

南方涛动年际变化与夏季亚澳季风环流及海洋性大陆区域气候异常的联系

张萌萌,管兆勇*,张奔奔

南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心,江苏 南京 210044

* 联系人, E-mail: guanzy@nuist.edu.cn

2018-11-28 收稿, 2018-12-10 接受

国家自然科学基金重点资助项目(41330425); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406024); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

摘要 利用美国 NOAA 卫星观测的 SOI(Southern Oscillation Index, 南方涛动指数)资料以及 NCEP/NCAR、CMAP 月平均资料,采用相关分析等方法,研究了南方涛动年际变化与夏季亚澳季风环流及海洋性大陆区域气候异常的联系。结果表明:南方涛动具有显著的年际变化特征,这种年际变化对夏季亚澳季风区及海洋性大陆区域的环流、降水及温度异常有重要影响。当 SOI 正位相时,赤道以南的澳大利亚东部地区以及西北太平洋海域高层为气旋,低层为反气旋,赤道地区的东部太平洋低层为辐散中心,高层为辐合中心,有利于下沉运动维持;加里曼丹岛附近低层辐合,高层辐散,有利于上升运动维持;海洋性大陆地区降水为显著的正异常,东亚地区降水存在较弱的正异常;海洋性大陆地区以及我国青藏高原到东海一带温度为正异常,孟加拉湾及印度半岛区域温度为负异常。

关键词

南方涛动;
亚澳季风环流;
海洋性大陆;
年际变化;
气候异常

众所周知,海洋对大气环流以及长期天气气候变化有着不容忽视的影响,发生在赤道东太平洋的 ENSO 现象尤为重要。ENSO 现象作为海洋变化的强信号,对全球范围的气候异常都有明显的影响(陈佩燕等,2001)。Walker and Bliss(1932)首先提出了南方涛动(Southern Oscillation, SO)的概念。南方涛动指数(Southern Oscillation Index, SOI)被定义为太平洋塔希提岛与澳大利亚达尔文港之间每月气压距平差,是描写 ENSO 现象的重要指标。研究表明,南方涛动指数除了显示出显著的年代际变化外,还存在年际变化,表明其在很宽的频带上都有显著的周期(石伟和王绍武,1989)。涂方旭和梁振海(1988)通过对南方涛动指数进行功率谱、熵谱以及方差分析认为逐月南方涛动指数除了年变化非常显著之外,最显著的周期是 5~6 a。南方涛动的强弱

对我国夏季降水的雨带位置有着重要的影响,南方涛动偏弱,我国夏季雨带位置偏北,反之,位置偏南(赵振国和廖荃荪,1991)。

亚澳季风环流尤其是东亚夏季风环流可从太平洋和印度洋携带充沛的水汽到陆地并形成降水。由于降水的多寡可引起大范围的旱涝灾害,并给季风区经济带来严重损失,因而已有不少研究分析了 ENSO 对亚洲夏季风的影响。研究表明,在 El Niño 年南亚夏季风较弱,而在 La Niña 年南亚夏季风较强(陶诗言和张庆云,1998)。ENSO 事件在发展的不同阶段对东亚夏季风有不同影响,在 El Niño 发展位相的夏季,华北降水偏少易发生干旱,江淮流域降水偏多,容易形成洪涝;而在衰减期,我国江南北部的鄱阳湖、洞庭湖和湘江流域等地区降水偏多,往往产生严重洪涝。El Niño 年衰减期对东亚夏季风

引用格式:张萌萌,管兆勇,张奔奔,2019.南方涛动年际变化与夏季亚澳季风环流及海洋性大陆区域气候异常的联系[J].大气科学学报,42(1):36-45.

Zhang M M, Guan Z Y, Zhang B B, 2019. Interannual variation of Southern Oscillation and its association with Asia-Australian monsoon circulation and regional climate anomaly in the Maritime Continent during boreal summer [J]. Trans Atmos Sci, 42(1): 36-45. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20181128002. (in Chinese).

的影响更显著(Huang and Wu,1989;陈文,2002)。

海洋性大陆(Maritime Continent, MC)位于亚洲-印度洋-太平洋交汇区内,其被定义在 $90^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 、 $10^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$,由若干岛屿与浅海组成(Ramage, 1968)。这一区域具有独特的物理和气候特征,且全年对流活动旺盛,季风活动显著。海洋性大陆地区从海洋环流上阻挡了热带太平洋与印度洋的联系但又从大气环流上将它们联系了起来(吴国雄和孟文,1998;Alexander et al.,2002)。MC地区的海温变化受到澳洲季风和亚洲季风的影响,而其海温异常也影响到对流活动、越赤道气流等(Zhou et al.,2009)。同时,MC地区的气候变动与ENSO存在密切联系(Lau and Chan,1983;Mcbride et al.,2003;陈蔚和管兆勇,2016)。不同海温分布型对MC区域降水的影响存在差异(汪婉婷和管兆勇,2018)。夏季东部型ENSO与海洋性大陆降水存在非常弱的负相关(方陆俊等,2016)。而当夏季中部型海表温度正异常时间发生时,海洋性大陆核心区域出现显著降水和气温负异常(王悦等,2017)。

综上所述,针对ENSO与全球气候异常联系的研究已有大量基础(黄荣辉等,1996;李庆祥和屠其璞,2000;谌芸和施能,2003;邱明宇等,2004;梁萍等,2008;冯娟等,2010;Dai,2011;Zhang et al.,2015),其与亚澳季风以及海洋性大陆区域气候异常有着重要的联系。然而,就南方涛动变化及其与亚澳季风及MC地区气候异常的联系而言,尚缺更为深入的分析。那么,SOI的年际变化与亚澳季风以及海洋性大陆地区气候异常间存在何种联系呢?本文将对此进行深入研究。

1 资料与方法

采用的资料包括:1)NCEP/NCAR再分析数据集,变量为月平均海平面气压、降水、风场、水汽、位势高度,格点分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$;2)英国哈德莱中心海表温度资料,水平分辨率 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$;3)美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的逐月SOI资料。选取的时间为1960—2016年夏季(6—8月)。

小波分析是进行周期分析的重要工具(Lau and Weng,1995;Torrence and Compo,1998),本文采用Morlet小波变换,分析了SOI的主要特征周期,进一步分析南方涛动的年际及年代际变化特征。为了突出年际变率,对所有资料进行9a滑动平均,滤除8a以上的年代际特征。此外还采用了滑动相关分析、回归分析、相关分析和显著性检验等统计分析方

法,研究了南方涛动年际变化与夏季亚澳季风环流及海洋性大陆区域气候异常的联系。

2 南方涛动的年际变化

对1960—2016年夏季SOI、Darwin港的海平面气压距平(Sea Level Pressure Anomaly, SLPA)序列以及Tahiti岛的海平面气压距平序列的年代际时间尺度进行分量滤波处理,提取SOI、Darwin港的海平面气压距平序列以及Tahiti岛的海平面气压距平序列的年际变化分量(图1a、1c、1e)。为了分析夏季南方涛动数变化的时间尺度特征,还对夏季SOI以及Darwin港和Tahiti岛的SLPA序列进行了小波分析(图1b、1d、1f)。可见,夏季SOI的年际变化特征较为显著。在1990年之前主要以4~6a的周期为主,同时也存在2~4a的周期;在1990年之后,变化为以8~16a的周期为主,同时存在2~4a的周期(图1b)。Darwin港的SLPA序列的显著功率谱集中在2~4a频带内,1974—1984年功率谱最强,另外一个较强的时段出现在1996—2000年。此外Darwin港的SLPA序列还存在10~16a的年代际变化特征(图1d)。Tahiti岛的SLPA序列的功率谱在1970年之前以及1990年之后表现为较强的10~16a的周期,1970—2010年兼具存在4~6a周期,2010年以后变化为2~4a周期(图1f)。

通过三者功率谱对比,1990年之前SOI具有显著的4~6a的年际变化特征,由于1990年之前Tahiti岛SLPA序列的年际及年代际特征不显著,因此该阶段的年际变化特征这主要受Darwin港的SLPA的2~4a的年际变化特征影响。而在1990年之后,SOI存在8~16a的年代际变化特征,这主要受到Tahiti岛SLPA序列在1990年之后表现出的10~16a的年代际变化特征的影响。

3 南方涛动指数的年际变化与亚澳地区大气环流的联系

图2和图3分析了1960—2016年SOI、Darwin港的SLPA以及Tahiti岛的SLPA的年际变化序列与同期SLPA以及位势高度距平场的相关系数。三个指数与同期SLPA相关系数表现为东西反位相的特征,SOI与Tahiti岛的SLPA与同期SLPA场相关系数表现为东高西低(图2a、2c),Darwin港的SLPA序列的相关系数为东低西高(图2b)。Tahiti岛的相关系数正相关的大值中心范围较SOI相关系数的更广,而负的大值中心范围较SOI的小。

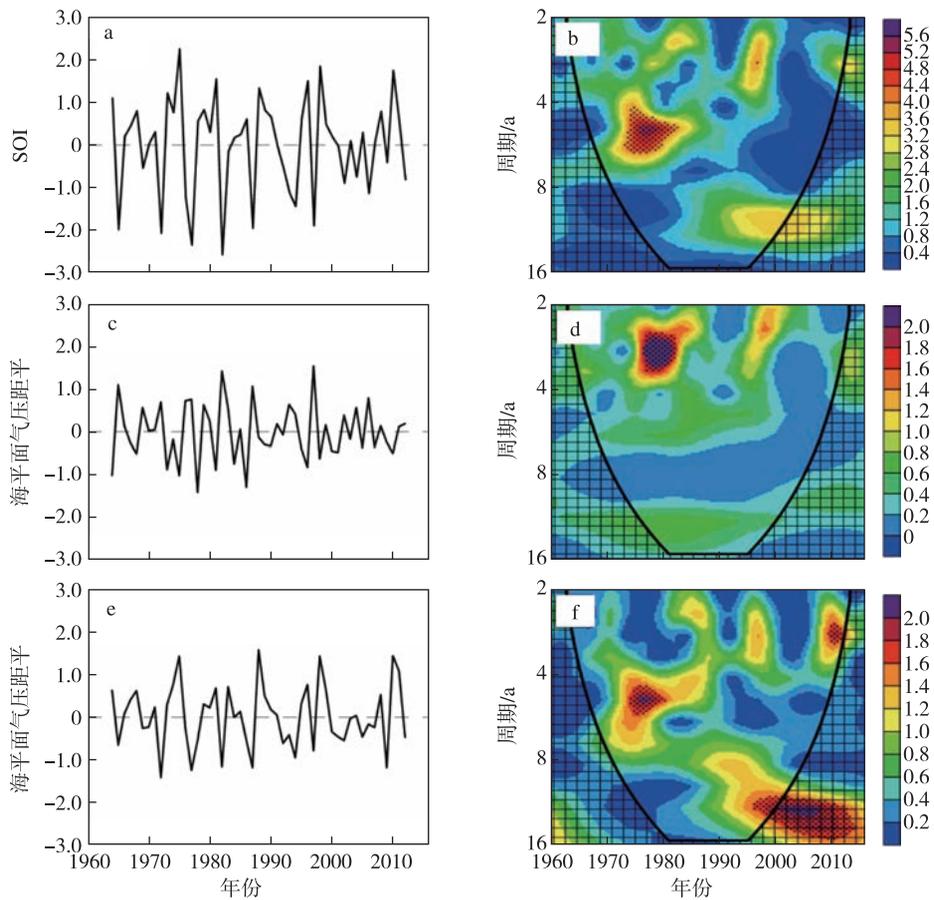


图1 1960—2016年SOI(a,b)、Darwin港的海平面气压距平(c,d)以及Tahiti岛的海平面气压距平(e,f)的标准化时间序列(a,c,e)及其小波分析结果(b,d,f;阴影区表示小波频次,单位:次)

Fig.1 (a,c,e) Normalized time series of (a,b) SOI, (c,d) sea level pressure anomaly (SLPA) at Darwin, and (e,f) SLPA at Tahiti during 1960—2016, and (b,d,f) their wavelet analysis results (Shaded areas represent wavelet frequencies with the unit of time)

Darwin 港的相关系数负值中心偏向于赤道东太平洋。三个指数与同期位势高度距平的相关系数可见,当SOI为正位相时,东亚-澳大利亚从南到北表现为正-负-正三个正负相间的高度距平带(图3a),Tahiti岛SLPA序列正位相时分布相似,但正相关系数范围更广,负相关带较小(图3c)。Darwin港SLPA正位相时,东亚-澳大利亚从南到北为负-正-负的位势高度距平分布(图3b)。

850 hPa和200 hPa高度上辐散风和流函数对三个指数的回归系数分布(图4)可见,当SOI为正位相时,赤道以南的澳大利亚东部地区以及东海东部的太平洋海域高层为气旋,低层反气旋,赤道地区的东部太平洋低层为辐散中心,高层为辐合中心,这有利于下沉运动。加里曼丹岛附近低层辐合,高层辐散,有利于该地区的上升运动维持(图4a、4b),这种配置有利于Walker环流圈的维持(图5a)。

Darwin港SLPA为正位相时,环流分布与SOI正位相时相反,加里曼丹岛附近低层受反气旋控制,气流辐散,高层气旋控制,气流辐合,有利于该地区的下沉运动。赤道太平洋地区低层气旋,气流辐合,高层反气旋,气流辐散,有利于上升运动(图4c、4d)。垂直环流圈表现为西升东降的环流形势(图5b)。Tahiti岛SLPA正位相时,环流分布与SOI正位相一致(图4e、4f、5c)。

4 南方涛动指数的年际变化与海洋性大陆地区气候的联系

计算了1960—2016年SOI、Darwin港的海平面气压距平以及Tahiti岛的海平面气压距平的年际变化序列与同期降水异常以及水汽通量及其散度的相关系数(图6、7)。可见,Tahiti岛SLPA序列为正位相时与SOI为正位相时分布相似,均表现为海洋性

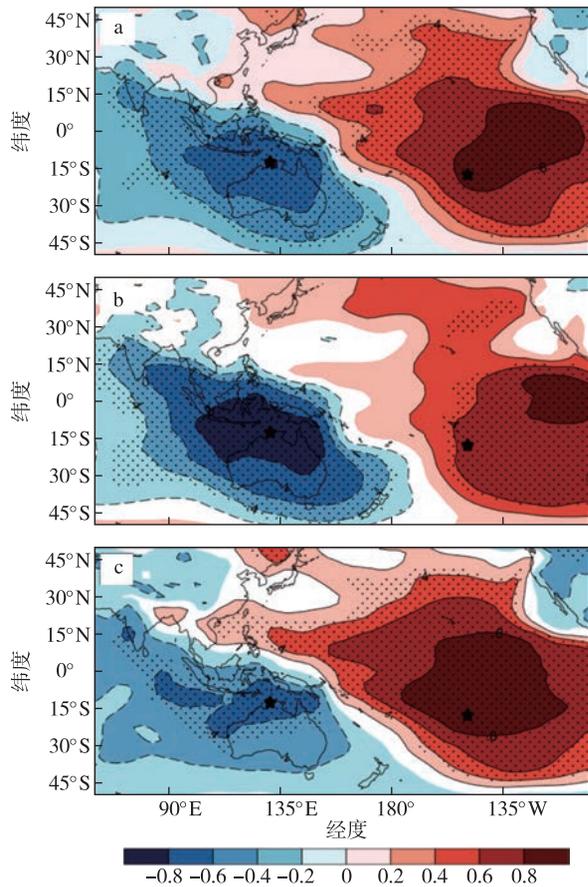


图2 1960—2016年SOI(a)、Darwin港的海平面气压距平(b)以及Tahiti岛的海平面气压距平(c)的年际变化序列与同期SLPA场的相关系数分布(Darwin站相关系数乘以-1处理;带点区域表示通过99%置信度的显著性水平检验;星形为太平洋塔希提岛与澳大利亚达尔文港)

Fig.2 Distributions of simultaneous correlation coefficients of time series of (a) SOI, (b) SLPA at Darwin, and (c) SLPA at Tahiti with SLPA fields during 1960—2016 (Correlation coefficients at Darwin are multiplied by -1. Stippled areas indicate the coefficients significant at 99% confidence level. Stars are Tahiti Island in the Pacific and Darwin Port in Australia)

大陆以及东亚地区为降水的正异常,且海洋性大陆地区降水正异常尤为显著。赤道中太平洋地区为降水负异常,另外两个较显著的负值中心出现在澳大利亚西部海域以及日本以东太平洋地区(图6a、6c)。Darwin港SLPA序列为正位相时,降水异常分布与SOI正位相时相反(图6b)。从水汽通量及其散度图中可以看到SOI正位相时,海洋性大陆东部太平洋地区存在水汽的辐散,辐散中心南部的偏东气流一部分向南将水汽从太平洋地区输送至海洋

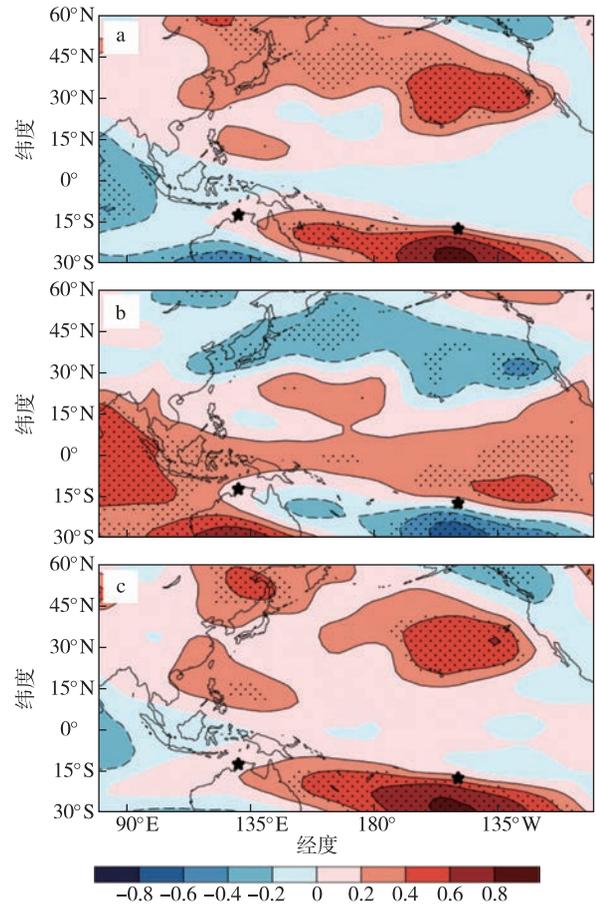


图3 1960—2016年SOI(a)、Darwin港的海平面气压距平(b)以及Tahiti岛的海平面气压距平(c)的年际变化序列与同期500 hPa位势高度距平场的相关系数分布(带点区域表示通过99%置信度显著性水平检验;星形为太平洋塔希提岛与澳大利亚达尔文港)

Fig.3 Distributions of simultaneous correlation coefficients of time series of (a) SOI, (b) SLPA at Darwin, and (c) SLPA at Tahiti with 500 hPa geopotential height anomaly fields during 1960—2016 (Stippled areas indicate the coefficients significant at 99% confidence level. Stars are Tahiti Island in the Pacific and Darwin Port in Australia)

性大陆地区,从而造成海洋性大陆地区水汽辐合,有利于降水的增多,还有一小部分向北将水汽输送至东亚地区,有利于造成东亚地区降水的增多。此外,澳大利亚偏南地区存在水汽辐散,辐散中心西北部的西南气流将水汽从印度洋输送至澳大利亚西部,有利于该地区降水的异常增多(图7a)。这与图6的降水分布结果相一致。Darwin港SLPA正位相时与SOI正位相时情况相反(图7b)。Tahiti岛SLPA正位相时分布与SOI相一致,但海洋性大陆东部太平洋地区以及澳大利亚西部印度洋地区的辐

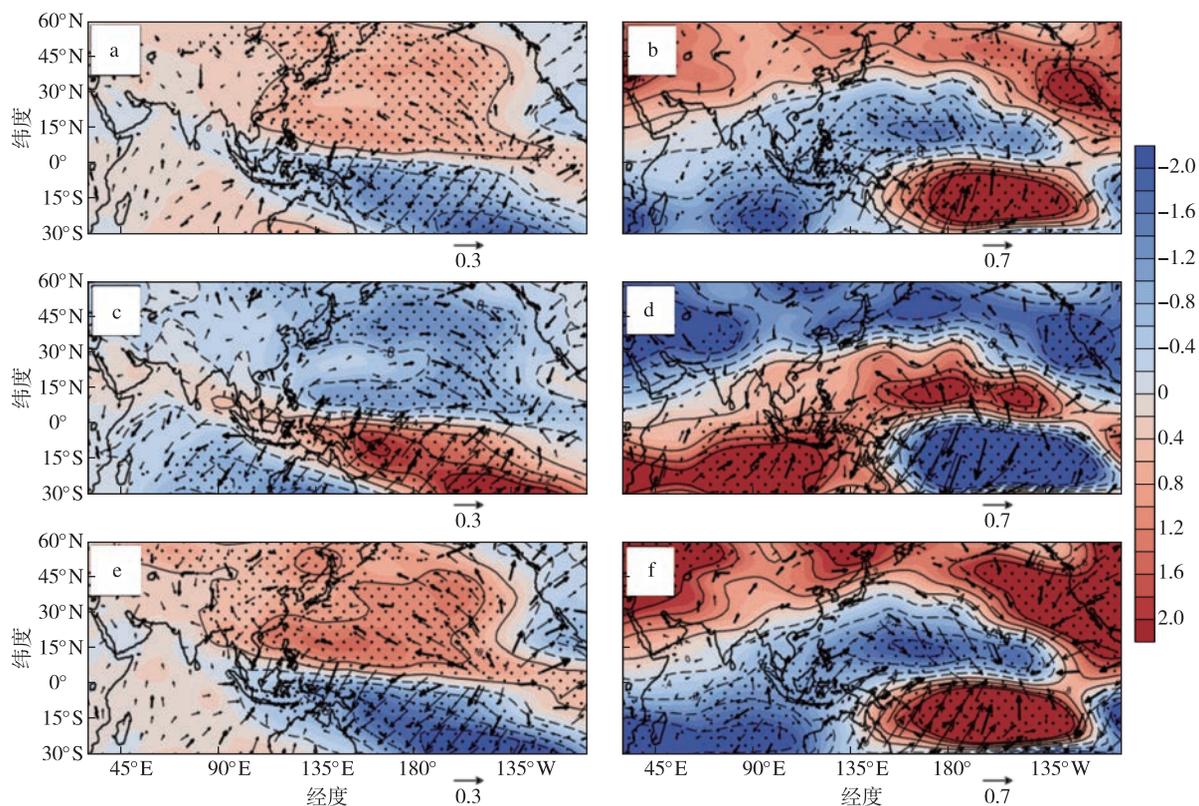


图4 1960—2016年夏季850 hPa(a、c、e)和200 hPa(b、d、f)辐散风(箭头;单位: $m/(s \cdot hPa)$)及流函数(阴影区;单位: $m/(s \cdot hPa)$)向SOI(a、b)、Darwin港的海平面气压距平(c、d)以及Tahiti岛的海平面气压距平(e、f)的年度变化序列的回归系数分布(粗箭头表示辐散风 $u、v$ 分量均通过99%置信度的显著性水平检验;带点区域表示流函数通过99%置信度显著性水平检验)

Fig.4 Regression coefficients of divergence winds (arrows; units: $m/(s \cdot hPa)$) as well as stream functions (shaded areas; units: $m/(s \cdot hPa)$) at (a, c, e) 850 hPa and (b, d, f) 200 hPa onto time series of (a, b) SOI, (c, d) SLPA at Darwin, and (e, f) SLPA at Tahiti in summer during 1960—2016 (Bold arrows indicate the coefficients of divergence winds significant at 99% confidence level. Stippled areas indicate the coefficients of stream functions significant at 99% confidence level)

散相对较弱(图7c)。

1960—2016年SOI、Darwin港的海平面气压距平以及Tahiti岛的海平面气压距平的年度变化序列与同期气温异常的相关系数可见图8。当SOI为正位相时,海洋性大陆地区为显著的温度正异常,中心位于新几内亚岛附近,我国的青藏高原到东海一带亦温度正异常,而孟加拉湾及印度半岛区域为温度负异常。Tahiti岛SLPA序列的相关分布相似,海洋性大陆地区的正相关相对较弱,正值中心范围较小且相对偏北。Darwin港SLPA序列的相关系数分布与SOI相反。

5 结论与讨论

通过分析南方涛动年际变化与夏季亚澳季风环流及海洋性大陆区域气候异常的联系,得到以下结论:

1) 夏季SOI的年际变化特征较为显著,在1990

年之前主要以4~6 a的周期为主,1990年之后,以8~16 a的周期为主。特别有趣的是,Darwin港的SLPA序列的显著功率谱集中在2~4 a频带内;而Tahiti岛的SLPA序列的功率谱在1970年前以及1990年后表现为较强的10~16 a的周期。

2) 南方涛动年际变化对亚澳季风环流有着重要影响。SOI正位相时,与SLPA相关系数从西至东为负-正分布,500 hPa高度场东亚-澳大利亚表现为正-负-正三个正负相间的高度距平带。赤道以南的澳大利亚东部地区以及东海东部的太平洋海域高层为气旋,低层反气旋。赤道地区东部太平洋气流下沉,加里曼丹岛附近气流上升。

3) 南方涛动年际变化对亚海洋性大陆区域气候也有着重要影响。SOI正位相时,海洋性大陆东部太平洋地区水汽辐散中心南部的偏东气流一部分向南将水汽从太平洋地区输送至海洋性大陆地区,一部分向北将水汽输送至我国东亚地区从而造成该

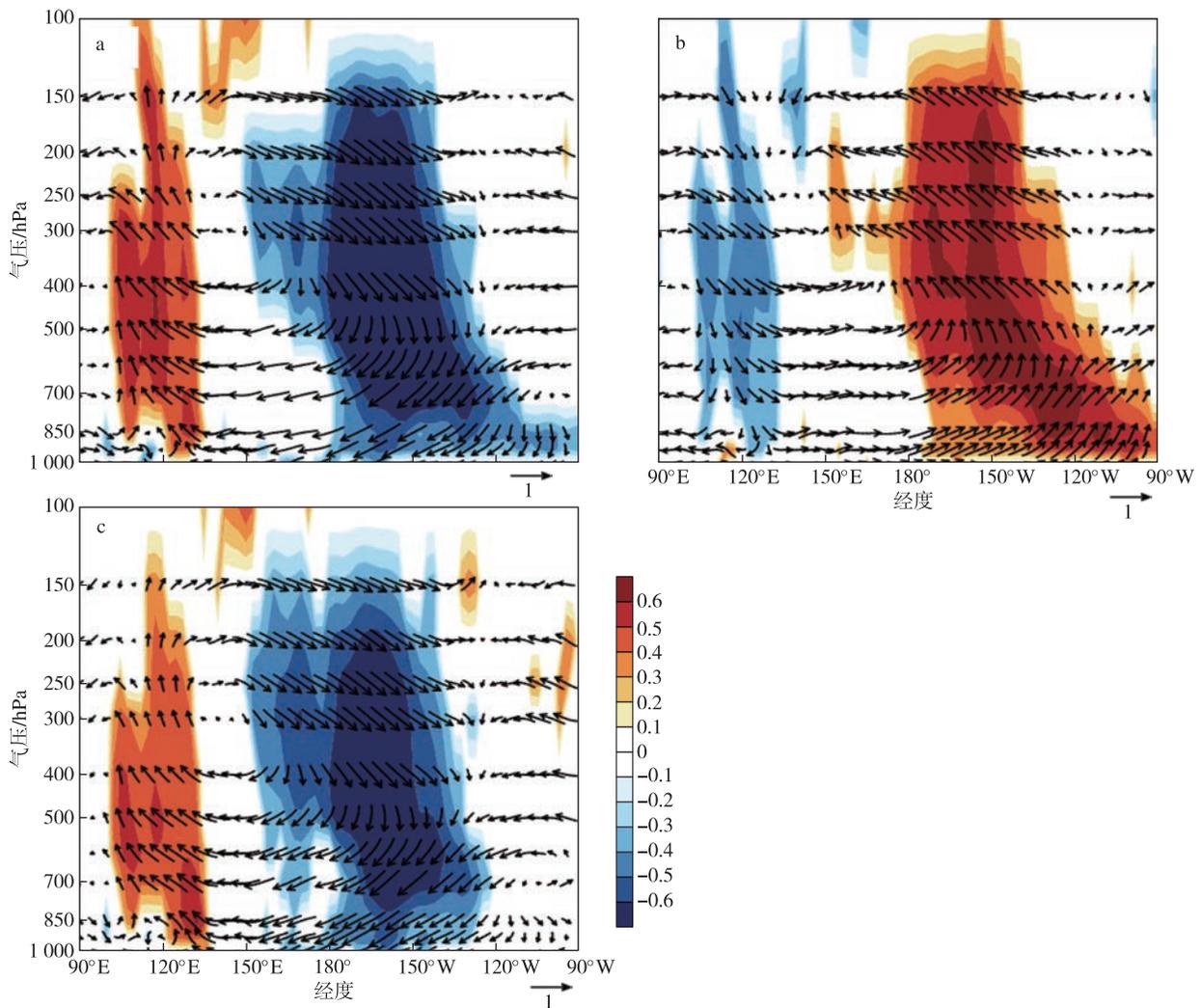


图5 1960—2016年SOI(a)、Darwin港的海平面气压距平(b)以及Tahiti岛的海平面气压距平(c)的年际变化序列与同期垂直环流场的相关系数分布(阴影区表示垂直速度通过99%置信度的显著性水平检验)

Fig.5 Distributions of simultaneous correlation coefficients of time series of (a) SOI, (b) SLPA at Darwin, and (c) SLPA at Tahiti with vertical circulation fields during 1960—2016 (Shaded areas indicate the coefficients significant at 99% confidence level)

地区降水的增多;温度场来看,海洋性大陆地区以及我国青藏高原到东海一带温度为正异常,孟加拉湾及印度半岛区域为温度负异常。

综上所述,南方涛动年际变化对夏季亚澳季风区及海洋性大陆区域的环流、降水及温度异常存在密切的联系。然而要说明的是,热带太平洋的海平面气压的变化对区域气候异常有着重要的作用,因而热带东、西太平洋的海平面气压对亚澳季风环流

的不同作用还需在后续工作中进一步讨论。本文是基于SOI以及Darwin港和Tahiti岛SLPA序列进行分析,经计算Darwin港及Tahiti岛SLPA相关系数为0.39,而滤除ENSO信号后,二者相关系数降为-0.04,基本为不相关。那么滤除ENSO信号后,二者的气压变化对环流以及亚澳地区气候的影响如何?下一步工作计划将针对独立于ENSO的两个测站气压变化对环流异常的影响进行相关讨论。

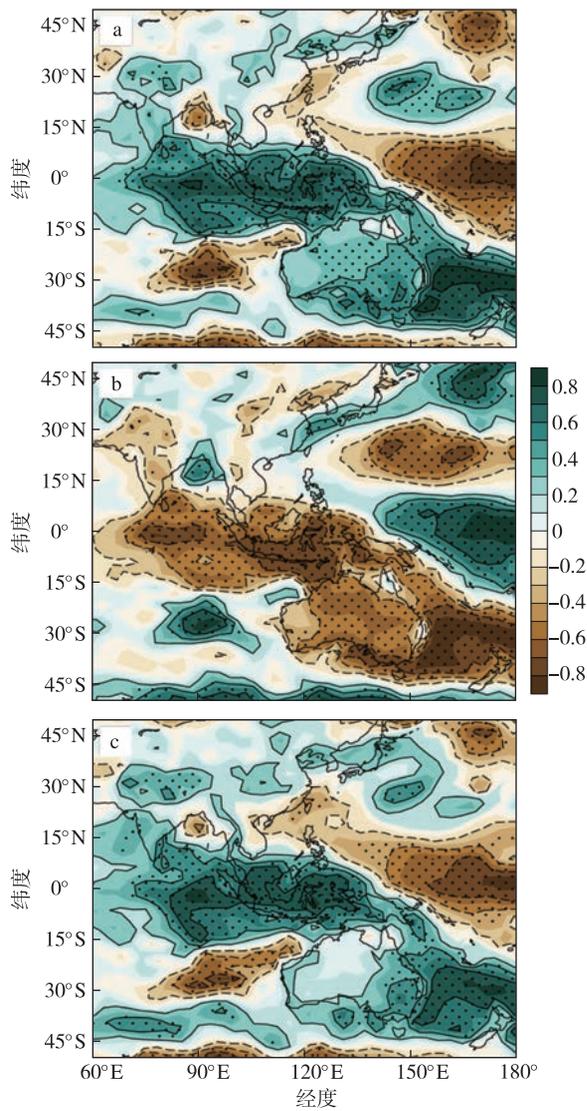


图6 1960—2016年SOI(a)、Darwin港的海平面气压距平(b)以及Tahiti岛的海平面气压距平(c)的年度变化序列与同期降水距平场的相关系数分布(带点区域表示通过99%置信度的显著性水平检验)

Fig.6 Distributions of simultaneous correlation coefficients of time series of (a) SOI, (b) SLPA at Darwin, and (c) SLPA at Tahiti with precipitation anomaly fields during 1960—2016 (Stippled areas indicate the coefficients significant at 99% confidence level)

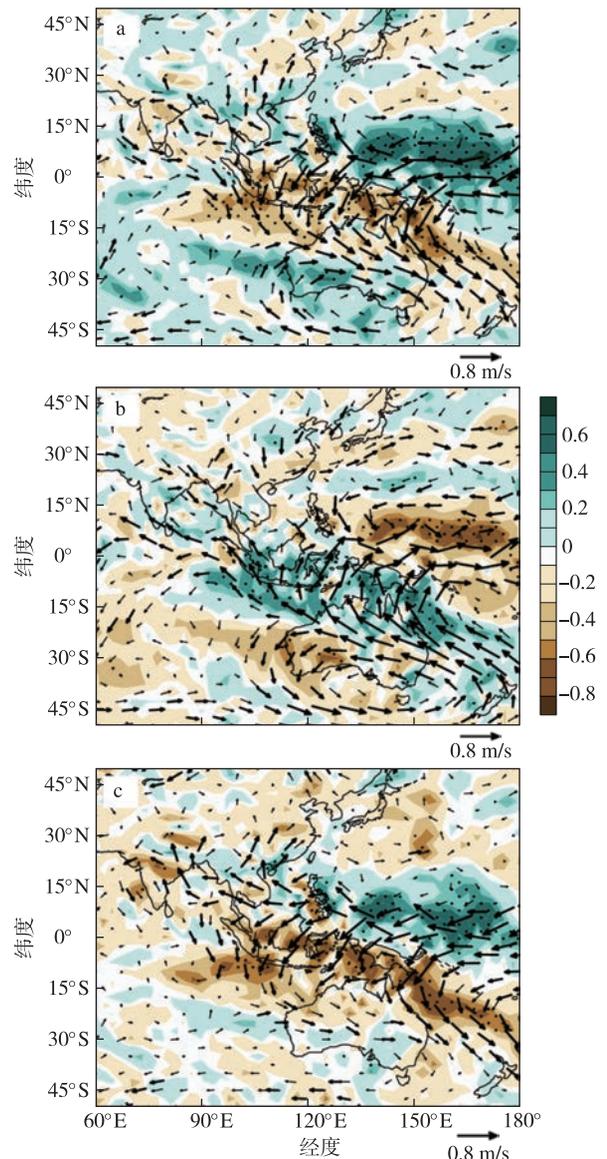


图7 1960—2016年SOI(a)、Darwin港的海平面气压距平(b)以及Tahiti岛的海平面气压距平(c)的年度变化序列与同期水汽通量(箭头)及水汽通量散度(阴影区)的相关系数分布(带点区域表示水汽通量散度通过99%置信度的显著性水平检验;粗箭头表示水汽通量的 u, v 分量均通过99%置信度的显著性水平检验)

Fig.7 Distributions of simultaneous correlation coefficients of time series of (a) SOI, (b) SLPA at Darwin, and (c) SLPA at Tahiti with vapor fluxes (arrows) as well as their divergences (shaded areas) during 1960—2016 (Stippled areas indicate the coefficients of vapor flux divergences significant at 99% confidence level. Bold arrows indicate the coefficients of vapor fluxes significant at 99% confidence level)

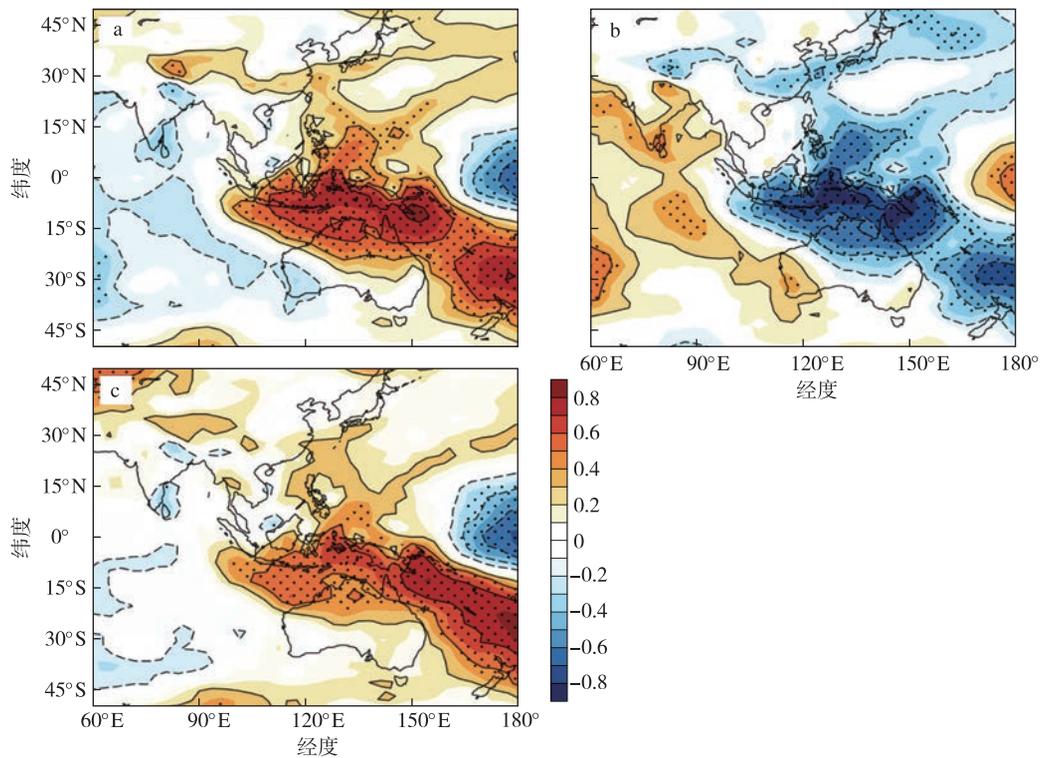


图 8 1960—2016 年 SOI (a)、Darwin 港的海平面气压距平 (b) 以及 Tahiti 岛的海平面气压距平 (c) 的年际变化序列与同期气温距平场的相关系数分布 (带点区域表示通过 99% 置信度的显著性水平检验)

Fig.8 Distributions of simultaneous correlation coefficients of time series of (a) SOI, (b) SLPA at Darwin, and (c) SLPA at Tahiti with temperature anomaly fields during 1960—2016 (Stippled areas indicate the coefficients significant at 99% confidence level)

参考文献 (References)

- Alexander M A, Bladé I, Newman M, et al., 2002. The atmospheric bridge: the influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans [J]. *J Climate*, 15(16): 2205-2231.
- 陈佩燕, 倪允琪, 殷永红, 2001. 近 50 年来全球海温异常对我国东部地区冬季温度异常影响的诊断研究 [J]. *热带气象学报*, 17(4): 371-380.
- Chen P Y, Ni Y Q, Yin Y H, 2001. Diagnostic study on the impact of the global sea surface temperature anomalies on the winter temperature anomalies in eastern China in past 50 years [J]. *J Trop Meteor*, 17(4): 371-380. (in Chinese).
- 陈蔚, 管兆勇, 2016. 2015/2016 年超强 El Niño 在成熟/衰减阶段对澳洲夏季季风环流与降水异常的影响 [J]. *大气科学学报*, 39(6): 801-812.
- Chen W, Guan Z Y, 2016. Impacts of the super El Niño event in 2015/2016 on Australian summer monsoon circulation and precipitation anomalies [J]. *Trans Atmos Sci*, 39(6): 801-812. (in Chinese).
- 陈文, 2002. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响 [J]. *大气科学*, 26(5): 595-610. Chen W, 2002. Impacts of el El Niño and La Niña on the cycle of the east Asian winter and summer monsoon [J]. *Chin J Atmos Sci*, 26(5): 595-610. (in Chinese).
- Dai A G, 2011. Drought under global warming: a review [J]. *WIREs Clim Change*, 2(1): 45-65.
- 冯娟, 管兆勇, 王黎娟, 等, 2010. 夏季热带中太平洋 SST 异常型与中国东部夏季气候异常的关系 [J]. *大气科学学报*, 33(5): 547-554. Feng J, Guan Z Y, Wang L J, et al., 2010. Impact of central equatorial Pacific SSTA pattern on precipitation and temperature in East China in summer [J]. *Trans Atmos Sci*, 33(5): 547-554. (in Chinese).
- 方陆俊, 管兆勇, 王美, 等, 2016. 北半球夏季海洋性大陆区域气候与 EP 型 ENSO: 直接与间接联系 [J]. *大气科学学报*, 39(3): 289-299. Fang L J, Guan Z Y, Wang M, et al., 2016. Influences of eastern Pacific-type ENSO on climate variations over the Maritime Continent region: direct and indirect connections [J]. *Trans Atmos Sci*, 39(3): 289-299. (in Chinese).
- 黄荣辉, 傅云飞, 臧晓云, 1996. 亚洲季风与 ENSO 循环的相互作用 [J]. *气候与环境研究*, 1(1): 38-54. Huang R H, Fu Y F, Zang X Y, 1996. Asian monsoon and ENSO cycle interaction [J]. *Climatic Environ Res*, 1(1): 38-54. (in Chinese).
- Huang R H, Wu Y F, 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism [J]. *Adv Atmos Sci*, 6(1): 21-32.
- Lau K M, Weng H Y, 1995. Climate signal detection using wavelet transform: how to make a time series sing? [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 76(12):

- 2391-2402.
- Lau K M, Chan P H, 1983. Short-term climate variability and atmospheric teleconnections from satellite-observed outgoing longwave radiation. part II: lagged correlations [J]. *J Atmos Sci*, 40(12): 2751-2767.
- 梁萍, 丁一汇, 何金海, 2008. 长江下游夏季降水与东亚夏季风及春季太平洋海温的关系 [J]. *高原气象*, 27(4): 772-777. Liang P, Ding Y H, He J H, 2008. Relations between summer rainfall over the lower reach of yangtze river and east Asian summer monsoon as well as sea surface temperature over the Pacific in spring [J]. *Plateau Meteor*, 27(4): 772-777. (in Chinese).
- 李庆祥, 屠其璞, 2000. 南方涛动极端位相对北半球降水的影响及其周期性讨论 [J]. *大气科学学报*, 23(2): 182-190. Li Q X, Tu Q P, 2000. Effect of so extreme phases on northern precipitation with its periodicity [J]. *Trans Atmos Sci*, 23(2): 182-190. (in Chinese).
- Mcbride J L, Haylock M R, Nicholls N, 2003. Relationships between the Maritime Continent heat source and the El Niño-Southern Oscillation phenomenon [J]. *J Climate*, 16(17): 2905-2914.
- 邱明宇, 陆维松, 陶丽, 2004. ENSO事件对中高纬大气低频振荡的调频作用 [J]. *大气科学学报*, 27(3): 365-373. Qiu M Y, Lu W S, Tao L, 2004. Frequency modulation effect of ENSO events on atmospheric low-frequency oscillations in the extra-tropical latitudes [J]. *Trans Atmos Sci*, 27(3): 365-373. (in Chinese).
- Ramage C S, 1968. Role of a tropical "Maritime Continent" in the atmospheric circulation I [J]. *Mon Wea Rev*, 96(6): 365-370.
- 谌芸, 施能, 2003. 厄尔尼诺/南方涛动与我国秋季气候异常 [J]. *热带气象学报*, 19(2): 137-146. Shen Y, Shi N, 2003. El Niño/ENSO and climatic anomaly in the autumn of China [J]. *J Trop Meteor*, 19(2): 137-146. (in Chinese).
- 石伟, 王绍武, 1989. 1857—1987年南方涛动指数 [J]. *气象*, 15(5): 29-33. Shi W, Wang S W, 1989. Southern oscillation index, 1857—1897 [J]. *Meteor Mon*, 15(5): 29-33. (in Chinese).
- 陶诗言, 张庆云, 1998. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应 [J]. *大气科学*, 22(4): 399-407. Tao S Y, Zhang Q Y, 1998. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 22(4): 399-407. (in Chinese).
- Torrence C, Compo G P, 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 79(1): 61-78.
- 涂方旭, 梁振海, 1988. 南方涛动指数的显著周期分析 [J]. *广西气象*, 9(3): 8-12. Tu F X, Liang Z H, 1988. The notable cycle of Southern oscillation index [J]. *Guangxi Meteor*, 9(3): 8-12. (in Chinese).
- Walker G T, Bliss E W, 1932. World weather [J]. *V Mem Roy Meteor Soc*, 4(1): 53-84.
- 汪婉婷, 管兆勇, 2018. 夏季厄尔尼诺-Modoki 和东部型 ENSO 海表温度异常分布型特征及其与海洋性大陆区域气候异常的联系 [J]. *气象学报*, 76(1): 1-14. Wang W T, Guan Z Y, 2018. The SSTA patterns of El Niño Modoki and eastern Pacific ENSO and their association with regional climate variation in the Maritime Continent during boreal summer [J]. *Acta Meteor Sinica*, 76(1): 1-14. (in Chinese).
- 王悦, 管兆勇, 方陆俊, 等, 2017. 夏季海洋性大陆区域气候与赤道太平洋中部型海温异常的直接和间接联系 [J]. *气象学报*, 75(4): 552-563. Wang Y, Guan Z Y, Fang L J, et al., 2017. Relationship between the Maritime Continent climate anomalies and equatorial central Pacific SSTA during boreal summer: direct and indirect links [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 75(4): 552-563. (in Chinese).
- 吴国雄, 孟文, 1998. 赤道印度洋-太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件 I: 资料分析 [J]. *大气科学*, 1998, 22(4): 470-480. Wu G X, Meng W, 1998. Gearing between the Indo-monsoon circulation and the Pacific-walker circulation and the ENSO. Part I: data analyses [J]. *Chin J Atmos Sci*, 22(4): 470-480 (in Chinese).
- Zhang R H, Li T R, Wen M, et al., 2015. Role of intraseasonal oscillation in asymmetric impacts of El Niño and La Niña on the rainfall over southern China in boreal winter [J]. *Clim Dyn*, 45(3/4): 559-567.
- 赵振国, 廖荃荪, 1991. 南方涛动与我国夏季降水 [J]. *气象*, 17(6): 33-37. Zhao Z G, Liao Q S, 1991. Correlations between SO and rainfall in the summer of China [J]. *Meteor Mon*, 17(6): 33-37. (in Chinese).
- Zhou T J, Wu B, Wang B, 2009. How well do atmospheric general circulation models capture the leading modes of the interannual variability of the Asian-Australian monsoon? [J]. *J Climate*, 22(5): 1159-1173.

Interannual variation of Southern Oscillation and its association with Asia-Australian monsoon circulation and regional climate anomaly in the Maritime Continent during boreal summer

ZHANG Mengmeng, GUAN Zhaoyong, ZHANG Benben

Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

Based on the Southern Oscillation Index (SOI) from NOAA and the monthly mean data from NCEP/NCAR Reanalysis and CMAP, using correlation analysis and other methods, this paper investigated the interannual variation of SO (Southern Oscillation) and its association with Asian-Australian monsoon circulation and regional climate variation in the Maritime Continent during boreal summer. Results show that SO has significant interannual variation characteristics, which has important influences on the circulation, precipitation and temperature anomalies over Asian-Australian monsoon region and the Maritime Continent during boreal summer. When SOI is in positive phase, there is a cyclonic circulation in the upper troposphere and an anticyclonic circulation in the lower troposphere over eastern Australia and eastern sea area south of the equator. As the result the lower tropospheric divergence and upper tropospheric convergence over the region of Pacific north of the equator facilitate the maintenance of descending motion. The lower tropospheric convergence and upper tropospheric divergence near Kalimantan Island are favorable for the maintenance of ascending motion. The precipitation anomalies are significant positive in the maritime continent and weak positive in eastern China. The temperature anomalies are positive in the maritime continent and from Tibetan Plateau to East China Sea and negative over Bay of Bengal and Indian Peninsula. The results are helpful for our deeply understanding the influence mechanism of SO on regional climate variation.

Southern Oscillation; Asia-Australian monsoon circulation; Maritime Continent; interannual variation; climate anomaly

doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20181128002

(责任编辑:袁东敏)