

不同Niño指数对El Niño事件响应的差异性分析

王露¹, 赵健²

¹海军士官学校航海系, 安徽 蚌埠

²安徽省亳州市气象局, 安徽 亳州

收稿日期: 2023年2月4日; 录用日期: 2023年3月4日; 发布日期: 2023年3月14日

摘要

ENSO事件是发生在热带太平洋地区、具有最强年际变化的全球尺度振荡信号。一方面直接使得赤道太平洋地区的天气出现异常, 另一方面还会以遥相关的形式影响热带太平洋以外的地区, 甚至影响了全球的天气变化, 选取能够表明其特征的指标十分重要。不同类型El Niño事件对于各类Niño指数的响应也是不同的, 东部型El Niño事件在Niño1 + 2指数、Niño3指数、Niño3.4指数的响应较为明显, 在Niño4指数的响应较弱; 而中部型El Niño事件相比较来说在Niño4指数和Niño3.4指数的响应较为明显, 其中Niño3.4指数对于两类El Niño事件的响应表现较为突出。

关键词

ENSO, El Niño, Niño指数, El Niño分类

Analysis of the Difference in Response of Different Niño Indexes to El Niño Events

Lu Wang¹, Jian Zhao²

¹Department of Navigation, Naval Petty Officer Academy, Bengbu Anhui

²Bozhou Meteorological Bureau of Anhui Province, Bozhou Anhui

Received: Feb. 4th, 2023; accepted: Mar. 4th, 2023; published: Mar. 14th, 2023

Abstract

ENSO event is a global scale oscillation signal with the strongest inter-annual variation that occurs in the tropical Pacific region. On the one hand, it directly makes the weather in the equatorial Pacific region abnormal, on the other hand, it will affect the areas outside the tropical Pacific in the form of teleconnection, and even affect the global weather change. It is very important to select

indicators that can show its characteristics. The response of different types of El Niño events to various Niño indexes is also different. The response of the eastern type of El Niño events to the Niño1 + 2 index, Niño3 index, and Niño3.4 index is relatively obvious, while the response to the Niño4 index is relatively weak; compared with the central type El Niño events, the response of Niño4 index and Niño3.4 index is more obvious, and the response of Niño3.4 index to the two types of El Niño events is more prominent.

Keywords

ENSO, El Niño, Niño Indexes, El Niño Classification

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

ENSO (El Niño-Southern Oscillation, 厄尔尼诺 - 南方涛动)事件是发生在热带太平洋地区、具有最强年际变化的全球尺度振荡信号,以 2~7 年的周期在冷、暖相位间不断循环,冷相位表现为 La Niña 事件,暖相位表现为 El Niño 事件。ENSO 是迄今为止唯一一个已经得到确认的、真实存在的全球尺度的振荡信号,也是目前为止所观测到的全球范围的大气 - 海洋耦合的最强信号之一。

ENSO 是由两个分量组成,第一分量主要针对海洋,称为厄尔尼诺(EN: El Niño),第二分量则针对大气,指的是南方涛动(SO: Southern Oscillation)。1960s 年代中期, Bjerknes [1]发表 ENSO 是热带大气和海洋相互作用的著名观点,提出了 El Niño 和 Southern Oscillation 事实上是热带太平洋大尺度海气相互作用同一现象的两个方面,其后的一系列经典著作进一步推进了大气海洋相互作用的研究,也使得 El Niño 的理论研究越来越受到重视。另一方面, Philander [2]提出的 El Niño 和 La Niña 是互补的,暖的 El Niño 位相和冷的 La Niña 位相合在一起构成一个南方涛动循环。因此把厄尔尼诺和南方涛动合起来称为 ENSO。

La Niña 事件和 El Niño 事件的出现,一方面直接使得赤道太平洋地区的天气出现异常,另一当面还会以遥相关的形式影响热带太平洋以外的地区,甚至影响了全球天气变化。它的发生会对世界许多地区的气候产生重大影响,是引起全球大气环流和水分循环异常的重要原因,也是引起东亚季风水汽输送异常和旱涝发生的重要原因[3] [4] [5]。对于 ENSO 的研究工作始终备受关注,成果也不断涌现,正确认识 ENSO 事件的发生具有重要意义。

2. ENSO 的指标

研究 ENSO 事件的指数有很多,最为常见的是监测关键区海表温度(SST),如图 1 所示,关键区主要包括 Niño 1 + 2 区(0°~10°S, 90°W~80°W)、Niño 3 区(5°N~5°S, 150°W~90°W)、Niño4 区(5°N~5°S, 160°E~150°W)和 Niño 3.4 区(5°N~5°S, 160°E~150°W)。对于不同关键区的 SST 进行处理得到不同的 ENSO 指标,即 Niño 指数[6] [7]。

Niño1 + 2 指数: 0°~10°S, 90°W~80°W 海域平均的 SST 距平;

Niño3 指数: 5°N~5°S, 150°W~90°W 海域平均的 SST 距平;

Niño4 指数: 5°N~5°S, 160°E~150°W 海域平均的 SST 距平;

Niño3.4 指数: 5°N~5°S, 160°E~150°W 海域平均的 SST 距平;

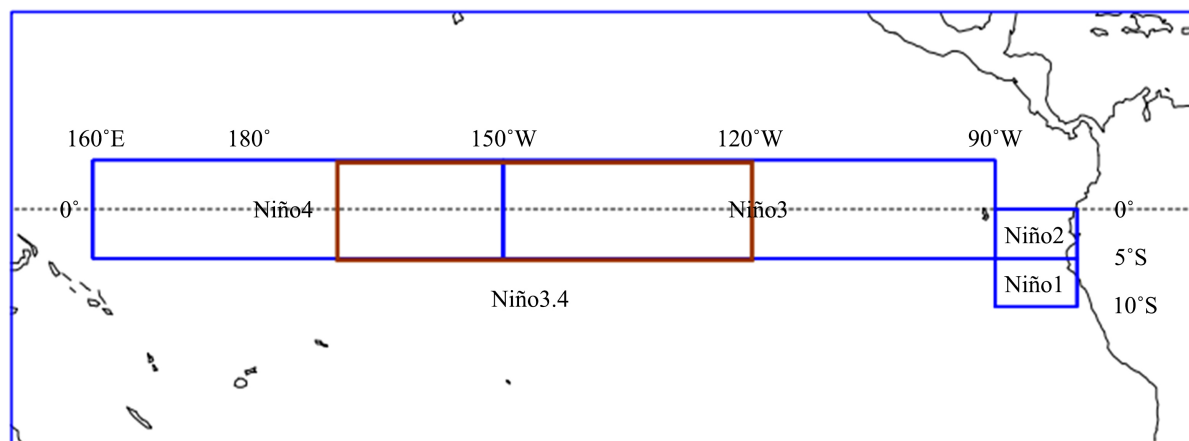


Figure 1. The key areas distribution of ENSO monitors (from the National Climate Center of China)

图 1. ENSO 监测关键区分布(引自中国国家气候中心)

此外,许多研究还提出其它的一些指数,如 SOI (Southern Oscillation Index), 基于 Darwin 岛和 Tahiti 岛间的海面气压差的南方涛动指数; MEI 指数(Multivariate ENSO Index), 同时用到了海平面气压、地面经向风和纬向风、SST、海面气温和总运量等 6 个变量经主成分分析得到的多变量 ENSO 指数; TNI 指数(Trans-Niño Index), 代表 Niño1 + 2 区与 Niño4 区之间海面温度梯度指数; JMA 指数, 类似 Niño3 指数, 但关键区的南北范围为 4°N~4°S; Niño Z 指数, Niño1 + 2 + 3 + 4 区平均 SST 距平[8] [9]。

许多人直接用 Niño3 区的 SST 距平达到 0.5°C 指数来定义厄尔尼诺事件, 这个方法简单易行, 因为在大多数事件中, Niño3 区都具有较好的代表性, 但在一些事件中, Niño1 + 2 区或 Niño4 区升温较强, 而 Niño3 区升温较弱, 仅以 Niño3 区定义, 洋面覆盖范围有限, 就会将一些过程排除在外。Hanley [10] 等研究指出, Niño1 + 2 指数对于拉尼娜的反应较强, 而 Niño4 指数对于厄尔尼诺的反应相对较弱。对于指数的敏感性分析表明, ENSO 指数的选取依赖于研究的 ENSO 位相, 对厄尔尼诺事件而言, SOI、Niño3.4 和 Niño4 指数的敏感程度几乎相同, 且均强于 JMA、Niño1 + 2 和 Niño3 指数; 而对拉尼娜事件来说, JMA 指数相较于其它所有指数更加敏感。

在业务上, 国际各气候中心采用的标准也各不相同:

美国 NOAA 以 Niño3.4 区 SSTA 的 3 个月滑动平均值连续 5 个月 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\leq -0.5^{\circ}\text{C}$) 定义为一次 El Niño (La Niña) 事件;

日本气象厅采用 5 个月滑动平均月 JMA 指数连续 6 个月(其中必须包含 10、11 和 12 月) $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\leq -0.5^{\circ}\text{C}$) 定义为一次 El Niño (La Niña) 事件;

中国国家气候中心依据 Niño Z 区 SST 距平 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\leq -0.5^{\circ}\text{C}$) 至少持续 6 个月(过程中间可有一个月未达标准)则定义为一次 El Niño (La Niña) 事件, 如若该区域指数 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\leq -0.5^{\circ}\text{C}$) 持续 5 个月, 且 5 个月的指数之和 $\geq 4.0^{\circ}\text{C}$ ($\leq -4.0^{\circ}\text{C}$) 时, 也定义为一次 El Niño (La Niña) 事件。

就现有的 ENSO 指数而言, 究竟哪个指数能够最好的表征 ENSO 的演变特征这一问题学术界尚未形成一致的看法[11] [12] [13], 但 ENSO 是热带太平洋大尺度海气相互作用的最强年际周期信号, 选取能够表明其特征的指标十分重要。

3. 数据和方法

本研究的数据为美国国家海洋和大气管理局(NOAA) Physical Sciences Laboratory 发布的月平均气候指数, 主要包括 Niño1 + 2 指数、Niño3.4 指数、Niño3 指数、Niño4 指数和 MEI 指数, 数据时间范围

1990.01~2021.12, 共 32 年的逐月平均值。下载网址 <http://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>。

以业务上常用的 Niño3.4 区 SSTA 的 3 个月滑动平均值连续 5 个月 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\leq -0.5^{\circ}\text{C}$) 定义为一次 El Niño 事件。数据时间范围 1990.01~2021.12 内, 共有 8 次 El Niño 事件, 如表 1~3 中红色数字所示。

利用 El Niño 事件期间各月海表温度异常的累加值作为衡量 El Niño 事件强度的标准, 从强度上把 El Niño 事件分为超强、强、中等和弱等四个级别, 如表 4 所示。当累加值 ≥ 17.0 时, 定义为超强, 累加值在 14.1~17.0 之间定义为强, 累加值在 7.1~14.0 定义为中等, 累加值 ≤ 7.0 定义为弱。

Table 1. The temperature anomaly of 3 consecutive months of Niño3.4 areas between 1990.01~1999.12

表 1. 1990.01~1999.12 Niño3.4 区 SST 连续 3 个月温度距平值

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7

Table 2. Same as Tab.1, except that between 2000.01~2009.12

表 2. 2000.01~2009.12 Niño3.4 区 SST 连续 3 个月温度距平值

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6

Table 3. Same as Tab.1, except that between 2010.01~2021.12
表 3. 2010.01~2021.12 Niño3.4 区 SST 连续 3 个月温度距平值

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	-0.9	-0.9	-1.0

Table 4. The strength index of El Niño event
表 4. El Niño 事件强度指标(°C)

强度等级	超强	强	中等	弱
El Niño 事件	≥17.0	14.1~17.0	7.1~14.0	≤7.0

数据选取的最近 32 年来, 8 次 El Niño 事件中共有 3 次超强 El Niño 事件, 分别为 1991.05~1992.06、1997.05~1998.05、2014.10~2016.04, 分析不同 ENSO 指标对所选取 3 次强 El Niño 事件的响应。所选的 3 次事件 SST 连续 3 个月平均距平温度 $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ ($\leq -0.5^{\circ}\text{C}$) 的时间均超过 12 个月, 2014~2016 年 El Niño 事件 SST 最高距平温度达到 2.6°C , $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ 的持续时间为 19 个月, 如表 3 所示; 1997~1998 年 El Niño 事件 SST 最高距平温度达到 2.4°C , $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ 的持续时间为 13 个月, 如表 1 所示; 1991~1992 年 El Niño 事件 SST 最高距平温度达到 1.7°C , $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$ 的持续时间为 14 个月如表 1 所示。所选取的 3 次事件不管是从最高温度距平值来说, 还是从持续时间来说, 都可以认为是近 30 年来最强的 El Niño 事件。通过比较 El Niño 事件的强度等级和事件类别与不同 Niño 指数的响应, 分析不同 Niño 指数对 El Niño 事件响应的差异性。

4. 不同 Niño 指数对强 El Niño 事件的响应分析

4.1. 3 次强 El Niño 事件的响应

如图 2 所示, 3 次强 El Niño 事件在各类 Niño 指数上的时间序列图, 中间红色框区为 1997~1998 年 El Niño 事件, 右边绿色框区为 2014~2016 年 El Niño 事件, 左边深蓝色框区为 1991~1992 年 El Niño 事件, 由图可知, 3 次强 El Niño 事件在不同的 Niño 指数图上均有所体现。对于 1997~1998 年 El Niño 事件, Niño1+2 指数响应最为明显, 峰值达到 4.5, 如图 2(a)所示, Niño3 指数次之, 峰值为 3.4 (图 2(c)), Niño3.4 指数和 MEI 指数持平, 峰值均为 2.6 (图 2(b)、图 2(e)), 响应最弱的是 Niño4 指数, 最大值小于 1.0, 仅

为 0.9 (图 2(d))。对于 1991~1992 年 El Niño 事件响应最为强烈的仍是 Niño1 + 2 指数, 峰值超过 2.0 (图 2(a)), 其次是 Niño3.4 和 MEI 指数, 最大值略低于 2.0 (图 2(b)、图 2(e)), Niño3 指数最大值为 1.4 (图 2(c)), Niño4 指数响应最弱, 最大值小于 1.0 (图 2(d))。而 2014~2016 年 El Niño 事件响应最为强烈的是 Niño3 和 Niño3.4 指数, 峰值均接近与 3.0 (图 2(b)、图 2(c)), 其次是 Niño1 + 2 指数, 峰值 2.6 (图 2(a)), MEI 指数次之, 峰值为 2.3 (图 2(e)), 响应最弱的是 Niño4 指数, 峰值仅为 1.6 (图 2(d))。

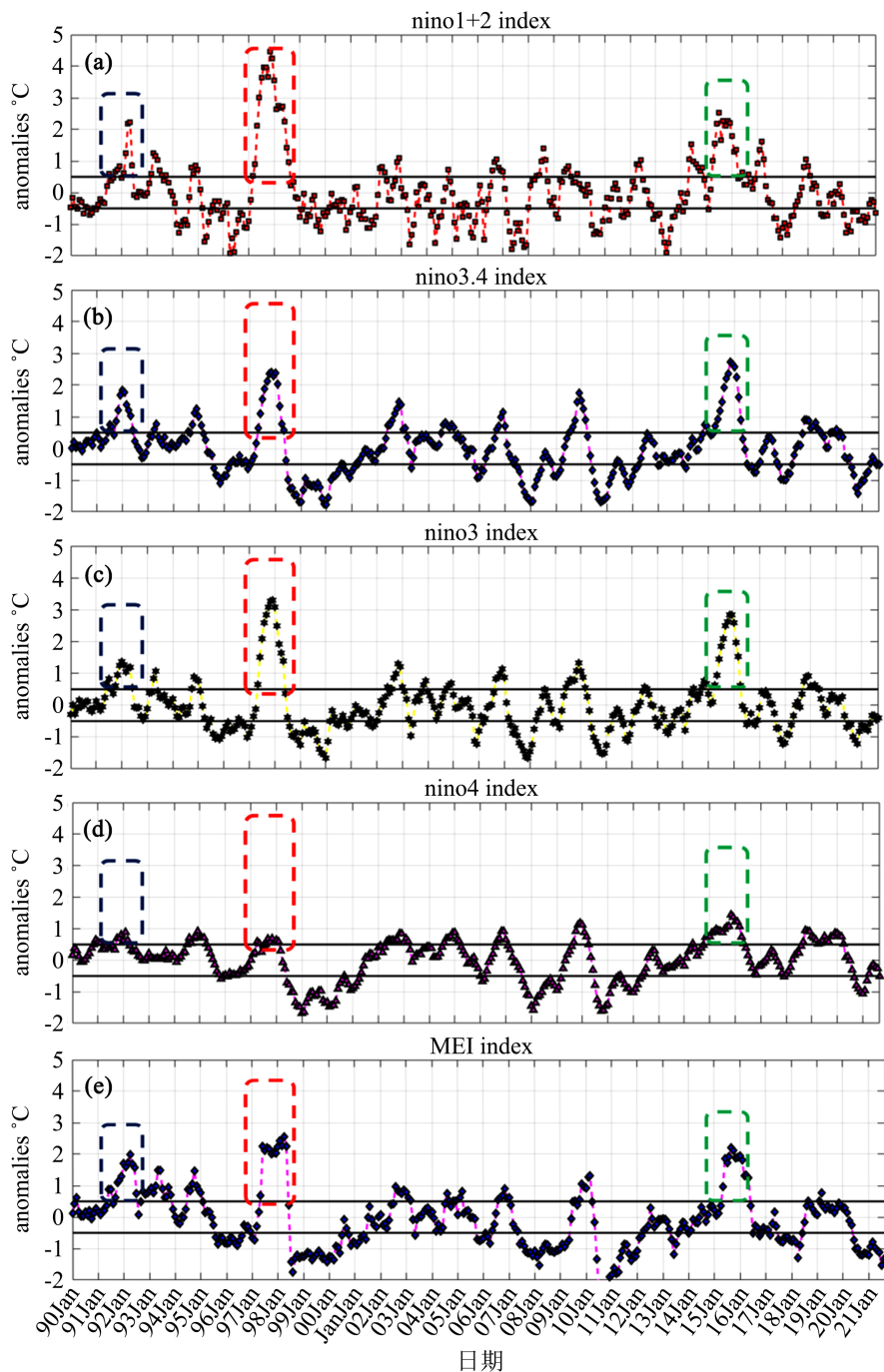


Figure 2. The time series diagram of 3 super El Niño events of different Niño indexes, (a), (b), (c), (d), (e) from the top down
图 2. 3 次超强 El Niño 事件在各类 Niño 指数上的时间序列图, 自上而下依次为(a)、(b)、(c)、(d)、(e)

4.2. El Niño 事件的分类

部分学者注意到, 一些 El Niño 事件在发展过程中, 海表温度正异常的中心区域在太平洋海域表现不同, 如图 3 所示为 Fan [14] 等对于 El Niño 事件的分类示意图。东部型 El Niño 事件 SSTA (Sea Surface Temperature Anomaly) 中心均位于赤道太平洋东部, 且正异常分布宽广, 自南美沿岸延伸至日界线附近; 中部型 El Niño 事件表现为赤道中太平洋海表温度为正异常, 其两侧为负异常的分布形态, 且中部型 El Niño 事件正异常大部分局限于中太平洋区域[15] [16]。

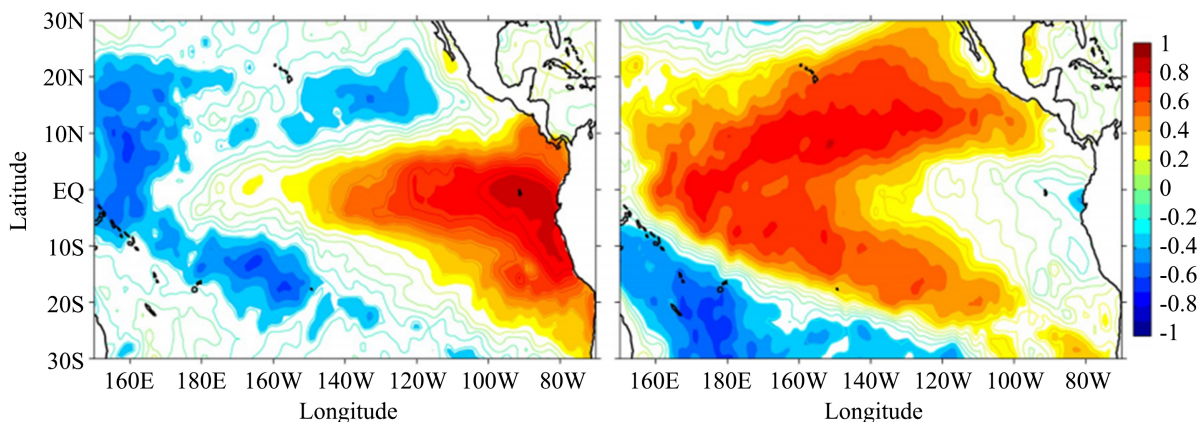


Figure 3. The distributions of SSTA between two El Niño events, the left is eastern type El Niño, the right is middle type El Niño

图 3. 两类 El Niño 事件 SSTA 分布, 左图为东部型 El Niño, 右图为中部型 El Niño

从 1990~2021 年间, 共有 8 次 El Niño 事件发生, 其中 3 次为东部型, 5 次为中部型, 中部型发生频率显著高于东部型; 从强度等级来说, 东部型高于中部型; 持续时间上东部型长于中部型。本研究所选的 3 次强 El Niño 事件中, 2014~2016 年 El Niño 事件持续时间最长, 为 19 个月, 峰值也达到最大 2.6, 等级为超强; 1997~1998 年 El Niño 事件持续时间为 13 个月, 峰值 2.4, 等级也为超强; 1991~1992 年 El Niño 事件持续时间为 14 个月, 峰值 1.7, 等级也为超强。3 次 El Niño 事件均为东部型, 如表 5 所示。

Table 5. The comparison of analysis results of El Niño events from 1990 to 2021

表 5. 1990~2021 年 El Niño 事件分类结果对比

序号	起始时间	长度月	峰值时间	峰值	强度等级	事件类型	
1	1991.05	1992.06	14	1992.01	1.7	超强	东部型
2	1994.09	1995.03	7	1994.12	1.3	中等	中部型
3	1997.04	1998.04	13	1997.11	2.4	超强	东部型
4	2002.05	2003.03	9	2002.11	1.6	中等	中部型
5	2004.07	2005.01	8	2004.09	0.8	弱	中部型
6	2009.06	2010.04	9	2009.12	1.7	中等	中部型
7	2014.10	2016.04	19	2015.12	2.6	超强	东部型
8	2018.09	2019.06	10	2018.11	1.0	弱	中部型

东部型 El Niño 事件鼎盛时期, SSTA 中心均位于赤道太平洋东部, 且正异常分布宽广, 从赤道太平洋南美沿岸一直延伸至日界线附近, 其引起的海表温度异常主要表现在太平洋东部, 即 Niño1 + 2 区、Niño3 区响应较为明显, Niño4 区响应相对较弱; 而中部型 El Niño 事件鼎盛时期, SSTA 中心均位于赤道太平洋中部, 太平洋东部为相对弱的正异常或为负异常, 中部的正异常在赤道外地区随着纬度增加有向东扩展的趋势呈“马蹄形”结构[17] [18], 其引起的海表温度异常主要表现在太平洋中部, 即 Niño4 区、Niño3.4 区响应较为明显。MEI 指数是由 6 个变量经主成分分析得到的多变量由于是用多个变量 ENSO 指数, 其响应情况不止依赖于 SST, 所以在两类 El Niño 事件中响应均较为明显, 且能够集中体现 El Niño 事件的特性。

5. 结论与讨论

5.1. 结论

不同 Niño 指数对 El Niño 事件响应的差异和事件的种类有关, 东部型 El Niño 事件和中部型 El Niño 事件对于各类 Niño 指数的响应不同, 其中东部型 El Niño 事件在 Niño1 + 2 指数、Niño3 指数、Niño3.4 指数的响应较为明显, 在 Niño4 指数的响应较弱; 而中部型 El Niño 事件相比较来说在 Niño4 指数和 Niño3.4 指数的响应较为明显, 其中 Niño3.4 指数对于两类 El Niño 事件的响应表现较为突出。MEI 指数由于是多变量 ENSO 指数, 所以在两类 El Niño 事件中响应均较为明显。

5.2. 讨论

研究结果显示, 东太平洋 El Niño 事件比中太平洋 El Niño 事件的持续时间相对来说更长, 且强度也更强, 特别是近几十年, 中太平洋 El Niño 事件出现的频率有所增加, 其原因尚不清楚, 目前学界也尚未给出统一答案。

参考文献

- [1] Bjerknes, J. (1969) Atmospheric Teleconnections from the Equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, **97**, 163-172. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2)
- [2] Philander, S.G. (1990) El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press, San Diego, 35-38.
- [3] Xu, J. and Chan, J.C.L. (2001) The Role of the Asian-Australian Monsoon System in the Onset Time of El Niño Events. *Journal of Climate*, **14**, 418-433. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0418:TROTAA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0418:TROTAA>2.0.CO;2)
- [4] 李崇银. 气候动力学引论[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [5] 吴国雄, 孟文. 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): 470-480.
- [6] Trenberth, K.E. (1997) The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**, 2771-2777. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2)
- [7] Trenberth, K.E. and Stepaniak, D.P. (2001) Indices of El Niño Evolution. *Journal of Climate*, **14**, 1697-1701. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1697:LIOENO>2.0.CO;2)
- [8] 李晓燕, 翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究[J]. 气象学报, 2000, 58(1): 102-109.
- [9] Wolter, K. and Timlin, M.S. (1993) Monitoring ENSO in COADS with a Seasonally Adjusted Principal Component Index. *Proceedings of the 17th Climate Diagnostics Workshop*, Norman, 18-23 October 1993.
- [10] Hanley, D.E., Bourassa, M.A., O'Brien, J.J., Smith, S.R. and Spade, E.R. (2003) A Quantitative Evaluation of ENSO Indices. *Journal of Climate*, **16**, 1249-1258. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)16<1249:AQEOEI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)16<1249:AQEOEI>2.0.CO;2)
- [11] 徐华, 徐建军, 范伶俐. ENSO 多样性研究进展[J]. 热带气象学报, 2019, 35(2): 281-288.
- [12] 赵永平, 陈永利. 两类 ENSO 事件前期的热带太平洋海温距平场[J]. 热带气象学报, 1998, 14(3): 226-232.
- [13] Xu, K., Zhu, C.W. and He, J.H. (2012) Linkage between the Dominant Modes in Pacific Subsurface Ocean Temperature and the Two Type ENSO Events. *Chinese Science Bulletin*, **57**, 3491-3496.

- <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5173-4>
- [14] Fan, F., Lin, R., Fang, X., Xue, F., Zheng, F. and Zhu, J. (2021) Influence of the Eastern Pacific and Central Pacific Types of ENSO on the South Asian Summer Monsoon. *Advances in Atmospheric Sciences*, **38**, 12-28. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-0055-1>
- [15] Rasmusson, E.M. and Wallace, J.M. (1983) Meteorological Aspects of the El Niño/Southern Oscillation. *Science*, **222**, 1195-1202. <https://doi.org/10.1126/science.222.4629.1195>
- [16] Fu, C.B., Diaz, H.F. and Fletcher, J.O. (1986) Characteristics of the Response of Sea Surface Temperature in the Central Pacific Associated with Warm Episodes of the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, **114**, 1716-1739. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1986\)114<1716:COTROS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1986)114<1716:COTROS>2.0.CO;2)
- [17] Wang, B. (1995) Interdecadal Changes in El Niño Onset in the Last Four Decades. *Journal of Climate*, **8**, 267-285. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)008<0267:ICIENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008<0267:ICIENO>2.0.CO;2)
- [18] 汪婉婷, 管兆勇. 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, 2018, 76(1): 1-14.