

张福颖,潘爱军,范伶俐. 中国南方冬雨与 El Niño 事件相关关系的年代际差异及其成因[J]. 海洋气象学报, 2018, 38(4): 38-44.

Zhang Fuying, Pan Aijun, Fan Lingli. Interdecadal differences in correlations between the winter precipitation over the southern China and El Niño events and their causes [J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(4): 38-44. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.04.005. (in Chinese)

中国南方冬雨与 El Niño 事件相关关系的年代际差异及其成因

张福颖¹, 潘爱军², 范伶俐³

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 九江市气象局, 江西 九江 332000; 3. 广东海洋大学, 广东 湛江 524088)

摘要: 利用 1961—2016 年中国 160 站逐月降水资料和 NCEP/NCAR 再分析资料, 采用统计学方法分析了中国南方冬雨与 El Niño 事件相关关系的年代际差异及其成因。结果表明: 1) 1961—2016 年南方冬雨年际变化显著, 且降水量呈现阶段性变化, 1961—1988 年为少雨期, 1989—2016 年为多雨期。2) El Niño 事件与南方冬雨之间的相关关系存在年代际差异。1961—1988 年 El Niño 事件冬季, 500 hPa 上中国东部地区位势高度距平的经向差异很小, 不利于冷空气向南推进, 850 hPa 上中国南方南风距平偏小, 来自孟加拉湾和南海的水汽较难向中国南方地区输送, 且中国南方地区受下沉运动异常影响, 对流发展受抑制, 故南方冬雨偏少; 1989—2016 年 El Niño 事件冬季, 500 hPa 上中国东部地区位势高度距平的经向梯度较大, 有利于冷空气向南推进, 850 hPa 上南海北部到中国东部出现异常的西南风, 有利于孟加拉湾和南海的暖湿气流向中国南方地区输送, 且中国南方地区受上升运动异常控制, 有利于对流发展, 故南方冬雨偏多。

关键词: 中国南方; 冬季降水; El Niño 事件; 年代际差异

中图分类号: P466 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)04-0038-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.04.005

Interdecadal differences in correlations between the winter precipitation over the southern China and El Niño events and their causes

ZHANG Fuying¹, PAN Aijun², FAN Lingli³

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiujiang Meteorological Bureau, Jiujiang 332000, China; 3. Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract Based on the monthly precipitation data from 160 stations in China and the NCEP/NCAR reanalysis data from 1961 to 2016, the interdecadal differences in correlations between the winter precipitation over the southern China and El Niño events and their causes are studied using statistical analysis methods. Results show that: 1) The winter precipitation over the southern China has obvious interannual variations from 1961 to 2016 and presents the characteristics of periodic change with a dry period from 1961 to 1988 and a rainy period from 1989 to 2016. 2) There are interdecadal differences in correlations between the winter precipitation over the southern China and El Niño events during the two periods. In winter of El Niño events from 1961 to 1988, the meridional gradient of geopotential height anomaly at 500 hPa over the eastern China is small, which is not conducive to the southward intrusion of the cold air. The south wind velocity anomaly at 850 hPa over the southern China is very small, it is difficult for the water vapor from the Bay of Bengal and the South China Sea to transport to the southern

收稿日期: 2018-06-27; 修订日期: 2018-09-03

基金项目: 广东海洋大学“创新强校工程”建设项目(GDOU2016050245); 国家重点基础研究发展计划项目(2015CB453201)

作者简介: 张福颖, 博士, 副教授, 《大气科学学报》副主编, 主要从事海气相互作用及其气候影响研究, zhangfuying81@126.com。

China, and the southern China is controlled by anomalous downward movement, which is not beneficial to convection development. Therefore, the winter precipitation is less. In winter of El Niño events from 1989 to 2016, the meridional gradient of geopotential height anomaly at 500 hPa over the eastern China is greater, which is conducive to the southward intrusion of the cold air. The southwest wind anomaly at 850 hPa from the northern part of the South China Sea to the eastern China helps transport the warm and wet air from the Bay of Bengal and the South China Sea to the southern China. The southern China is controlled by anomalous upward movement, which is beneficial to convection development. As a result, the winter precipitation is more.

Key words southern China; winter precipitation; El Niño event; interdecadal difference

引言

东亚冬、夏季风系统是影响中国天气气候的主要因子^[1-4]。冬季降水对农业生产和人民生活等多方面有着重要影响,伴随着社会和经济不断发展,冬季降水多寡引起了广泛关注。受冬季风影响的中国冬季降水,不仅具有年代际变化,而且具有明显的年际变化特征^[5-6]。某些年份冬季,降水异常偏多甚至带来冬汛,而另一些年份冬季,降水异常偏少导致干旱,对社会秩序和人们生活造成了严重影响^[7]。如2008年1月中旬至2月初中国南方出现了50 a一遇的低温雨雪冰冻极端天气过程^[8],2015年冬季华南地区(广东、广西、海南三省区)平均降水量达历史第一,较常年偏多1.6倍以上^[9],它们对农业、养殖业、电力传输和交通运输等均造成了极大影响,带来了重大经济损失;20世纪90年代以来,华南地区的干旱灾害发生也十分频繁^[10]。

由于南方是中国冬季的主要降水区,也是降水年际变化明显的区域,南方冬季降水是影响越冬作物生长和春季农耕的重要因子,所以对南方冬季降水的研究十分重要。现有研究表明中国南方地区冬季降水异常与冬季风和 ENSO 密切相关。郭其蕴和王日生^[11]认为 El Niño (La Niña) 年冷空气路径偏东(西),中国南方多(少)雨。陶诗言和张庆云^[12]、陈文^[13]研究发现,在 ENSO 暖(冷)期冬季,亚洲上空的环流型不利(有利)于寒潮向南爆发,亚洲冬季风弱(强),东亚大槽强度比常年偏弱(偏强),导致华南和青藏高原冬季降水为正(负)距平。曾剑等^[14]分析了中国南方冬季降水对冬季风响应的空间分布型及其在冬季各月的差异,认为响应区的空间分布可以从地形和地势分布解释,响应区的时间变化与 850 hPa 的风场有关。Wang et al.^[15]提出在 ENSO 的强盛期,菲律宾海附近对流层下层为

反气旋距平,该异常反气旋促使南海地区南风增强。Wu et al.^[16]指出 ENSO 事件导致西北太平洋环流异常,从而带来华南降水异常。

上述分析有助于深入了解南方冬季降水异常机制,然而由于南方冬季降水影响因子复杂,而不同时间段的 El Niño 事件与南方冬季降水的关系尚不清楚。因此,深入探讨中国南方冬雨与 El Niño 事件相关关系的年代际差异及其可能原因,对于中国南方冬季降水预测预报以及指导人们生产生活具有重要意义。本文将考察不同时段背景下,El Niño 事件盛期冬季中国南方降水的变化特征及其成因,为进一步研究中国南方冬季旱涝的机理提供观测事实和诊断基础。

1 资料

采用中国气象局国家气候中心提供的 160 站逐月降水资料和 NCEP/NCAR 大气环流月平均再分析资料(空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$)。El Niño 事件界定引用中国气象局国家气候中心对 1961 年以来 El Niño 事件的分类结果。

研究时段为 1961—2016 年,冬季指 12 月、1 月和 2 月。计算气象要素距平的气候平均值,采用 1961—2016 年算术平均值。将 $108^\circ \sim 123^\circ \text{E}$ 、 $23^\circ \sim 33^\circ \text{N}$ 范围定义为中国南方^[17]。

2 中国南方冬雨的演变特征

用冬季降水占全年降水的百分比表示冬雨对该地区年降水的贡献,其值越大表示冬雨对农业生产的影响越大。图 1 为 12 月—次年 2 月气候平均降水量占全年降水量的百分比分布。由图 1 可知,百分比大于 10% 的区域主要位于长江以南地区,最大值位于湖南、广东和广西交界处(江南西部),超过 14%,表明该地区冬雨对年降水量的贡献大,冬雨异常可能会造成严重的旱涝灾害。为描述方便,

以下将该地区 ($108^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$, $23^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$) 的冬雨简称为南方冬雨。

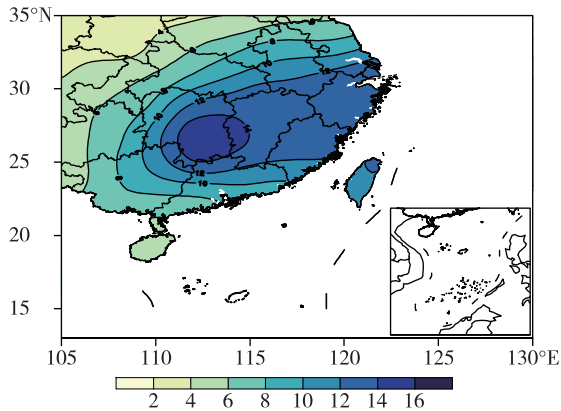


图1 中国南方冬季气候平均降水量占全年降水量的百分比(单位:%)

Fig.1 Percentages of the climatological mean precipitation in winter (December, January and February) in the annual precipitation in the southern China (units: %)

将 $108^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$, $23^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ 范围平均的冬季降水量定义为南方冬雨指数,南方冬雨指数气候平均值(1961—2016年)为 159 mm,均方差为 49 mm。由其 1961—2016 年时间序列(图 2a)可见:南方冬雨年际变化显著;冬雨指数的阶段性变化特征明显,1961—1988 年是冬雨偏少时段(平均值为 144 mm),1989—2016 年是冬雨偏多时段(平均值为 173 mm);两个时段的平均降水量相差 29 mm,超过气候平均值的 19%,阶段性差异明显。南方冬雨指数的 MK (Mann-Kendall) 检验结果(图略)表明,南方冬雨指数没有通过突变检验,即没有发生显著的年代际变化,然而其阶段性变化明显。由图 2 可见:南方冬雨有明显的年际变化特征,1998 年降水量最大(312 mm),降水距平为 153 mm,1963 年降水量最少(65 mm),降水距平为 -93 mm;在 56 a 中,有 23 a 为正降水距平,其中 16 a 处在 1989—2016 年,为南方冬雨偏多时段,有 33 a 为负降水距平,其中 21 a 处在 1961—1988 年,为南方冬雨偏少时段。

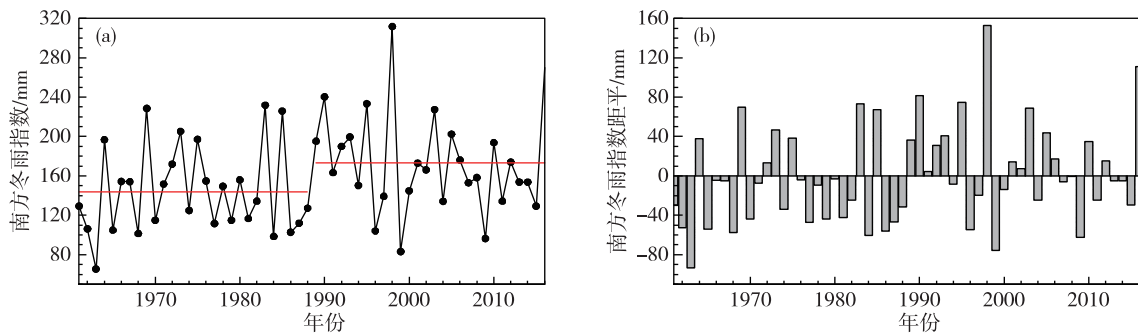


图2 1961—2016年中国南方冬雨指数(a;红线分别为1961—1988年、1989—2016年时段的平均值)及其距平(b)的年际变化(单位:mm)

Fig.2 Interannual variations of the winter precipitation index (a; red lines denote the average values from 1961 to 1988 and from 1989 to 2016, respectively) and its anomaly (b) in the southern China from 1961 to 2016 (units: mm)

El Niño 事件对中国四季降水都有影响^[18-19]。结合 1961 年以来冬季 El Niño 事件(表 1)可以发现:1988 年之前有 11 a 发生 El Niño 事件,其中 7 a 为南方冬雨负异常年(1966、1970、1977、1978、1980、1987、1988 年),4 a 为正异常年(1964、1969、1973、1983 年);1988 年之后有 9 a 发生 El Niño 事件,其中 7 a 为正异常年(1992、1995、1998、2003、2005、2010、2016 年),2 a 为负异常年(2007、2015 年)。因此,本文将中国南方冬雨分为 1961—1988 年(28 a)和 1989—2016 年(28 a)两个时段来探讨中国南方冬雨与 El Niño 事件相关关系的年代际差异及其成因。

3 不同阶段 El Niño 事件与南方冬雨关系的年代际差异

将表 1 中 20 个 El Niño 事件分为 1961—1988 年和 1989—2016 年两个时段,讨论其对应的中国南方冬季降水差异。由 1961—1988 年与 1989—2016 年 El Niño 事件冬季中国南方降水的差值分布(图 3a)可见,1989—2016 年 El Niño 事件(表 1 中序号 12—20 的 El Niño 事件)相较于 1961—1988 年 El Niño 事件(表 1 中序号 1—11 的 El Niño 事件)对应的中国南方冬季降水明显增多。由图 3b、c 可见,1961—1988 年和 1989—2016 年 El Niño 事件冬季

中国南方降水与 Niño3 指数的相关系数均呈现了“北负南正”的偶极分布,但相较于 1961—1988 年,1989—2016 年中国南方冬季降水与 Niño3 指数正相关系数区域以及通过 0.05 信度的显著性检验区域明显增大。综上所述,与 1961—1988 年时段相比,1989—2016 年时段 El Niño 事件对应中国南方冬雨明显增多。

表 1 1961 年以来的冬季 El Niño 事件^[20]

Table 1 The El Niño events in winter since 1961^[20]

序号	年份	冬季 Niño3 指数/°C
1	1964	1.1
2	1966	1.4
3	1969	1.1
4	1970	0.5
5	1973	1.8
6	1977	0.7
7	1978	0.7
8	1980	0.6
9	1983	2.2
10	1987	1.2
11	1988	0.8
12	1992	1.7
13	1995	1.0
14	1998	2.2
15	2003	0.9
16	2005	0.6
17	2007	0.7
18	2010	1.5
19	2015	0.6
20	2016	2.5

注:将冬季 Niño3 指数(150°~90°W,5°S~5°N)大于等于 0.5 °C 的年份定义为 El Niño 年。

4 环流成因分析

降水形成需要满足水汽供应和上升运动两个条件^[21]。南方冬雨的差异必然与异常的水汽输送和大气的异常辐合辐散运动有关,而水汽输送和上升运动异常是由大范围的大气环流异常造成的。本文针对 1961—1988 年和 1989—2016 年两个时段,分析 El Niño 事件对应的冬季环流特征和水汽输送条件,探究 El Niño 事件在这两个时段与南方冬雨之间关系的年代际差异的可能原因。

4.1 500 hPa 位势高度场

1961—1988 年 El Niño 事件冬季,500 hPa 位势高度场上,25°N 以南位势高度为负距平,欧亚大陆位势高度呈现“北正南负”的距平分布(图 4a);中国东部地区位势高度距平的经向差异很小,冬季风偏弱,不利于冷空气向南推进,该环流配置不利于中国南方地区降水发生。1989—2016 年 El Niño 事件冬季,500 hPa 位势高度场上,整个欧亚大陆为正距平,中国南方地区位势高度距平与 Niño3 指数正相关系数通过 0.05 信度的显著性检验(图 4b);中国东部地区位势高度距平的经向梯度较大,冬季风偏强,有利于冷空气向南推进,该环流配置有利于中国南方地区降水发生。

4.2 850 hPa 风场与 500 hPa 垂直速度场

1961—1988 年 El Niño 事件冬季,850 hPa 上菲律宾以东洋面有一个反气旋性异常环流,其北之西北太平洋有一个气旋性异常环流;中国南方地区有一弱的气旋性异常环流,南风距平偏小,来自孟加拉湾和南海的水汽较难向中国南方地区输送(图 5a)。同时,500 hPa 垂直运动场上,中国南方地区

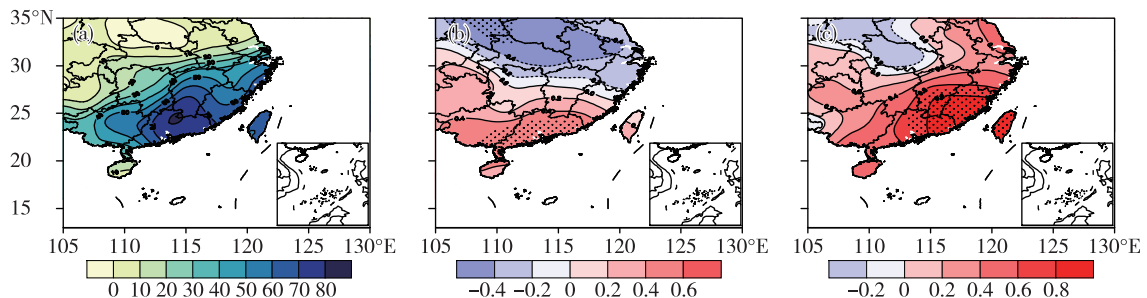


图 3 1961—1988 年与 1989—2016 年 El Niño 事件冬季中国南方降水的差值分布(a;单位:mm)以及 1961—1988 年(b)和 1989—2016 年(c) El Niño 事件冬季中国南方降水与 Niño3 指数的相关系数分布(点阴影区表示通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig.3 Precipitation difference (a; units: mm) in the southern China in winter of El Niño events between the period from 1961 to 1988 and the period from 1989 to 2016, and correlation coefficients between the precipitation and Niño3 index in winter of El Niño events from 1961 to 1988 (b) and from 1989 to 2016 (c) (shaded areas with points indicate the coefficients passing the significance test at 0.05 level)

垂直速度为正值,且存在正异常,受下沉运动异常

影响,对流发展受抑制(图5b)。

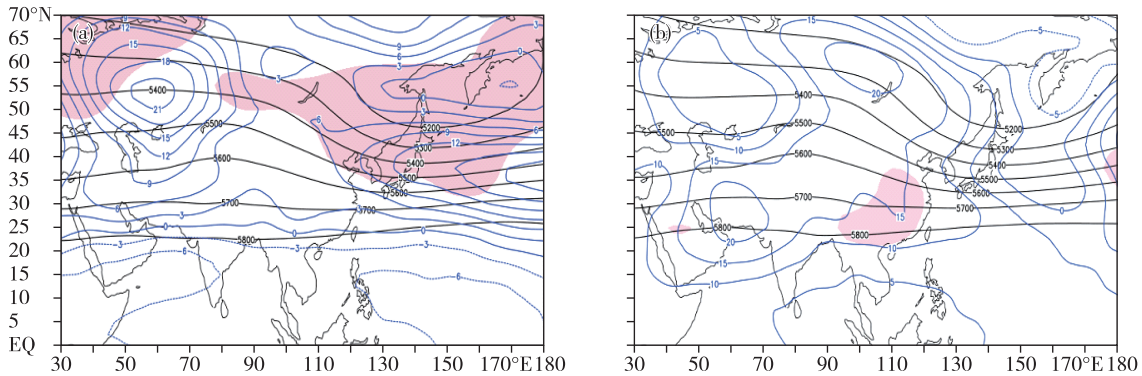


图4 1961—1988年(a)和1989—2016年(b)El Niño事件冬季500 hPa位势高度(黑色等值线)及其距平(蓝色等值线)(单位:gpm;填色区表示位势高度距平与Niño3指数的相关系数通过0.05信度的显著性检验)

Fig.4 Geopotential height (black isoline) at 500 hPa and its anomaly (blue isoline) in winter of El Niño events from 1961 to 1988 (a) and from 1989 to 2016 (b) (units: gpm, colored areas indicate the correlation coefficients between the geopotential height anomaly and Niño3 index passing the significance test at 0.05 level)

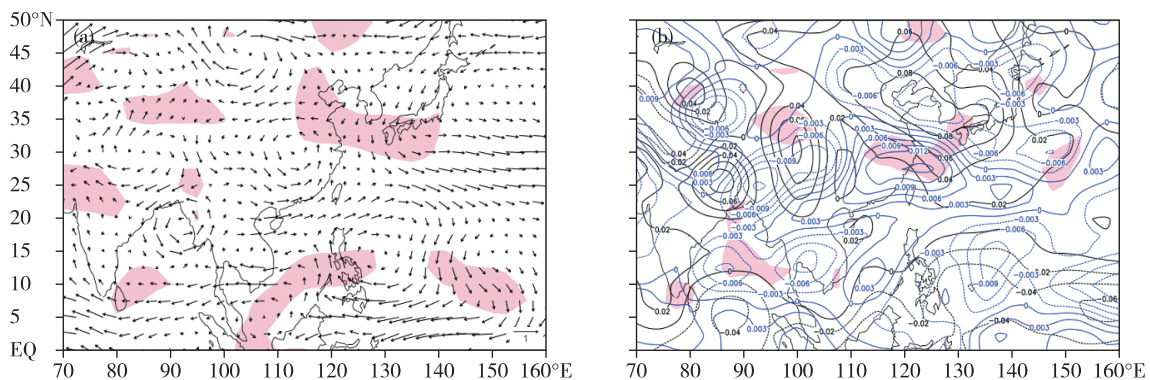


图5 1961—1988年El Niño事件冬季850 hPa风速距平场(a;箭头,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;填色区表示水平风速距平与Niño3指数的相关系数通过0.05信度的显著性检验)和500 hPa垂直速度(黑色等值线)及其距平(蓝色等值线)(b;单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$;填色区表示垂直速度距平与Niño3指数的相关系数通过0.05信度的显著性检验)

Fig.5 Wind speed anomaly (a; arrows, units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; colored areas indicate the correlation coefficients between the horizontal wind speed anomaly and Niño3 index passing the significance test at 0.05 level) at 850 hPa, vertical velocity (black isoline) and its anomaly (blue isoline) (b; units: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$; colored areas indicate the correlation coefficients between the vertical velocity anomaly and Niño3 index passing the significance test at 0.05 level) at 500 hPa in winter of El Niño events from 1961 to 1988

1989—2016年El Niño事件冬季,850 hPa上南海北部到中国东部出现异常的西南风,有利于孟加拉湾和南海的暖湿气流向中国南方地区输送(图6a);500 hPa垂直运动场表明,中国南方垂直速度为较弱的负值,且存在负异常,受上升运动异常控制,有利于对流运动发展(图6b)。

4.3 水汽输送条件

大气中充分的水汽供应是降水形成的重要条件之一^[21]。由整层水汽通量分布可见:1961—1988年El Niño事件冬季,阿拉伯海以及孟加拉湾偏南水汽输送较少(图7b);1989—2016年El Niño事件冬

季,低纬存在较强的偏西水汽输送,来自孟加拉湾和南海偏南方向的水汽输送在南海北部汇聚并向中国南方输送(图7c),加强的上升运动(图6b)以及充足的水汽供应,造成中国南方冬雨偏多。

5 结论

1)1961—2016年中国南方冬雨年际变化显著,且降水量呈现阶段性变化,1961—1988年为少雨期,1989—2016年为多雨期。El Niño事件与中国南方冬雨之间的相关关系存在年代际差异,相较于1961—1988年,1989—2016年El Niño事件对应中

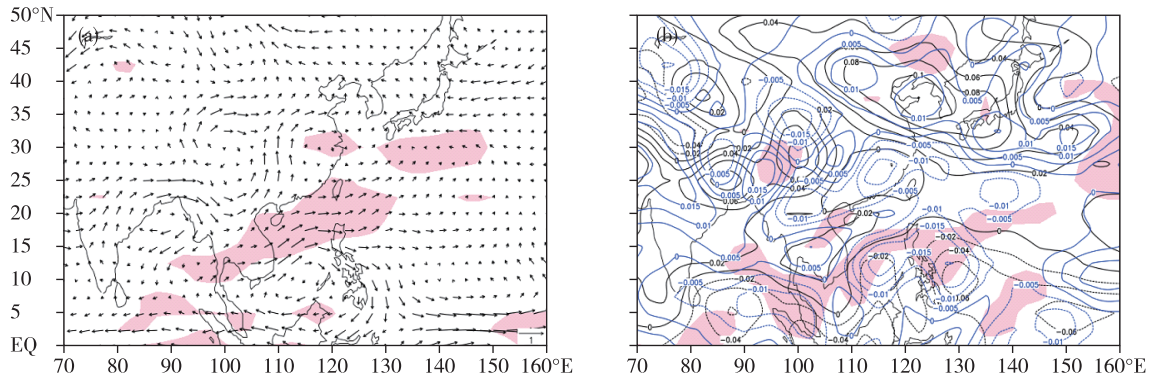


图6 1989—2016年El Niño事件冬季850 hPa风距平场(a; 箭矢, 单位: $m \cdot s^{-1}$; 填色区表示水平风速距平与Niño3指数的相关系数通过0.05信度的显著性检验)和500 hPa垂直速度(黑色等值线)及其距平(蓝色等值线)(b; 单位: $Pa \cdot s^{-1}$; 填色区表示垂直速度距平与Niño3指数的相关系数通过0.05信度的显著性检验)

Fig.6 Wind speed anomaly (a; arrows, units: $m \cdot s^{-1}$; colored areas indicate the correlation coefficients between the horizontal wind speed anomaly and Niño3 index passing the significance test at 0.05 level) at 850 hPa, vertical velocity (black isoline) and its anomaly (blue isoline) (b; units: $Pa \cdot s^{-1}$; colored areas indicate the correlation coefficients between the vertical velocity anomaly and Niño3 index passing the significance test at 0.05 level) at 500 hPa in winter of El Niño events from 1989 to 2016

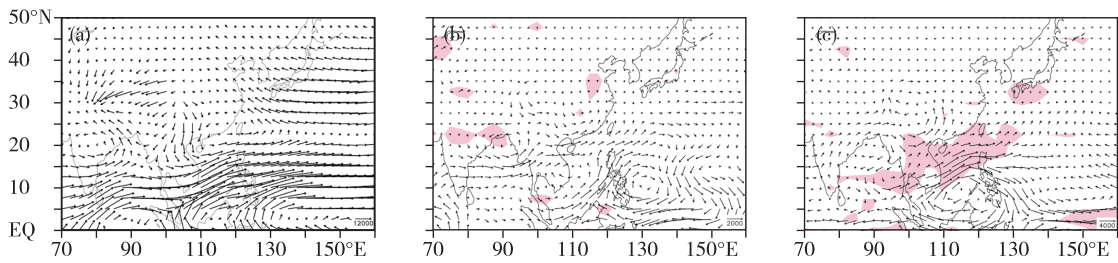


图7 1961—2016年冬季整层水汽通量分布(a)以及1961—1988年(b)和1989—2016年(c)El Niño事件冬季整层水汽通量距平分布(单位: $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$; 填色区表示水汽通量距平与Niño3指数的相关系数通过0.05信度的显著性检验)

Fig.7 Distribution of the whole layer water vapor flux in winter from 1961 to 2016 (a) and distributions of the whole layer water vapor flux anomaly in winter of El Niño events from 1961 to 1988 (b) and from 1989 to 2016 (c) (units: $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$; colored areas indicate the correlation coefficients between the water vapor flux anomaly and Niño3 index passing the significance test at 0.05 level)

国南方冬雨增多。

2)1961—1988年El Niño事件冬季,500 hPa位势高度场上,中国东部地区位势高度距平的经向差异很小,不利于冷空气向南推进;850 hPa风场上,中国南方地区南风距平偏小,来自孟加拉湾和南海的水汽较难向中国南方地区输送;500 hPa垂直运动场上,中国南方地区受下沉运动异常影响,对流发展受抑制,故南方冬雨偏少。而1989—2016年El Niño事件冬季,500 hPa位势高度场上,中国东部地区位势高度距平的经向梯度较大,有利于冷空气向南推进;850 hPa风场上,南海北部到中国东部出现异常的西南风,有利于孟加拉湾和南海的暖湿气流向中国南方地区输送;500 hPa垂直运动场上,中国南方地区受上升运动异常控制,有利于对流运动

发展;来自孟加拉湾和南海偏南方向的水汽输送在南海北部汇聚并向中国南方输送,利于南方冬雨偏多。

本文初步探讨了1961—1988年和1989—2016年两个阶段El Niño事件与中国南方冬雨关系的年代际差异及其可能原因,然而中国南方冬雨阶段性变化的原因是非常复杂的,尚需进一步研究。

参考文献:

[1] 施能,朱乾根.东亚冬季风强度异常与夏季500 hPa环流及我国气候异常的关系[J].热带气象学报,1996,12(1):26-33.
 [2] 晏红明,段玮,肖子牛.东亚冬季风与中国夏季气候变化[J].热带气象学报,2003,19(4):367-376.
 [3] 李峰,矫梅燕,丁一汇,等.北极区近30年环流的变化

- 及对中国强冷事件的影响[J].高原气象,2006,25(2):209-219.
- [4] 卢文通,丁一汇.近年来国外关于东亚冬季风期间冷涌对热带环流影响的研究[J].热带气象,1987,3(2):177-187.
- [5] 徐建军,朱乾根,周铁汉.近百年东亚冬季风的突变性和周期性[J].应用气象学报,1999,10(1):1-8.
- [6] 李明聪,李栋梁.东亚冬夏季风关系在1970s末的年代际转变[J].气象科学,2017,37(3):329-339.
- [7] 何溪澄,丁一汇,何金海,等.中国南方地区冬季风降水异常的分析[J].气象学报,2006,64(5):594-604.
- [8] 中国气象局国家气候中心.全国气候影响评价2008[M].北京:气象出版社,2009.
- [9] 丁一汇.2014—2016年超强El Niño事件的发生发展过程与机理分析[J].大气科学学报,2016,39(6):722-734.
- [10] 李晓娟,曾沁,梁健,等.华南地区干旱气候预测研究[J].气象科技,2007,35(1):26-30.
- [11] 郭其蕴,王日生.东亚冬季风活动与厄·尼诺的关系[J].地理学报,1990,45(1):68-77.
- [12] 陶诗言,张庆云.亚洲冬夏季风对ENSO事件的响应[J].大气科学,1998,22(4):399-407.
- [13] 陈文.El Niño和La Niña事件对东亚冬、夏季风循环的影响[J].大气科学,2002,26(5):595-610.
- [14] 曾剑,张强,王同美.东亚冬季风与中国南方冬季降水的关系分析[J].高原气象,2010,29(4):975-981.
- [15] Wang B, Wu R, FU X. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J].J Climate,2000,13(9):1517-1536.
- [16] Wu R G, Hu Z-Z, Kirtman B P. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in East Asia [J].J Climate, 2003,16(22):3742-3758.
- [17] 任正果,张明军,王圣杰,等.1961—2011年中国南方地区极端降水事件变化[J].地理学报,2014,69(5):640-649.
- [18] 金祖辉,陶诗言. ENSO循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究[J].大气科学,1999,23(6):663-672.
- [19] 袁良,何金海.两类 ENSO 对我国华南地区冬季降水的不同影响[J].干旱气象,2013,31(1):24-31.
- [20] 中国气象局国家气候中心. ENSO 历史事件表 [R]. [2017-12-22]. http://cmdp.ncc-cma.net/download/ENSO/Monitor/ENSO_history_events.pdf.
- [21] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].4版.北京:气象出版社,2007:320-323.