暖，6 月暖池对流偏强（OLR 负异常），7 月负异常达到最强，而 8 月负异常较弱，这与 La Niña 年合成结果类似，说明 La Niña 信号主导了暖池对流的季节内变化（Xue and Zhao, 2017）。另一方面，区域尺度上存在显著差异，例如 1999 年 7 月深对流更为偏北。

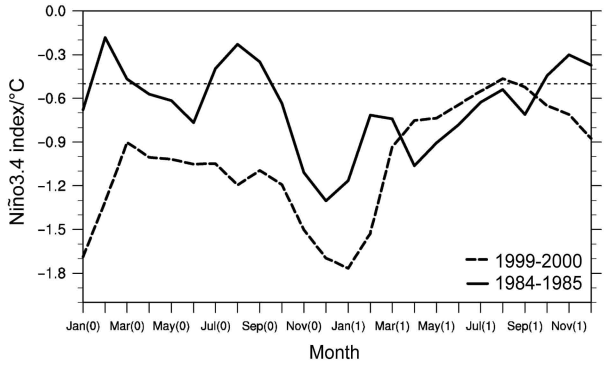

图 2 1984～1985 年（实线）和 1999～2000 年（虚线）Niño3.4 指数（横坐标中的 0 和 1 分别表示超长 La Niña 事件的第一年和第二年）

Fig. 2 Niño3.4 index during 1984–1985 (solid line) and 1999–2000 (dashed line) (0 and 1 in the abscissa represent the first and second year for the multiyear La Niña event, respectively)

为了揭示上述 OLR 异常变化的机理，我们计算了暖池地区多个变量的异常变化，包括地表净辐射通量、净长波辐射通量、净短波辐射通量、净潜热通量和净感热通量（图略），结果表明地表太阳辐射通量和相关局地海温变化主导了 OLR 的季节内变化。图 5 和图 6 分别为 1999 年和 2000 年 6～8 月太阳辐射通量异常及相关的海温月际差异。由于 6 月暖池对流开始发展（图 4a 和 4d），对应于太阳辐射通量的负异常（图 5a 和 5d）。但 6 月和 5 月的海温差异与 OLR 和太阳辐射通量异常分布并不对应，南海和菲律宾南部海域海温降低，以北海域升高。这有两个原因，一是由于 5～6 月期间太阳北移，造成暖池局地海温季节性升高，而 6 月对流虽然开始发展，但异常并不强，所以菲律宾以东海温仍然升高（图 6a 和 6d）。Wang et al.（2018）研究了海气相互作用对西太平洋 30～60 d 振荡的影响，发现最大海温负异常通常位于对流增强区域的南部，这与上述结果是一致的。需要指出的是，

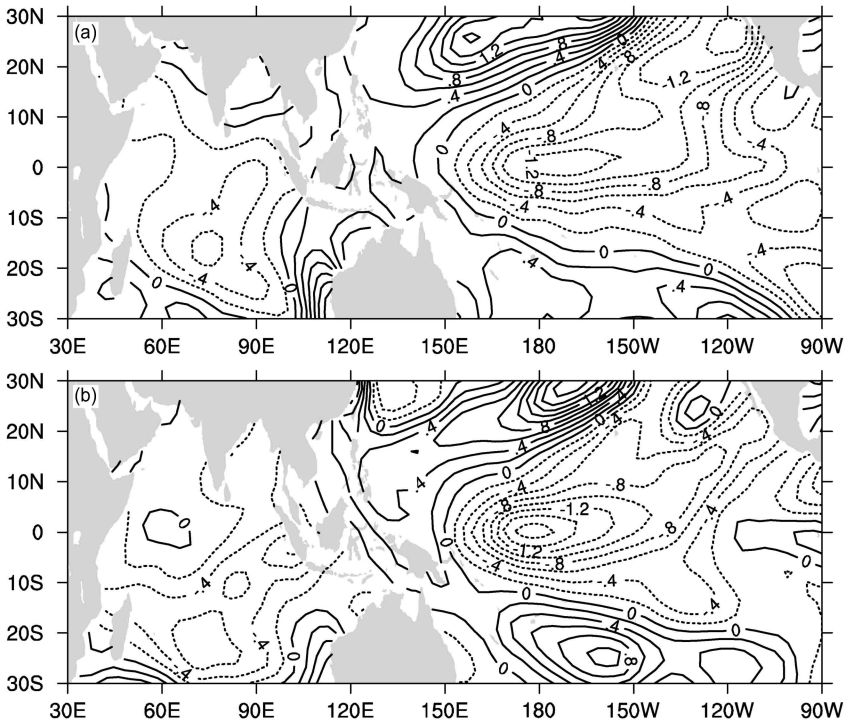

图 3 （a）1999 年和（b）2000 年春季平均海表温度距平分布（单位：°C）

Fig. 3 Sea surface temperature (SST) anomaly in spring (°C) (a) in 1999 and (b) in 2000

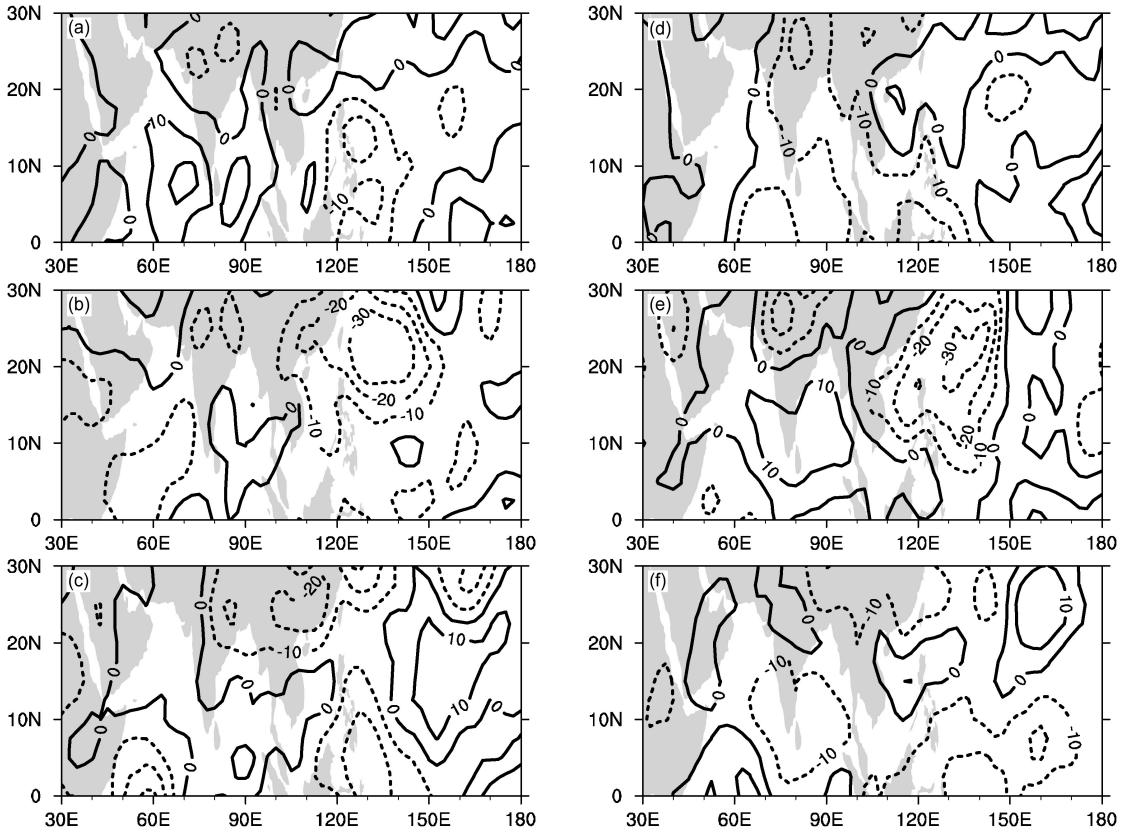

图 4　1999 年（左列）和 2000 年（右列）（a、d）6 月、（b、e）7 月、（c、f）8 月平均向外长波辐射异常（单位：W/m^2）

Fig. 4　Outgoing longwave radiation (OLR) anomaly (W/m^2) during (a, d) Jun, (b, e) Jul, and (c, f) Aug in 1999 (left panel) and 2000 (right panel)

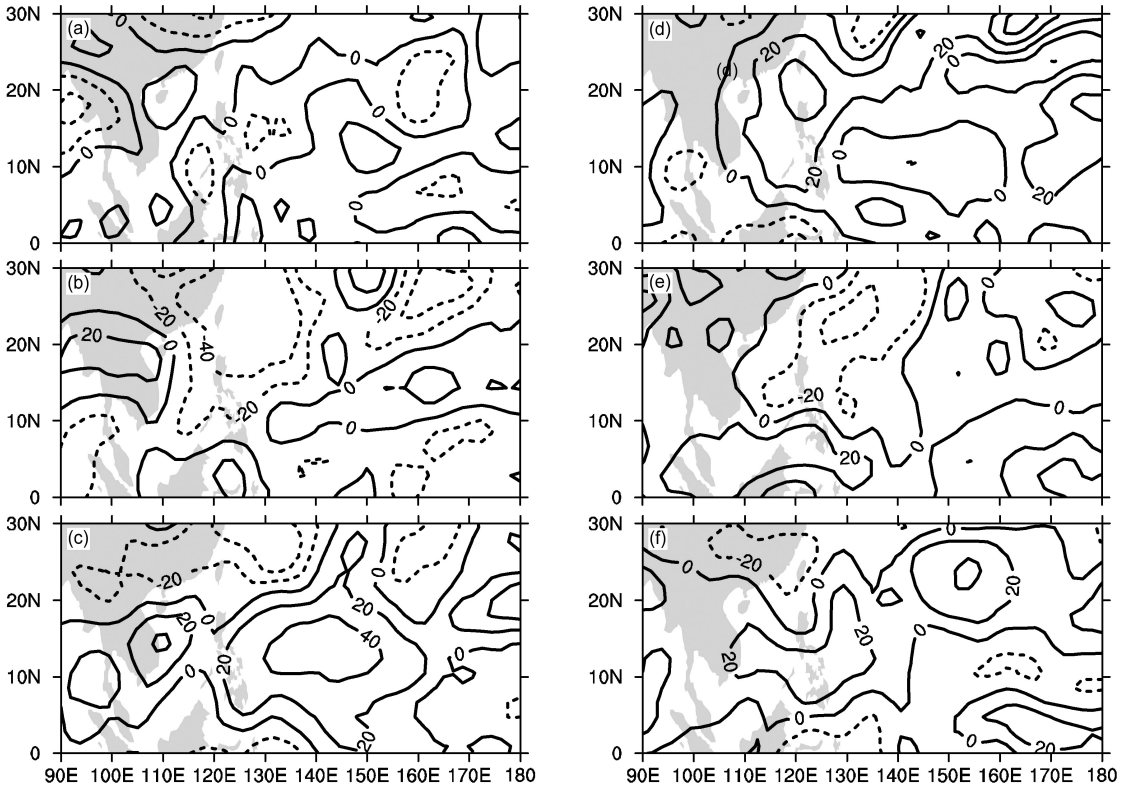

图 5　同图 4，但为向下太阳短波辐射异常（单位：W/m^2）

Fig. 5　Same as Fig. 4, but for downward solar shortwave radiation anomaly

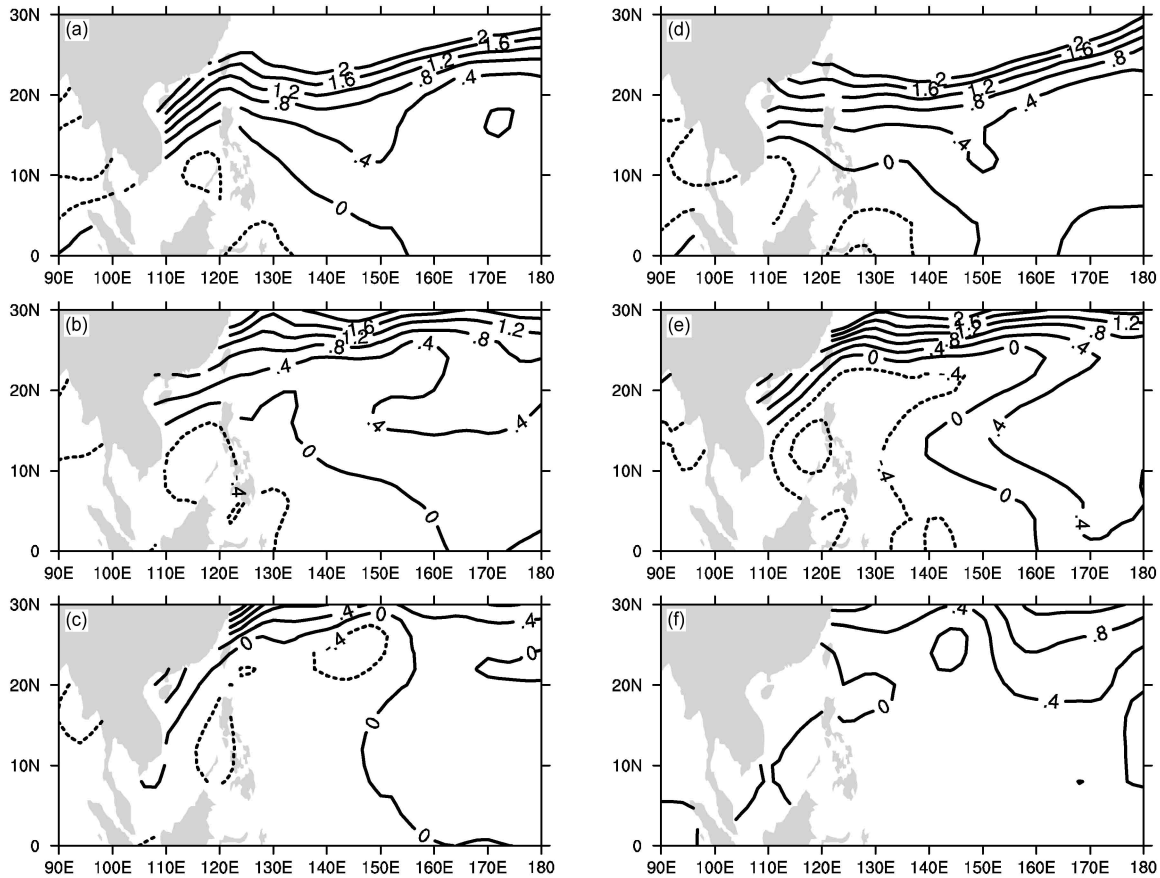

图 6 1999 年（左列）和 2000 年（右列）月平均海表温度差异（°C）：（a、d）6 月减 5 月；（b、e）7 月减 6 月；（c、f）8 月减 7 月

Fig. 6 Monthly averaged SST departure (°C) in 1999 (left panel) and 2000 (right panel): (a, d) Jun minus May; (b, e) Jul minus Jun; (c, f) Aug minus Jul

20°N 以北海域海温的急剧升高是太阳季节性北移造成的，与暖池对流变化无关。

7 月的情况与 6 月有很大不同，暖池对流强烈发展并明显北移，OLR 异常强度超过 6 月一倍以上，最小值低于－30 W/m^2（图 4b 和 4e），太阳辐射通量也随之明显减弱（图 5b 和 5e），其中 1999 年更为显著，中心位于台湾附近。由于太阳辐射的明显减弱，6～7 月南海和菲律宾附近海域的海温开始降低，但降温中心与 OLR 异常和太阳辐射异常并不一致，而是明显偏南，这是因为海温变化还受到太阳季节性北移的影响（图 6b 和 6e）。

随着 7 月海温明显降低，8 月暖池对流较 7 月明显减弱，OLR 转变为弱的负异常甚至是正异常，主要对流区位于菲律宾以南和中国南部（图 4c 和 4f），这说局地海气相互作用在 7～8 月暖池对流异常起到一定作用。由于 8 月暖池对流受到抑制，该区域太阳辐射转变为正异常，特别是 1999 年 8 月菲律宾以东海域（图 5c 和 5f）。受此影响，8 月海温开始升高（图 6c 和 6f），但由于 1999 年 7 月对流发展过于强盛（图 4b）以及 8 月局地对流的影响（图 4c），1999 年 8 月菲律宾附近海温仍然较低（图 6c）。类似于 7 月的情况，太阳辐射通量异常与海温变化并不一致。

对应于暖池对流的异常变化，西太平洋副高呈现偏东偏弱的态势（图 7），但有明显的季节内变化。6 月略微偏东，7 月与气候平均的差异达到最大，约偏东 25 经度，脊线偏北，8 月与 6 月类似，但 1999 年由于局地对流的影响，副高发生分裂。由于暖池对流偏强，降水区域东移到菲律宾和台湾以东洋面，同时由于副高偏东偏弱，不利于水汽输送到中国东部，夏季降水总体上偏少（图 8），但区域尺度上有很大差异，1999 年江南降水偏多，2000 年淮河流域偏多，这与局地对流发展有关。

4 1984～1985 年超长 La Niña 事件中东亚夏季风的季节内变化

与 1999～2000 年 La Niña 事件相比，1984～

1985 年事件的强度明显偏弱，Niño3.4 指数绝对值偏低约 0.4°C（图 2），属于中等强度的 La Niña 事件。受 La Niña 事件的影响，两年春季中东太平洋海温偏低，1984 年菲律宾附近海域海温偏高并向东北方向延伸，而 1985 年海温偏高区域仅限于菲律宾附近（图 9）。

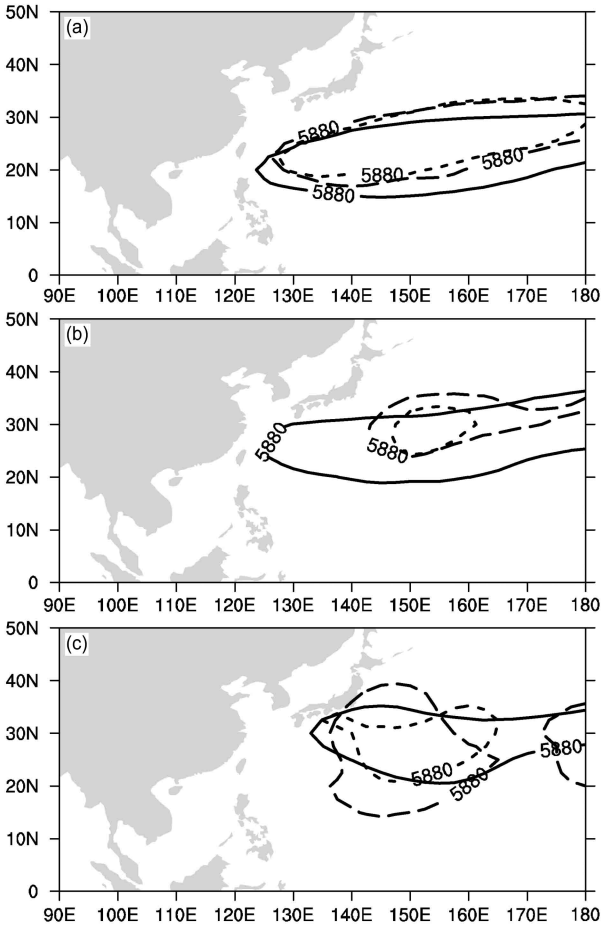

图 7　（a）6 月、（b）7 月、（c）8 月西太平洋副热带高压分布（以 5880 gpm 等值线表示，单位：gpm）。实线、长虚线和短虚线分别代表气候平均、1999 年和 2000 年

Fig. 7　The western Pacific subtropical high (units: gpm) represented by 5880 gpm contour in (a) Jun, (b) Jul, (c) Aug. The solid, long-dashed, and short-dashed contours represent the climatological mean subtropical high and the subtropical high in 1999 and 2000

图 10 为两年 6～8 月 OLR 异常分布，6 月暖池对流明显偏强，1984 年 OLR 负异常从南海向东北方向延伸，而 1985 年深对流区呈东西走向，与春季海温正异常区域相合，表明春季暖海温能触发 6 月暖池对流的发展（图 10a 和 10d）。与上一节中强事件中 6 月对流异常相比（图 4），这两年 6 月对流强度明显偏强。

6 月暖池对流的明显增强减弱了太阳辐射，暖池地区太阳辐射通量为负异常，其中 1985 年异常强度较 1984 年明显偏强（图 11a 和 11d）。在南海南部和近赤道地区，5～6 月间海温明显降低（图 12a 和 12d）。与强 La Niña 事件中海温变化类似，主要海温降低区域位于深对流区的南部，而 20°N 以北海域海温升高是太阳季节性北移造成的。

由于 6 月暖池海温降低，7 月对流明显减弱（图 10b 和 10e），1984 年减弱尤其明显，OLR 异常中心超过 20 W/m^2，1984 年正异常从华南沿西北东南走向延伸到菲律宾以东，1985 年则明显偏北，范围也较小。对应于 7 月对流的减弱，太阳辐射也明显减弱（图 11b 和 11e），异常分布与 OLR 基本一致。6～7 月间海温有明显变化（图 12b 和 12e），140°E 以东明显升高，但由于 6 月对流发展过强，南海到 140°E 仍维持较弱的降温趋势，海温变化与太阳辐射异常并不一致。

与 7 月相比，8 月对流异常发生了相反变化，暖池对流开始再度发展（图 10c 和 10f），其异常分布在一定程度上与 6 月相似（图 10a 和 10d）。同时，由于对流增强导致太阳辐射减弱（图 11c 和 11f），7～8 月间海温呈降低趋势（图 12c 和 12f）。

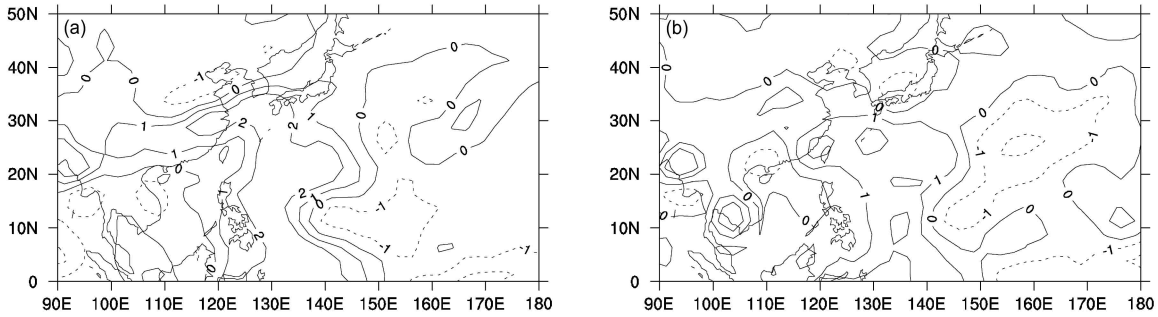

图 8　（a）1999 年和（b）2000 年东亚地区夏季平均降水异常分布（单位：mm/d）

Fig. 8　Mean rainfall anomaly (mm/d) in the East Asian summer in (a) 1999 and (b) 2000

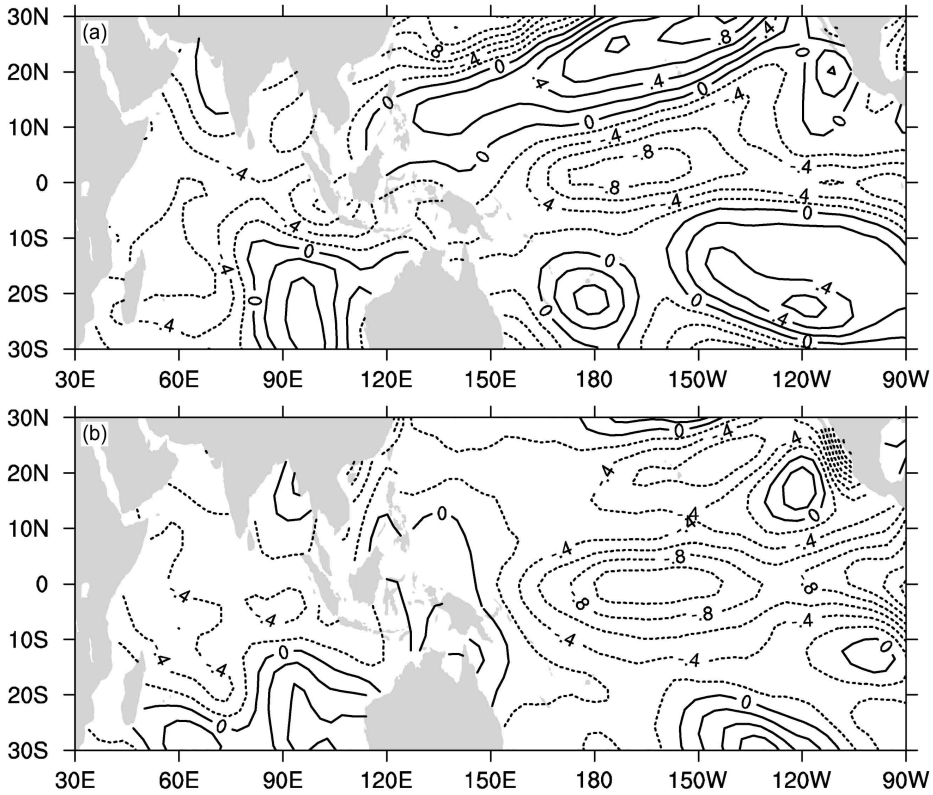

图 9 （a）1984 年和（b）1985 年春季海表温度距平分布（单位：°C）

Fig. 9 SST anomaly (°C) in spring (a) 1984 and (b) 1985

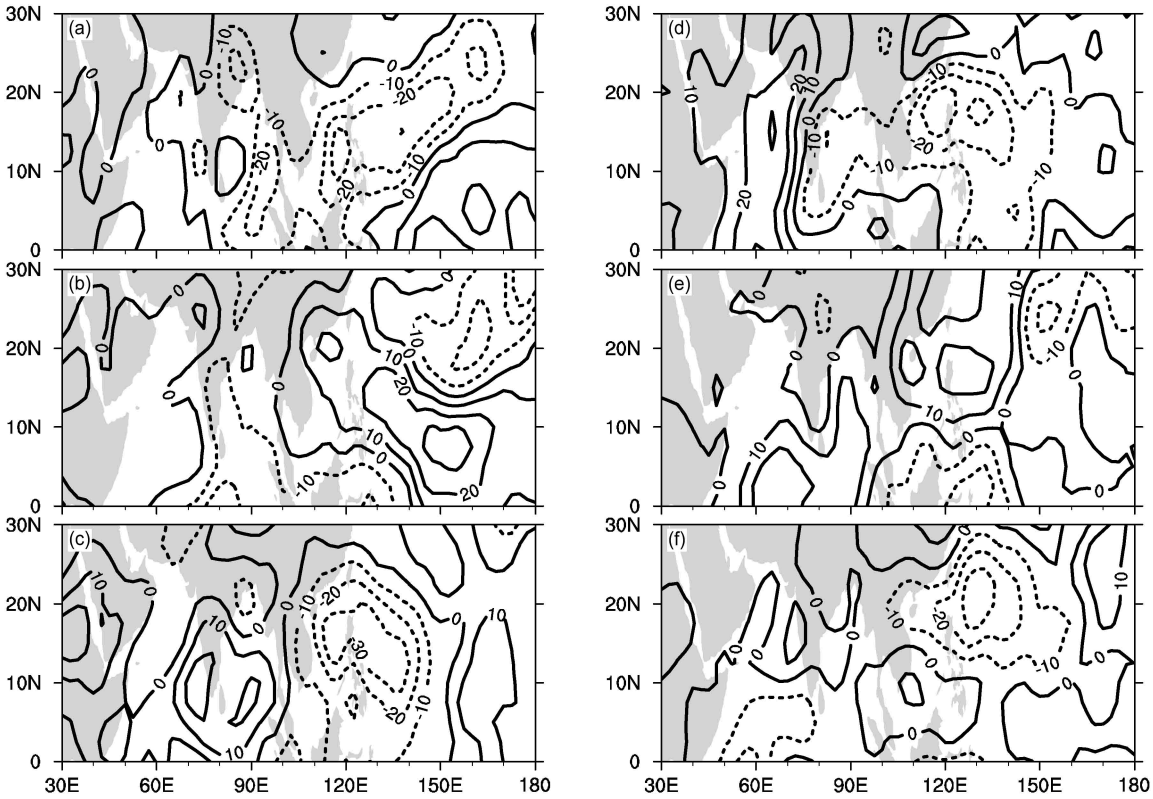

图 10 同图 4，但为 1984 年和 1985 年

Fig. 10 Same as Fig. 4, but for 1984 and 1985

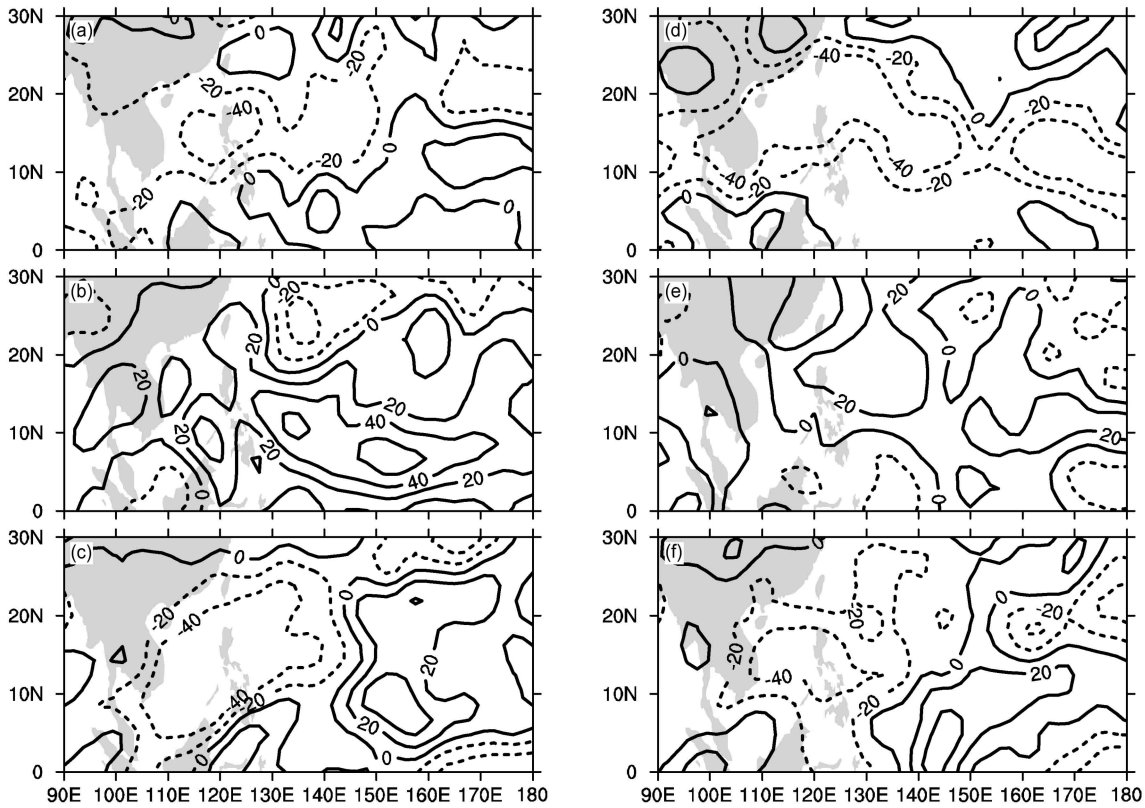

图 11　同图 10，但为向下太阳短波辐射异常

Fig. 11　Same as Fig. 10, but for downward solar shortwave radiation anomaly

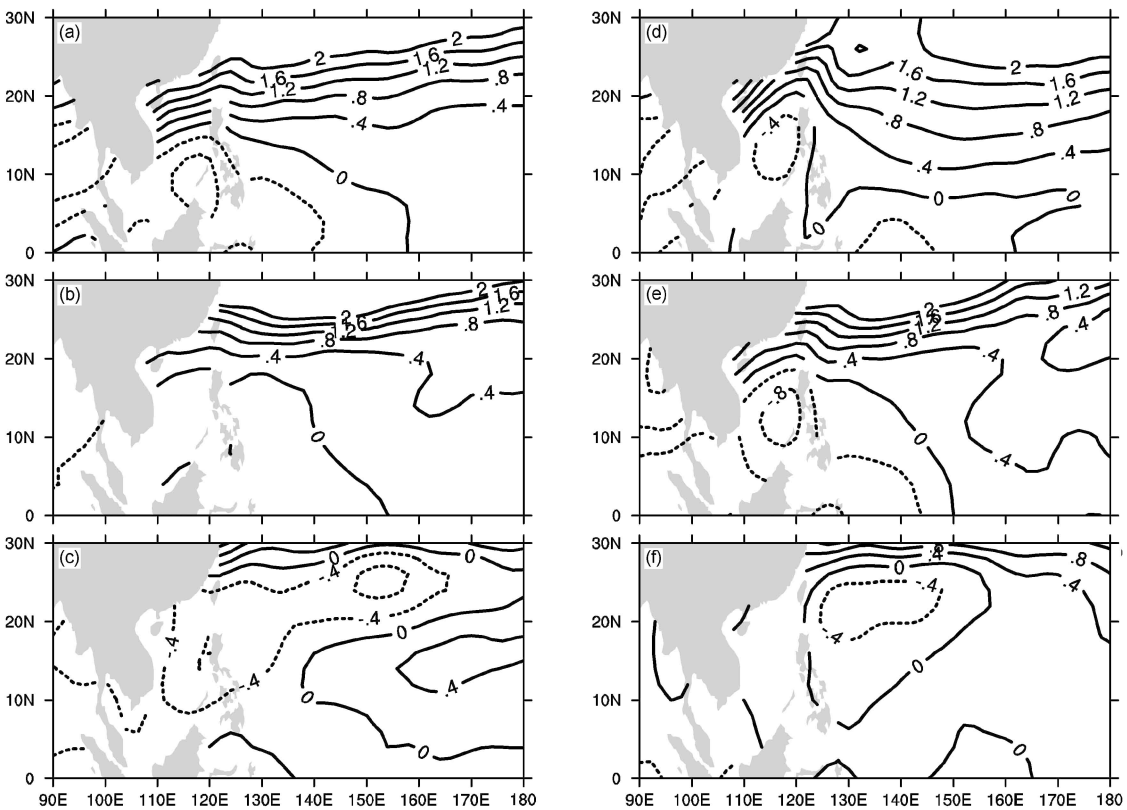

图 12　同图 6，但为 1984 年和 1985 年

Fig. 12　Same as Fig. 6, but for 1984 and 1985

因此，1984 年和 1985 年暖池对流的季节内变化与上一节中强 La Niña 事件完全不同，6 月和 8 月对流偏强而 7 月偏弱，对流变化呈现显著的季节内振荡。在此过程中，暖池地区局地海气相互作用主导了对流的季节内变化，形成 6 月和 8 月对流异常的正相关，这是一种海温和对流以及太阳辐射之间的负反馈过程，海温异常超前对流异常约一个月（Xue and Fan, 2019; 薛峰等, 2020）。但与经典的 Madden-Julian 振荡不同，这种振荡并不存在明显的向东传播，而是以局地振荡为主（Wang et al., 2018）。

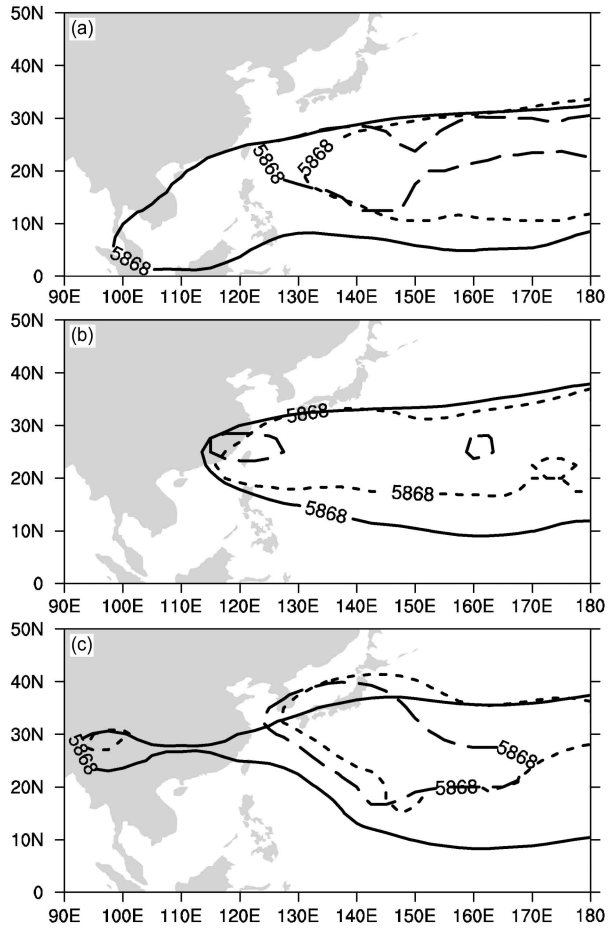

图 13 （a）6 月、（b）7 月、（c）8 月西太平洋副热带高压分布（以 5868 gpm 等值线表示，单位：gpm）。实线、长虚线和短虚线分别代表气候平均、1984 年和 1985 年

Fig. 13 The western Pacific subtropical high (units: gpm) represented by 5868 gpm contour in (a) Jun, (b) Jul, and (c) Aug. The solid, long-dashed, and short-dashed contours represent the climatological mean subtropical high and the subtropical high in 1984 and 1985

对应于暖池对流的异常变化，副高也呈现出显著的季节内变化（图 13）。由于对流偏强，这两年副高强度明显偏弱，因此以 5868 gpm 等值线来替代通常所用的 5880 gpm 来表示副高的范围。6 月副高偏东偏弱，两年差异不大，但 7 月两年副高有很大差异，1984 年由于台湾以东洋面对流偏强，副高很弱并呈分裂状态，而 1985 年则接近气候平均。8 月副高变化与 6 月类似，但偏北更为显著。

由于副高偏东偏弱，不利于夏季水汽输送到中国东部和高纬度地区，东亚地区夏季降水明显偏少（图 14），由于暖池对流偏强，降水主要位于南海到菲律宾以东洋面。需要特别注意的是，在 1984～1985 年超长 La Niña 事件过程中，中国东部出现了连续两年夏季大范围降水偏少的情况，其影响较一般 La Niña 事件更为严重。

5 小结和讨论

本文选取了 1984～1985 年和 1999～2000 年两次超长 La Niña 事件，两次事件的强度有明显区别，其中前者为中等强度，而后者的强度则明显偏强，属于强 La Niña 事件。对强事件而言，由于春季暖池海温偏高，6～8 月间暖池对流总体上偏强，但最大异常在 7 月，副高的变化与暖池对流变化一致，这与 La Niña 事件合成结果一致，说明 La Niña 信

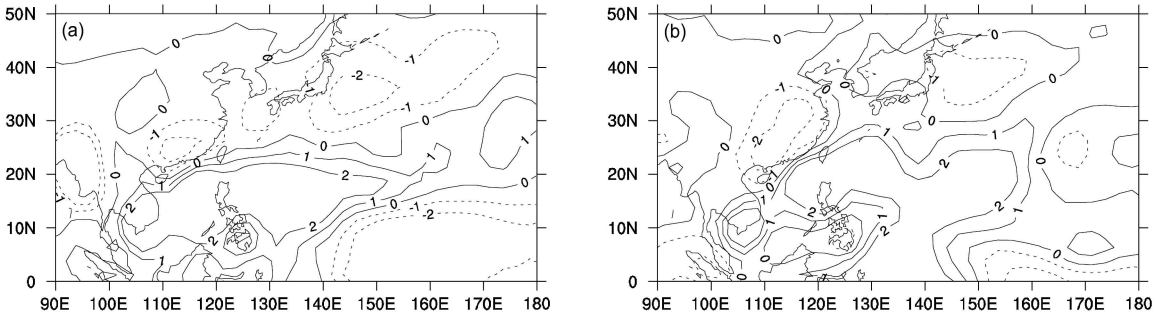

图 14 （a）1984 年和（b）1985 年东亚地区夏季平均降水异常分布（单位：mm/d）

Fig. 14 Mean rainfall anomaly in the East Asian summer (mm/d) in (a) 1984 and (b) 1985

号主导了东亚夏季风的季节内变化。与此不同的是，在 1984～1985 年事件中，6 月和 8 月暖池对流偏强，7 月偏弱，这种双峰型异常与暖池地区局地海气相互作用有关。当前一个月海温偏高时，造成后一个月暖池对流偏强，但偏强的对流又减弱了太阳辐射并使局地海温降低，反过来抑制了暖池对流发展，这是一种局地海温与对流之间的负反馈过程，其中海温超前对流变化约一个月。对中等强度 La Niña 事件而言，局地海气相互作用主导了暖池对流和东亚夏季风的季节内变化，这与 La Niña 事件合成结果有较大差异。因此，虽然两种强度 La Niña 事件中副高均偏东偏弱，但季节内变化有很大差异，其成因也完全不同。比较两次事件还可以看到，东亚夏季风季节内的异常变化主要与 La Niña 事件强度特别是 6 月暖池对流强度有关，但与 La Niña 事件持续时间关系不大。

需要强调指出的是，虽然局地海气相互作用受 La Niña 信号影响，但二者是两种不同性质的信号，前者主要调制夏季暖池对流的季节内变化，时间尺度约为 1 个月，而 La Niña 的时间尺度很长，并通过影响暖池海温来影响夏季对流的异常变化。此外，局地海气相互作用的影响并不依赖于 ENSO 的位相，即使在 El Niño 衰减年，局地海气相互作用对暖池对流季节内变化仍有重要影响（段欣妤等, 2020）。例如，2016 年是一个强 El Niño 衰减年，由于 El Niño 的强迫影响，该年春季热带印度洋偏暖，6～7 月对流偏强，抑制了同期暖池对流的发展。另一方面，对流偏弱反过来造成太阳辐射增强，局地海温升高，当 8 月印度洋对流减弱之后，局地海气相互作用造成 8 月对流逆转为增强（薛峰等, 2020）。

两次超长 La Niña 事件中东亚夏季风均呈现出显著异常，表现为暖池对流偏强，副高偏东偏弱，不利于水汽输送到中国大陆，中国东部降水总体上偏少。特别是，1984～1985 年期间中国东部夏季出现了连续两年大范围少雨，需要引起高度重视。另一方面，由于副高偏东，导致副高与中国东部夏季降水的关系不如 El Niño 衰减年密切，多雨区仅局限于个别地区，这与以前个例分析的结果类似（薛峰, 2008）。因此，虽然 La Niña 信号对副高异常有较好的预报意义，但对中国东部夏季降水异常的预报价值是有限的。

与 El Niño 衰减年相比，La Niña 对东亚夏季风的影响总体上偏弱，但 La Niña 事件的准确预测包括持续时间和强度仍然有助于东亚夏季风的预测。另外，6 月暖池对流的异常强度对 7～8 月暖池对流异常变化有预测意义，如 1984 年和 1999 年 6 月暖池对流均偏强，但前者的异常强度要远大于后者，从而造成 1984 年 7 月对流偏弱，而 1999 年 7 月对流则继续发展。如文中所述，6 月对流发展与春季暖池局地海温偏高有关，但 1984 年海温异常强度与 1999 年并无明显差异，这说明 6 月对流强度还与其他因子如南半球环流变化引起的越赤道气流动力强迫有关（苏同华和薛峰, 2010），具体影响过程需要进一步研究，这对提高东亚夏季风预测水平有重要意义。考虑到 La Niña 年东亚夏季风存在显著的季节内变化，除传统的季节预测外，加强东亚夏季风的季节内预测也有助于提高预测水平。

参考文献（References）

段欣好, 薛峰, 郑飞. 2020. El Niño 衰减年夏季西太平洋副热带高压的季节内变化 [J]. 大气科学, 44(6): 1364−1376.　Duan Xinyu, Xue Feng, Zheng Fei. 2020. Intraseasonal variation of the western Pacific subtropical high during El Niño decaying summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 44(6): 1364−1376. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2005.19196

Hu Z Z, Kumar A, Xue Y, et al. 2014. Why were some La Niñas followed by another La Niña? [J]. Climate Dyn., 42(3): 1029−1042. doi:10.1007/s00382-013-1917-3

Huang B Y, Thorne P W, Banzon V F, et al. 2017. Extended reconstructed sea surface temperature, version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons [J]. J. Climate, 30(20): 8179−8205. doi:10.1175/JCLI-D-16-0836.1

Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. 2002. NCEP-DOE AMIP-Ⅱ reanalysis (R-2) [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 83(11): 1631−1643. doi:10.1175/BAMS-83-11-1631

Liebmann B, Smith C A. 1996. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77(6): 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

McPhaden M J, Zhang X B. 2009. Asymmetry in zonal phase propagation of ENSO sea surface temperature anomalies [J]. Geophys. Res. Lett, 36(13): L13703. doi:10.1029/2009GL038774

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. doi:10.2151/jmsj1965.65.3_373

Okumura Y M, Deser C. 2010. Asymmetry in the duration of El Niño and La Niña [J]. J. Climate, 23(21): 5826−5843. doi:10.1175/2010JCLI3592.1

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 Sciences (in Chinese), 34(3): 611−628. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2010.03.13

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;2

Wang T Y, Yang X Q, Fang J B, et al. 2018. Role of air–sea interaction in the 30−60-day boreal summer intraseasonal oscillation over the western North Pacific [J]. J. Climate, 31(4): 1653−1680. doi:10.1175/JCLI-D-17-0109.1

Xie P P, Arkin P A. 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78(11): 2539−2558. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<2539:GPAYMA>2.0.CO;2

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

Xue F, Zhao J J. 2017. Intraseasonal variation of the East Asian summer monsoon in La Niña years [J]. Atmos. Oceanic Sci. Lett., 10(2): 156−161. doi:10.1080/16742834.2016.1254008

Xue F, Fan F X. 2019. Role of local air–sea interaction in a significant correlation of convective activity in the western Pacific warm pool between June and August [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 97(5): 995−1008. doi:10.2151/jmsj.2019-054

薛峰, 范方兴, 苏同华. 2020. 西太平洋暖池对流三类显著月际变化及其成因 [J]. 气候与环境研究, 25(2): 113−124. Xue Feng, Fan Fangxing, Su Tonghua. 2020. Three categories of significant inter-monthly variations of the warm pool convection in the western Pacific and the related physical mechanism [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 25(2): 113−124. doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2019.19139

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