

罗连升,汪栩加,程智,等,2025.厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响[J].气象,51(10):1182-1192. Luo L S, Wang X J, Cheng Z, et al, 2025. Impact of early and late onset of El Niño on summer precipitation in China[J]. Meteor Mon, 51(10):1182-1192(in Chinese).

厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响^{*}

罗连升^{1,2} 汪栩加¹ 程 智¹ 刘俊杰¹ 徐 敏¹

1 安徽省气候中心,合肥 230031

2 安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室,合肥 230031

提 要: 基于 1961—2023 年中国 643 个站月降水量、NCAR/NCEP 再分析资料和 NOAA ERSST 海面温度(SST)资料,分析了厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响。结果表明:厄尔尼诺开始较早年夏季赤道中西太平洋异常西风明显强于开始较晚年,开始较早年赤道中东太平洋 SST 增暖更为明显,季内 SST 持续上升;而开始较晚年赤道中东太平洋暖 SST 不明显且发展缓慢。厄尔尼诺开始较早年和较晚年中国中东部夏季降水有明显的差异,其中 7 月和 8 月差异最为明显。厄尔尼诺开始较早年西北太平洋异常反气旋(WNPAC)一般在 8 月前后出现,中东部夏季降水从南到北为“一十—”分布,江淮地区偏多,其他地区偏少。其中 6 月西太平洋为异常气旋,中国中东部大部降水偏少;7 月西太平洋异常气旋明显南压,江南大部、西北地区、华北地区降水持续偏少,日本以东异常反气旋明显西伸南压,中国东南沿海转为异常偏南风,华南沿海、江淮流域降水转为偏多;8 月西北太平洋转为异常反气旋,WNPAC 开始出现,长江中下游及其以南大部降水偏多,我国北方大部降水偏少。开始较晚年 WNPAC 一般出现在 10 月或之后,6—8 月西太平洋一直为异常气旋,中国中东部夏季降水从南到北为“一十—”分布,各月降水异常持续性特征明显。

关键词: 厄尔尼诺,夏季降水,西北太平洋异常反气旋(WNPAC)

中图分类号: P461, P468

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2025.041601

Impact of Early and Late Onset of El Niño on Summer Precipitation in China

LUO Liansheng^{1,2} WANG Xujia¹ CHENG Zhi¹ LIU Junjie¹ XU Min¹

1 Anhui Climate Center, Hefei 230031

2 Anhui Key Laboratory of Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing, Hefei 230031

Abstract: Based on the monthly precipitation of 643 stations in China, NCAR/NCEP reanalysis data and NOAA ERSST sea surface temperature (SST) data from 1961 to 2023, the impacts of early and late onset of El Niño on summer precipitation in China are analyzed. The results are as follows. Westerly wind anomalies in the equatorial West-Central Pacific are more pronounced in June–August of years with early El Niño onset than in years with late El Niño onset, resulting in a more obvious warming of SST in the equatorial East-Central Pacific in earlier onset years, and the SST in this period continues to rise. However, the positive anomaly of SST in the equatorial East-Central Pacific in the later onset years of El Niño is not obvious and changes slowly. There are obvious differences in summer precipitation in central and eastern China between the El Niño earlier and the El Niño later onset years, especially in July and August. In

^{*} 安徽省自然科学基金江淮气象联合基金项目(2208085UQ10)、国家重点研发计划(2023YFC3007700)、中国气象局复盘总结专项(FPZJ2024-058)、安徽省自然科学基金项目(2208085MD102)和安徽省气象局创新发展专项(YJG202301)共同资助

2024 年 7 月 1 日收稿; 2025 年 4 月 16 日收修定稿

第一作者:罗连升,主要从事短期气候预测及其研究工作. E-mail:luolsh_gx@163.com

通讯作者:汪栩加,主要从事短期气候预测及其研究工作. E-mail:wangxj_lzu@foxmail.com

the El Niño earlier onset years, the Western North Pacific anomalous anticyclone (WNPAC) generally appears around August, the summer precipitation in central and eastern China is distributed in the “—+—” pattern from south to north, with more precipitation than normal in Jianghuai Region, and less precipitation than normal in other areas. In June, the West Pacific has an abnormal cyclone and the precipitation in most of China’s central and eastern parts is less than normal. In July, the abnormal cyclone in the West Pacific retreats southward significantly, the precipitation in most parts of the Jiangnan, Northwest and North China continues to be less than normal. And the abnormal anticyclone to the east of Japan significantly extends westward and develops southward, which makes the southeast coastal areas of China turn to be dominated by abnormal southerly winds, leading to excessive precipitation along the southern China coast and in Jianghuai Basin. In August, the cyclone in the Northwest Pacific turns into an anomalous anticyclone and WNPAC begins to appear, so the precipitation over the middle and lower reaches of the Yangtze River and most parts of its south is more than normal, while the precipitation in most parts of northern China is less than normal. In the later onset years of El Niño, WNPAC usually appears in October or later, and the West Pacific has an abnormal cyclone from June to August. The summer precipitation in the central and eastern regions of China is distributed in the “+—+” pattern from south to north, and the precipitation anomaly persistence characteristics of each month are obvious.

Key words: El Niño, summer precipitation, Western North Pacific anomalous anticyclone (WNPAC)

引言

厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)是海气耦合系统中最强的年际信号,其对东亚夏季风的强弱变化和中国夏季降水的分布有重要影响,已成为中国夏季气候预测最重要的因子(Zhang et al, 1996; Wang et al, 2000; 陈文, 2002; 薛峰和刘长征, 2007; Xue and Liu, 2008; Zhang et al, 2011; 2012)。研究表明,厄尔尼诺不同位相对中国夏季降水的影响有明显差异。厄尔尼诺发展年夏季,江淮流域降水偏多,华北地区和江南降水偏少;厄尔尼诺衰减年夏季,西北太平洋异常反气旋(WNPAC)使得西太平洋副热带高压(简称西太副高)偏强偏西偏南(Chang et al, 2000; 顾薇, 2016),大量水汽输送到长江流域,导致长江流域降水偏多,黄淮地区降水偏少(Huang and Wu, 1989; 金祖辉和陶诗言, 1999; 赵亮等, 2007)。但进入21世纪后,2003年、2005年和2007年3个厄尔尼诺衰减年夏季中国主雨带出现在淮河流域而不是在长江流域(宗海锋等, 2010)。有研究认为厄尔尼诺不同位相与夏季中国雨带的对应关系出现了年代际变化(高辉, 2006; 宗海锋等, 2010; 罗连升等, 2018)。这可能与21世纪以来的非传统东部型厄尔尼诺事件有关,导致其对中国夏季雨带的影响发生了变化(袁媛等, 2012)。

不同类型厄尔尼诺事件对中国夏季降水的影响存在显著差异。东部型厄尔尼诺衰减年夏季中国雨带易出现南方型雨型,即中国东部长江流域及江南地区降水偏多;中部型厄尔尼诺衰减年夏季中国雨带易出现中间型雨型,即长江和黄河之间降水偏多,而黄河以北和长江以南大部降水偏少;混合型厄尔尼诺(厄尔尼诺发展到盛期时最大海表面温度正距平分布介于东部型和中部型之间)衰减年夏季易出现北方型雨型,中国有两条雨带,主雨带位于黄河流域及其以北地区,另一条雨带位于华南,而江南至黄河以南地区降水偏少(Feng et al, 2011; 袁媛等, 2012; 王钦等, 2012; 吴萍等, 2017)。

不同强度厄尔尼诺事件对东亚夏季风系统及中国气候影响也有明显的不同。强厄尔尼诺造成的环流和降水异常强度大,影响开始的时间也较早,而中等强度厄尔尼诺的影响明显偏弱且较晚;中等强度厄尔尼诺次年,中国夏季降水为北方型,黄河流域降水偏多,而长江流域及江南大部降水偏少(薛峰和刘长征, 2007)。大气对于超强厄尔尼诺事件的强迫响应比对普通厄尔尼诺事件的响应更强,有利于超强厄尔尼诺事件发展年秋季至衰减年夏季的西太副高西伸更明显,强度更强(袁媛等, 2016; 钱代丽和管兆勇, 2018)。中等及以上强度东部型厄尔尼诺事件次年,华南前汛期开汛早、结束晚,前汛期持续时间长、降水多;弱等级的东部型以及中部型厄尔尼诺事件

次年则相反(伍红雨和吴遥,2018)。

厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响也不同。春季开始的厄尔尼诺事件当年夏季多雨区出现在淮河流域,夏秋季开始的厄尔尼诺事件,次年夏季主要多雨区出现在长江中下游及其以南地区;秋冬季开始出现明显增暖的厄尔尼诺发展年,长江中下游地区梅雨量偏少,而春夏季开始出现明显增暖的厄尔尼诺发展年,长江中下游地区梅雨量偏多(赵汉光等,1990;赵振国,1996)。以上研究是针对 20 世纪 90 年代之前的厄尔尼诺事件进行分析。1990 年以来新增了 11 个厄尔尼诺事件,上述的结论是否仍适用?且近 20 年来国内学者主要研究不同类型和不同强度厄尔尼诺事件以及厄尔尼诺不同位相对中国夏季降水的影响,很少分析厄尔尼诺不同开始时间对中国气候的影响。因此,有必要加入 1990 年以来厄尔尼诺事件,分析其开始早晚对中国夏季降水的影响,有助于预报员在更多样本条件下了解厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响,提高预报员在实际预测业务中更全面深入地理解厄尔尼诺对中国夏季降水的影响,从而达到提升汛期预测业务水平目的,为防灾减灾的气象服务和科学决策提供依据。

1 资料和方法

本文降水资料来自国家气象信息中心 731 个站的逐月资料,时段为 1961—2023 年。由于全国各站建站时间不一致及数据缺测的原因,最后选取全国 643 个代表站。采用同一时段美国 NCAR/NCEP 逐月的低层 850 hPa 风场,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; NOAA ERSST 逐月海面温度(SST)资料,分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。Niño3.4 指数是指 $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ} \sim 170^{\circ}\text{W}$ 范围内 SST 异常(SSTA)的区域平均值,文中该指数由 ERSST SST 计算得到。气候态取 1991—2020 年平均,夏季指 6—8 月。利用合成方法分析厄尔尼诺开始早晚与中国夏季降水的关系。

2 厄尔尼诺开始早晚判据

依据相关标准(中国气象局,2017),Niño3.4 的 3 个月滑动平均绝对值达到或超过 0.5°C 、持续至少 5 个月,判定为一次厄尔尼诺/拉尼娜事件。事件的起始月份为第一个满足判定条件的月份。考虑到本

文是分析厄尔尼诺开始早晚对夏季降水的影响以及大气对 SST 的滞后响应,以厄尔尼诺开始月出现在 6 月之前判定为厄尔尼诺事件开始较早,开始月出现在 6 月及其之后则判定为厄尔尼诺开始较晚。1961 年以来共发生了 20 次厄尔尼诺事件,其中有 7 年厄尔尼诺开始较早,13 年开始较晚(表 1)。由表 1 可见,7 个厄尔尼诺开始较早年强度等级均为中等或以上。13 个厄尔尼诺开始较晚年除了 1986 年、1994 年、2009 年和 2014 年,其他 9 年强度等级均为弱。由此可见,厄尔尼诺事件开始较早,强度一般较强,而开始较晚,强度往往较弱。

表 1 1961—2023 年厄尔尼诺开始较早年和较晚年

Table 1 Earlier and later years of El Niño onset from 1961 to 2023

开始早晚年	开始时间	强度等级
较早年	1965 年 5 月	中等
	1972 年 5 月	强
	1982 年 4 月	超强
	1991 年 5 月	中等
	1997 年 4 月	超强
	2002 年 5 月	中等
	2023 年 5 月	中等
较晚年	1963 年 7 月	弱
	1968 年 10 月	弱
	1976 年 9 月	弱
	1977 年 9 月	弱
	1979 年 9 月	弱
	1986 年 8 月	中等
	1994 年 9 月	中等
	2004 年 7 月	弱
	2006 年 8 月	弱
	2009 年 6 月	中等
	2014 年 10 月	超强
	2018 年 9 月	弱
	2019 年 11 月	弱

3 厄尔尼诺开始早晚 SST 差异

厄尔尼诺开始较早年和较晚年夏季各月 SST 最大的差异在于赤道中东太平洋(图 1)。开始较早年,6 月赤道中东太平洋 SST 已转为正异常(图 1a),大部海域大于 0.5°C ,平均 Niño3.4 指数为 0.78°C ;7 月、8 月赤道中东太平洋持续增暖(图 1c, 1e),平均 Niño3.4 指数分别为 0.96°C 和 1.12°C 。开始较晚年,6 月赤道中东太平洋只有部分海域 SST 为正异常,且未达到 0.5°C (图 1b),平均 Niño3.4

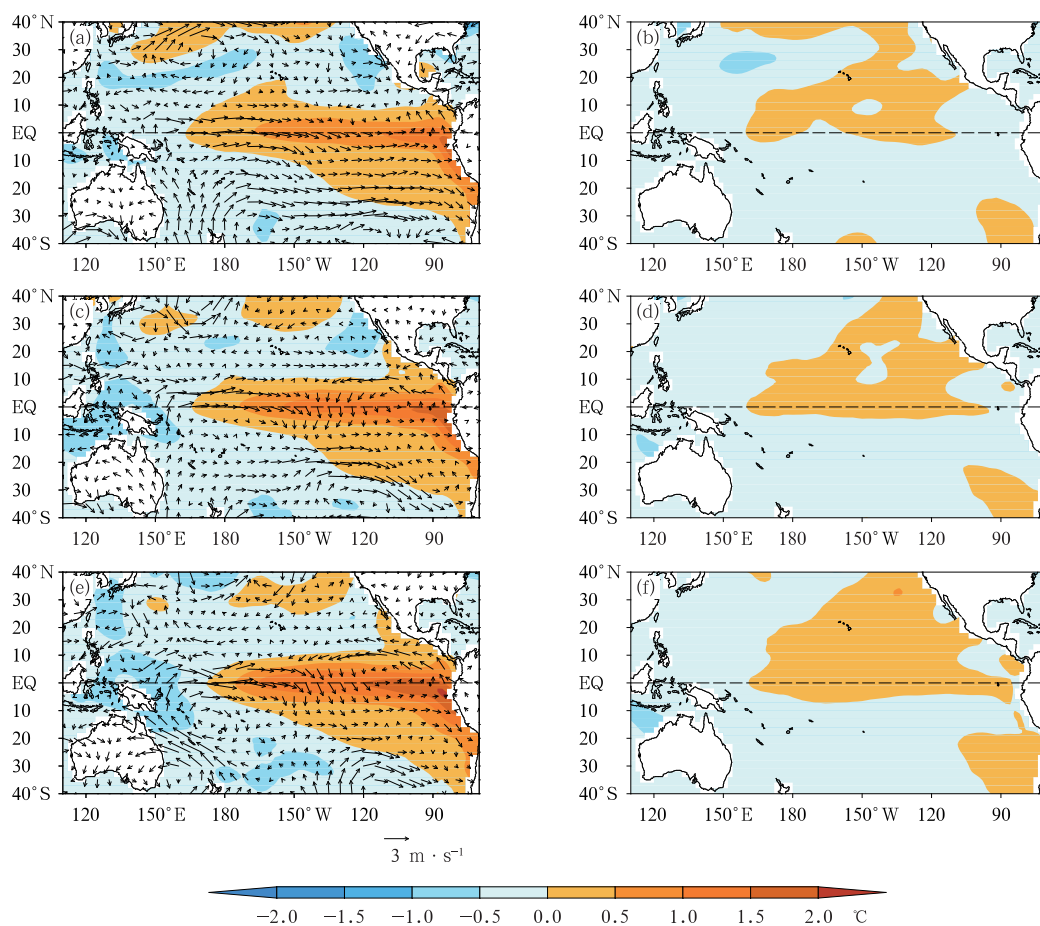


图1 1961—2023年厄尔尼诺开始(a,c,e)较早年和(b,d,f)较晚年对应的(a,b)6月、(c,d)7月、(e,f)8月SSTA(填色)和(a,c,e)850 hPa风场差值(风矢)

Fig. 1 The (a, b) June, (c, d) July and (e, f) August SSTA (colored) and (a, c, e) 850 hPa wind field difference (wind vector) in (a, c, e) earlier and (b, d, f) later years of El Niño onset from 1961 to 2023

指数为 0.18°C ; 7月、8月赤道中东太平洋SST变化缓慢(图1d, 1f), 平均 Niño3.4 指数分别为 0.25°C 和 0.28°C 。

从厄尔尼诺开始较早年和较晚年各月低层风场差值(图1a, 1c, 1e)来看, 6月赤道太平洋($150^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{W}$)为西风异常(图1a), 表明厄尔尼诺开始较早年西风异常明显强于开始较晚年, 相应地赤道中东太平洋SST正异常明显高于开始较晚年。7—8月, 赤道太平洋($150^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{W}$)仍为西风异常(图1c, 1e), 开始较早年西风异常仍强于较晚年, 相应地7—8月SST增暖更明显。

4 厄尔尼诺开始早晚年夏季降水

4.1 夏季降水

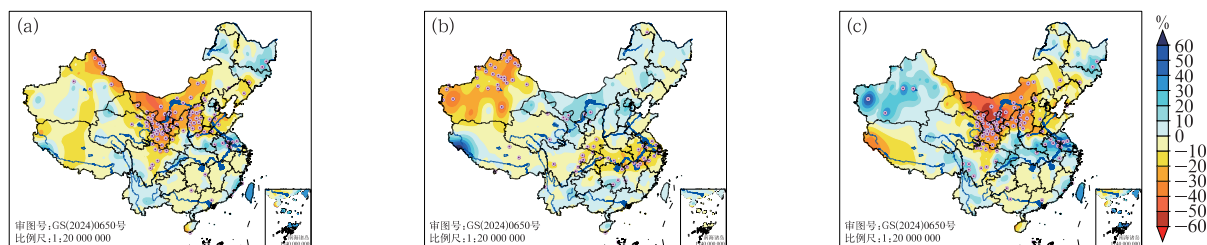
从厄尔尼诺开始较早年和较晚年对应中国夏季

降水量距平百分率合成及其差值(图2)来看, 开始较早年中国中东部降水从南到北呈“一十一”三极型分布(图2a), 长江流域以南地区和黄河流域及其以北地区降水偏少, 其中西北中东部和华北大部通过了0.05显著性水平检验, 而江淮地区降水偏多, 部分地区通过0.05显著性水平检验。厄尔尼诺开始较晚年, 中国中东部夏季降水从南到北呈“十一十”距平分布(图2b), 与开始较早年呈相反位相, 西南部、华南至江南南部和我国北方大部地区降水偏多, 其中西北东部部分地区通过0.05显著性水平检验, 而江淮流域、黄淮地区降水偏少, 其中长江中下游通过0.05显著性水平检验。从厄尔尼诺开始较早与开始较晚年对应夏季降水量距平百分率差值看得更清楚, 我国中东部降水呈“一十一”三极型分布(图2c), 其中西北中东部和华北西部偏少、江淮地区偏多, 通过了0.05显著性水平检验。

4.2 降水月际变化

图 3 是厄尔尼诺开始较早和较晚年对应中国夏

季各月降水量距平百分率合成及其差值。对于厄尔尼诺开始较早年,6 月中国中东部大部降水偏少,其中华南中北部、江南东北部和黄河下游通过了 0.05



注:圆点表示通过 0.05 显著性水平检验的站点。

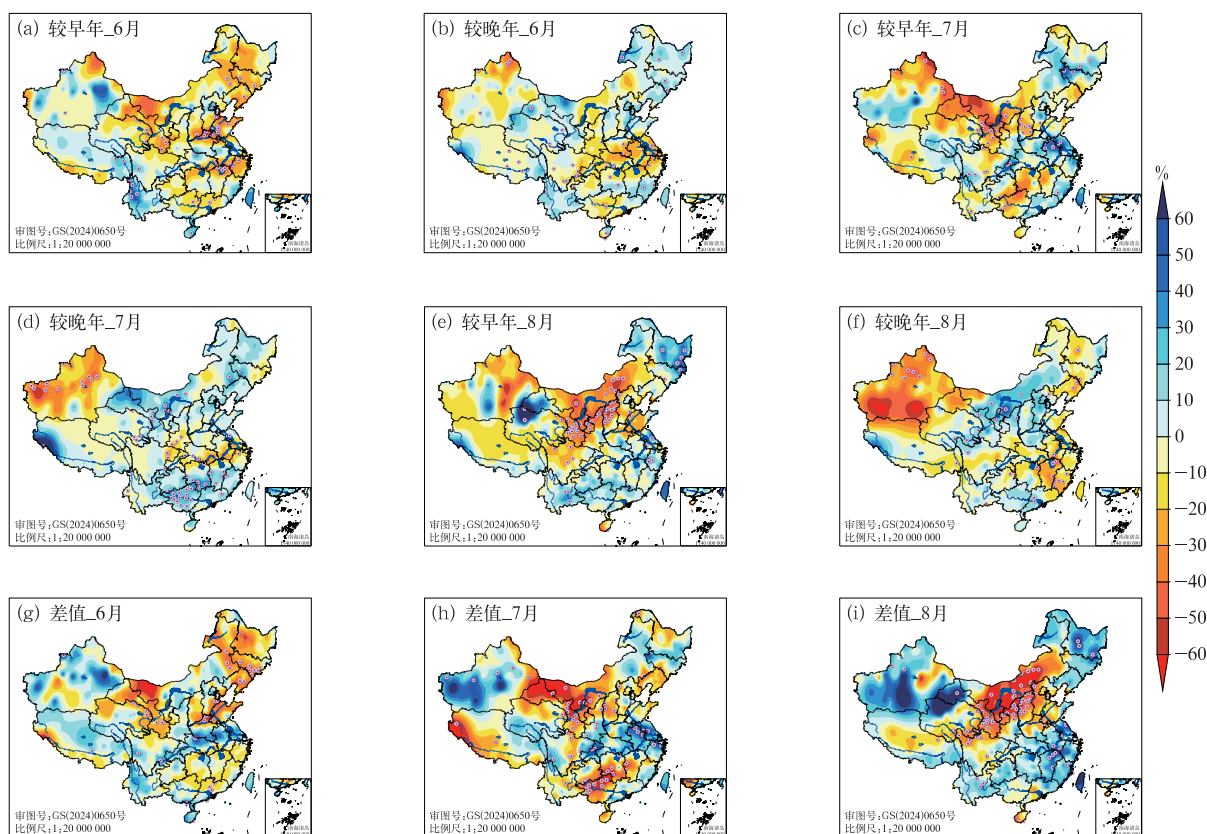
图 2 1961—2023 年厄尔尼诺年夏季降水量距平百分率合成

(a) 开始较早年, (b) 开始较晚年, (c) 早晚年差值

Fig. 2 Composite graphs of the percentages of summer precipitation anomalies in

El Niño years from 1961 to 2023

(a) earlier onset years, (b) later onset years, (c) difference between earlier years and later years



注:圆点表示通过 0.05 显著性水平检验的站点。

图 3 1961—2023 年厄尔尼诺年 6 月、7 月和 8 月降水量距平百分率合成

(a, c, e) 开始较早年, (b, d, f) 开始较晚年, (g~i) 早晚年差值

Fig. 3 Composite graphs of the percentages of precipitation anomalies in June,

July and August of El Niño years from 1961 to 2023

(a, c, e) earlier onset years, (b, d, f) later onset years, (g~i) difference between earlier years and later years

显著性水平检验(图 3a)。进入 7 月,华南沿海、长江中下游至黄河下游之间和东北中部降水转为偏多,其中江淮和东北部分地区通过了 0.05 显著性水平检验,而江南大部、华北大部和西北中东部持续偏少,其中华北西南部和西北中东部部分地区通过了 0.05 显著性水平检验(图 3c)。8 月,长江中下游及其以南大部、西南南部和东北北部降水偏多,其中长江下游、江南东部部分地区和东北东部通过 0.05 显著性水平检验,中国北方大部降水持续偏少,其中华北西部和西北中东部通过 0.05 显著性水平检验(图 3e)。厄尔尼诺开始较早年,夏季各月中国北方大部降水持续偏少,降水持续性特征明显;长江下游和江淮地区 6 月偏少,7 月转为偏多,8 月长江中下游降水持续偏多,梅汛期(6—7 月)降水月际转折性特征明显,而盛夏(7—8 月)降水月际持续性特征显著。

对于厄尔尼诺开始较晚年,6 月中国中东部降水从南到北大致呈“一十—”距平分布(图 3b),江南南部、东北和华北中南部降水偏多,而华南中西部、江淮流域和黄淮地区降水偏少,其中长江中下游部分地区通过 0.05 显著性水平检验。进入 7 月,中东部降水从南到北大致呈“十—十”三极型分布(图 3d),长江流域以南地区和中国北方大部降水偏多,而长江中下游偏少;与 6 月相比,长江流域以南地区和北方降水偏多程度更明显,偏多范围也更大,通过 0.05 显著性水平检验的站点也更多。8 月,降水仍为三极型分布(图 3f),但南方和北方偏多范围均有所缩小,江南和东北由偏多转为大部偏少,其中黄河上游、江南中部和长江中游通过 0.05 显著性水平检验。由此可见,厄尔尼诺开始较晚年各月降水

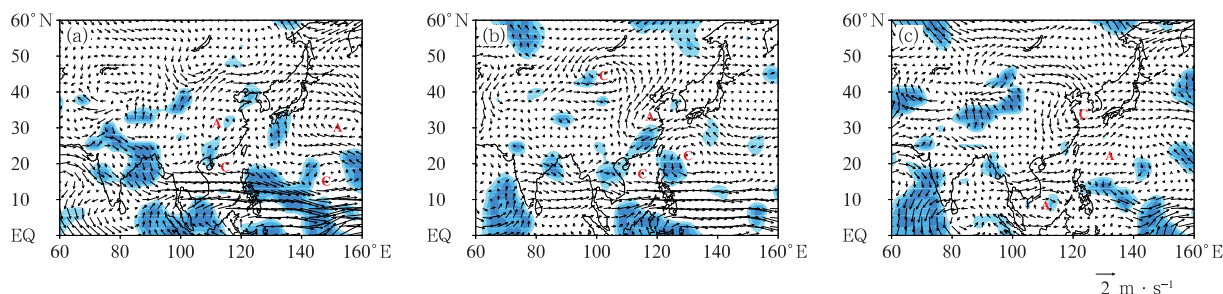
的持续性较明显。6—8 月长江中下游降水持续偏少,对应梅雨量偏少,这与赵汉光等(1990)指出秋冬季开始出现明显增暖的厄尔尼诺发展年长江中下游地区梅雨量偏少相一致。

从厄尔尼诺开始较早与较晚年对应各月降水量距平百分率差值来看,6 月,中国中东部从南到北基本呈“一十—”经向分布,长江流域大部降水偏多,长江以南和黄河流域及其以北大部降水偏少,其中华南、华北南部和东北中南部通过 0.05 显著性水平检验(图 3g)。7 月,中国中东部也呈“一十—”经向波列,但降水偏多范围明显扩大,通过 0.05 显著性水平检验范围也明显增大,其中江淮流域和黄淮地区大部降水偏多,长江以南大部、华北和西北偏少(图 3h)。8 月,中东部降水大致为“十—”偶极型分布,长江中下游及其以南大部 and 东北大部降水偏多,其中长江中下游和江南北部通过 0.05 显著性水平检验,黄河流域及其以北大部降水偏少,其中华北中西部和西北中东部通过 0.05 显著性水平检验(图 3i)。综上,厄尔尼诺开始较早与较晚年对应夏季各月降水分布有明显的差异,其中 7 月和 8 月差异最为明显。

5 厄尔尼诺开始早晚年夏季低层风场

5.1 夏季风场

厄尔尼诺开始较早年夏季,在低层 850 hPa 风场距平场上(图 4a),赤道西太平洋盛行西风异常,西北太平洋为异常气旋,其中广东沿海和 16°N、150°E 附近各为气旋中心,江南和华南地区受异常



注:蓝色阴影表示通过 0.05 显著性水平检验,C 和 A 分别表示气旋和反气旋。

图 4 1961—2023 年厄尔尼诺年夏季 850 hPa 风场距平合成

(a) 开始较早年,(b) 开始较晚年,(c) 早晚年差值

Fig. 4 Composite graphs of 850 hPa wind anomalies in summer of El Niño years from 1961 to 2023

(a) earlier onset years, (b) later onset years, (c) difference between earlier years and later years

气旋北侧东北风控制,对应降水偏少,黄海至日本及其以东洋面为异常反气旋,其南侧偏东气流携带海上水汽输送到江淮地区,使得该地区降水偏多,中国北部受异常反气旋控制,对应降水偏少(图 2a)。

厄尔尼诺开始较晚年夏季(图 4b),西太平洋为一个庞大的异常气旋,其西北侧东北气流(通过 0.05 显著性水平检验)与来自孟加拉湾的西南气流在华南汇合,导致华南降水偏多。从黄淮到渤海为异常反气旋,其携带南方水汽与蒙古异常气旋南侧偏北风在中国北方汇合,导致降水偏多;而江淮地区处于西太平洋异常气旋和黄淮异常反气旋之间的气流辐散区,相应降水偏少(图 2b)。

从厄尔尼诺开始较早年与较晚年夏季低层风场差值(图 4c)来看,台湾附近及其以东海域为异常反气旋,其西侧西南气流输送到长江中下游,与黄海异常气旋南侧偏北气流汇合,导致该地区降水偏多(图 2c)。

从厄尔尼诺开始较早年夏季环流来看,并不能很好解释江淮地区降水偏多,主要原因是夏季是 6—8 月三个月的平均,对环流起到了平滑作用。下文对夏季各月低层风场进行分析。

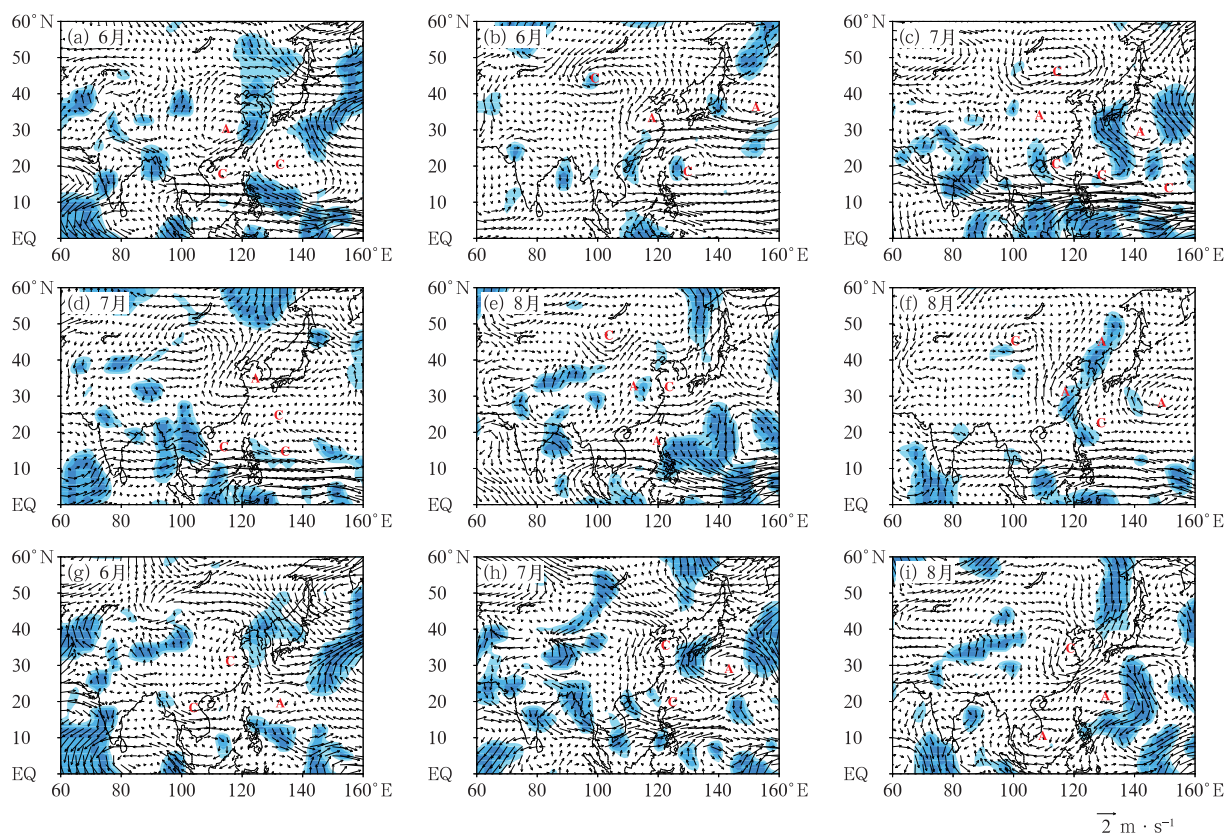
5.2 风场月际变化

图 5a 为厄尔尼诺开始较早年 6 月低层 850 hPa 风场距平场,赤道西太平洋盛行异常西风,西太平洋为一个异常气旋,气旋西侧东北风通过了 0.05 显著性水平检验,长江及其以北地区为一个异常反气旋,受其影响,中国中东部大部降水偏少;日本以东洋面为一个异常反气旋。进入 7 月(图 5c),西太平洋异常气旋明显南压并分裂为三个中心,其中一个位于广东沿海,日本以东异常反气旋西伸南压至日本南部海域,其西侧西南气流通过 0.05 显著性水平检验,受异常反气旋西侧偏南气流和广东沿海异常气旋共同影响,中国东南沿海由异常东北风转为异常偏南风,使得华南沿海降水偏多;反气旋西侧南方气流与蒙古异常气旋南侧偏北气流在江淮地区汇合,使该地区降水转为偏多;中国西北中东部和华北大部受异常反气旋控制,对应降水偏少。8 月(图 5e),西太平洋异常气旋东退至 140°E 以东海域,南海至菲律宾北部及其以东海域等西太平洋地区转为异常反气旋,黄海至韩国则被异常气旋环流控制,该气旋西侧的偏北气流与 WNPAC 西北侧偏南气流在长江中下游汇合,使得该地区降水偏多;受 WNPAC

西侧偏南气流与来自孟加拉湾偏南气流共同影响,长江以南大部地区降水偏多;中国北方受异常反气旋控制,对应大部降水偏少。

厄尔尼诺开始较晚年 6 月(图 5b),赤道西太平洋也为异常西风,但大部未通过 0.05 显著性水平检验;西太平洋为一个庞大的异常气旋,受其偏东气流和来自孟加拉湾偏南气流共同影响,江南中部降水偏多;江淮黄淮上空为异常反气旋,对应降水偏少;江淮黄淮异常反气旋携带海上水汽输送到华北南部和东北地区,使得这些地区降水偏多。7 月(图 5d),西北太平洋异常气旋分裂为三个中心,其中一个位于南海北部,其北侧偏东气流与来自孟加拉湾的水汽相汇合,输送到华南和江南地区,使得这些地区降水偏多;黄淮至日本海为一个异常反气旋,其西侧的水汽输送到我国北方大部,相应降水偏多;而长江中下游处于北边异常反气旋和南边异常气旋之间的辐散区,相应降水偏少。8 月(图 5f),西太平洋异常气旋明显减弱,黄淮至日本海异常反气旋明显西伸南压,并分裂为两个中心,分别位于江淮东部和东北,受其影响,东北降水由偏多转为偏少,中国北方多雨范围缩小,江南华南多雨区也较 7 月缩小,江南大部降水由偏多转为偏少,长江流域少雨范围向南扩大,即江南大部和江淮流域降水偏少,且江南中东部通过 0.05 显著性水平检验。

从厄尔尼诺开始较早年与较晚年对应各月低层风场差值来看,6 月(图 5g),中南半岛至南海为异常气旋,而台湾岛以东为一个异常反气旋,表明厄尔尼诺开始较早年在 6 月 WNPAC 已有露头的迹象;中国大部主要受偏北风控制,对应降水偏少。7 月(图 5h),西太平洋为一个异常气旋带,一个中心位于广东沿海,另一个位于 20°N 、 132°E 附近,日本南部海域为一个异常反气旋,反气旋南侧偏南气流向西延伸至中国东南沿海,并与广东沿海异常气旋东侧偏南气流汇聚,汇聚的偏南气流与黄海异常气旋西侧的偏北气流相汇合,导致江淮流域降水偏多,东南沿海偏南气流和日本南部海域异常反气旋是否出现可能是厄尔尼诺开始较早年与较晚年江淮流域降水出现明显差异的直接原因;而中国北方大部和长江以南大部受偏北风控制,对应降水偏少。8 月(图 5i),西北太平洋为一个庞大的异常反气旋控制,黄淮为一个异常气旋,南北气流在长江中下游及其以南地区汇合,导致厄尔尼诺开始较早年这些地区降水偏多,而西北东部和华北地区受异常反气旋控



注:蓝色阴影表示通过 0.05 显著性水平检验,C 和 A 分别表示气旋和反气旋。

图 5 1961—2023 年厄尔尼诺年 6 月、7 月和 8 月 850 hPa 风场距平合成
(a, c, e) 开始较早年, (b, d, f) 开始较晚年, (g~i) 早晚年差值

Fig. 5 Composite graphs of 850 hPa wind anomalies in June, July and August of El Niño years from 1961 to 2023

(a, c, e) earlier onset years, (b, d, f) later onset years,
(g~i) difference between earlier years and later years

制相应降水偏少。因此厄尔尼诺开始较早年和较晚年的主要差异在于 7—8 月中国东南沿海异常偏南风 and WNPAC 是否出现。

Zhang R H et al (1996; 2017) 和张人禾等 (2017) 研究表明, 厄尔尼诺通过 WNPAC 影响东亚大气环流和中国降水的年际变异。厄尔尼诺发展年一般在秋季出现 WNPAC (赵振国, 1996; Zhang R H et al, 1996)。本文普查了每个厄尔尼诺开始较早年和较晚年 WNPAC 稳定出现的最早月份 (表 2), 其中 7 个开始较早年中, 有 5 年 WNPAC 最早出现在 8 月及其之前, 另外 2 年出现在 9 月和 10 月; 13 个开始较晚年中, 有 11 年 WNPAC 出现在 9 月及其之后, 且有 9 年出现在 10 月及其以后。厄尔尼诺开始较晚年 WNPAC 最早出现时间与赵振国

(1996) 和 Zhang R H et al (1996) 研究结论相一致, 但开始较早年 WNPAC 最早出现时间比两位学者研究结论更早。厄尔尼诺开始早晚年 WNPAC 出现时间不同可能是造成中国东部夏季降水差异的原因。厄尔尼诺开始较早年 WNPAC 一般出现在 8 月前后, 南方暖湿气流从 7 月开始持续影响长江中下游, 导致该地区盛夏降水偏多; 而开始较晚年出现在 10 月或之后, 南方暖湿气流未能达到长江中下游地区, 使得该地区降水偏少。前文指出, 厄尔尼诺开始较早年事件强度一般为中等以上, 开始较晚年事件强度一般较弱。较早发生的厄尔尼诺事件通常引发更大范围的 SST 异常, 进而更强烈地影响全球大气环流及更早地触发或增强西北太平洋地区的大气环流异常, 从而促进 WNPAC 的形成。

表 2 1961—2023 年厄尔尼诺开始较早和较晚年 WNPAC 稳定出现最早月份

Table 2 The earliest month for the stable occurrence of WNPAC in years with early and late onset of El Niño from 1961 to 2023

开始早晚年	年份	WNPAC 出现月份
较早年	1965	7
	1972	8
	1982	8
	1991	5
	1997	9
	2002	8
	2023	10
较晚年	1963	7
	1968	10
	1976	10
	1977	10
	1979	12
	1986	10
	1994	11
	2004	9
	2006	9
	2009	12
	2014	8
	2018	10
	2019	10

6 结论和讨论

利用 1961—2023 年中国 643 个站逐月降水量、NCAR/NCEP 再分析资料逐月 850 hPa 风场、NOAA ERSST 逐月 SST 资料,分析了厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响,得到如下结论。

(1)以厄尔尼诺开始月出现在 6 月前后为判据来衡量厄尔尼诺发生早晚。如果厄尔尼诺开始月出现在 6 月之前判定厄尔尼诺开始较早,出现在 6 月及其之后则判定为厄尔尼诺开始较晚。

(2)厄尔尼诺开始较早年 6—8 月赤道中西太平洋异常西风明显强于厄尔尼诺开始较晚年,开始较早年赤道中东太平洋 SST 增暖更为明显,6 月 Niño3.4 指数已达 0.78°C ,7—8 月持续上升。开始较晚年赤道中东太平洋 SST 增暖不明显且发展缓慢。

(3)厄尔尼诺开始较早和较晚年对应中国中东部夏季降水有明显的差异,其中 7 月和 8 月差异最明显。厄尔尼诺开始较早年中国中东部夏季降水从南到北呈“一十—”三极型分布,江淮地区偏多,其他地区偏少;其中 6 月我国中东部大部降水偏少;7 月

华南沿海和江淮流域降水转为偏多,长江以南、西北、华北持续偏少;8 月降水为“十—”经向分布,长江中下游及其以南大部偏多,西北和华北持续偏少;季内各月北方降水持续偏少特征明显;长江中下游梅汛期降水月际转折性特征明显,盛夏降水月际持续性特征显著。厄尔尼诺开始较晚年中国中东部夏季降水与开始较早年基本呈反位相分布,各月降水持续性特征明显。

(4)厄尔尼诺开始较早年 WNPAC 一般在 8 月前后出现。6 月西太平洋为异常气旋,长江中下游及其以北地区受异常反气旋控制,中国中东部降水偏少;7 月西太平洋异常气旋明显南压,日本以东异常反气旋明显西伸南压,我国东南沿海转为异常偏南风,华南沿海、江淮流域降水转为偏多;8 月西太平洋异常气旋进一步东退,西北太平洋转为异常反气旋,WNPAC 开始出现,黄海至韩国为异常气旋,南北气流在长江中下游汇合。

(5)厄尔尼诺开始较晚年 WNPAC 一般出现在 10 月或之后。6—8 月西太平洋一直为异常气旋,受气旋西北侧东北风与来自孟加拉湾偏南气流共同影响,长江中下游以南地区降水偏多;长江中下游受异常反气旋控制对应降水偏少;中国北方处于反气旋西侧偏南气流和蒙古异常气旋南侧偏北气流汇合区,对应降水偏多。厄尔尼诺开始较早年和较晚年低层风场最大差异在于 7—8 月中国东南沿海异常偏南风和 WNPAC 是否出现。

值得注意的是,不同类型厄尔尼诺事件对中国夏季降水的影响有显著的差异。本文只分析了厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响,并没有细分不同类型厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响。因此,不同类型厄尔尼诺开始早晚对中国夏季降水的影响值得进一步开展研究。另外,中国夏季降水受到多种因素的共同影响,其中海洋外强迫尤为关键。除了厄尔尼诺现象外,印度洋 SST 对中国夏季降水也有重要影响(Ding et al, 2021; Guo et al, 2021; 郭媛媛等, 2021; 刘芸芸等, 2021),因此,厄尔尼诺与印度洋 SST 对中国夏季降水的协同影响也值得进一步研究。

参考文献

- 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 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).
- 高辉, 2006. 淮河夏季降水与赤道东太平洋海温对应关系的年代际变化[J]. 应用气象学报, 17(1): 1-9. Gao H, 2006. Decadal variation of the relationship between summer precipitation along the Huaihe River Valley and SST over the equatorial eastern Pacific [J]. J Appl Meteor Sci, 17(1): 1-9 (in Chinese).
- 顾薇, 2016. 夏季热带西太平洋海温对厄尔尼诺发展阶段我国东部汛期降水的影响分析[J]. 气象, 42(5): 548-556. Gu W, 2016. Possible impact of the western tropical Pacific SSTA on precipitation during the El Niño developing summers in the eastern part of China[J]. Meteor Mon, 42(5): 548-556 (in Chinese).
- 郭媛媛, 张芮洁, 温之平, 等, 2021. 热带西印度洋年代际增暖对2020年超强梅雨的可能贡献[J]. 中国科学: 地球科学, 51(10): 1624-1636. Guo Y Y, Zhang R J, Wen Z P, et al, 2021. Understanding the role of SST anomaly in extreme rainfall of 2020 Meiyu season from an interdecadal perspective[J]. Sci China Earth Sci, 51(10): 1624-1636 (in Chinese).
- 金祖辉, 陶诗言, 1999. 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, 23(6): 663-672. Jin Z H, Tao S Y, 1999. A study on the relationships between ENSO cycle and rainfalls during summer and winter in eastern China[J]. Chin J Atmos Sci, 23(6): 663-672 (in Chinese).
- 刘芸芸, 王永光, 柯宗建, 2021. 2020年夏季我国气候异常特征及成因分析[J]. 气象, 47(1): 117-126. Liu Y Y, Wang Y G, Ke Z J, 2021. Characteristics and possible causes for the climate anomalies over China in summer 2020[J]. Meteor Mon, 47(1): 117-126 (in Chinese).
- 罗连升, 徐敏, 梁树献, 2018. 厄尔尼诺/拉尼娜与淮河流域汛期降水年际关系的稳定性分析[J]. 气象, 44(8): 1073-1081. Luo L S, Xu M, Liang S X, 2018. Stability analysis of the interannual relationship between El Niño/La Niña and the summer rainfall over Huaihe River Basin[J]. Meteor Mon, 44(8): 1073-1081 (in Chinese).
- 钱代丽, 管兆勇, 2018. 超强与普通厄尔尼诺海-气特征差异及对西太平洋副热带高压的不同影响[J]. 气象学报, 76(3): 394-407. Qian D L, Guan Z Y, 2018. Different features of super and regular El Niño events and their impacts on the variation of the West Pacific subtropical high[J]. Acta Meteor Sin, 76(3): 394-407 (in Chinese).
- 王钦, 李双林, 付建建, 等, 2012. 1998和2010年夏季降水异常成因的对比分析: 兼论两类不同厄尔尼诺事件的影响[J]. 气象学报, 70(6): 1207-1222. Wang Q, Li S L, Fu J J, et al, 2012. On the formation of anomalous summer precipitation in the years of 2010 and 1998: a comparison of the El Niño's impact between Modoki and typical El Niño cases[J]. Acta Meteor Sin, 70(6): 1207-1222 (in Chinese).
- 伍红雨, 吴遥, 2018. 不同类型和强度的厄尔尼诺事件对次年华南前汛期降水的可能影响[J]. 大气科学, 42(5): 1081-1095. Wu H Y, Wu Y, 2018. Possible impacts of El Niño events of different types and intensity on precipitation in the subsequent first rainy season in south China[J]. Chin J Atmos Sci, 42(5): 1081-1095 (in Chinese).
- 吴萍, 丁一汇, 柳艳菊, 2017. 厄尔尼诺事件对中国夏季水汽输送和降水分布影响的新研究[J]. 气象学报, 75(3): 371-383. Wu P, Ding Y H, Liu Y J, 2017. A new study of El Niño impacts on summertime water vapor transport and rainfall in China[J]. Acta Meteor Sin, 75(3): 371-383 (in Chinese).
- 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 F, Liu C Z, 2007. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO[J]. Chin Sci Bull, 52(23): 2798-2805 (in Chinese).
- 袁媛, 高辉, 贾小龙, 等, 2016. 2014—2016年超强厄尔尼诺事件的气候影响[J]. 气象, 42(5): 532-539. Yuan Y, Gao H, Jia X L, et al, 2016. Influences of the 2014—2016 super El Niño event on climate[J]. Meteor Mon, 42(5): 532-539 (in Chinese).
- 袁媛, 杨辉, 李崇银, 2012. 不同分布型厄尔尼诺事件及对中国次年夏季降水的可能影响[J]. 气象学报, 70(3): 467-478. Yuan Y, Yang H, Li C Y, 2012. Study of El Niño events of different types and their potential impact on the following-summer precipitation in China[J]. Acta Meteor Sin, 70(3): 467-478 (in Chinese).
- 张人禾, 闵庆焯, 苏京志, 2017. 厄尔尼诺对东亚大气环流和中国降水年际变异的影响: 西北太平洋异常反气旋的作用[J]. 中国科学: 地球科学, 47(5): 544-553. Zhang R H, Min Q Y, Su J Z, 2017. Impact of El Niño on atmospheric circulations over East Asia and rainfall in China: role of the anomalous western North Pacific anticyclone[J]. Sci China Earth Sci, 47(5): 544-553 (in Chinese).
- 赵汉光, 张先恭, 丁一汇, 1990. 厄尔尼诺与我国气候异常[M]//“长期天气预报理论、方法和资料库建立”研究项目总课题组. 长期天气预报论文集. 北京: 气象出版社: 108-118. Zhao H G, Zhang X G, Ding Y H, 1990. The Impact of El Niño on China's Climate Anomalies[M] // The Overall Research Team of the “Long Term Weather Forecast Theory, Methods, and Database Establishment” Research Project. Collection of Papers on Long-Term Weather Forecasting. Beijing: China Meteorological Press: 108-118 (in Chinese).
- 赵亮, 邹力, 王恩华, 2007. 与 ENSO 有关和无关年江、淮旱涝可能成因研究[J]. 气象科学, 27(6): 618-625. Zhao L, Zou L, Wang E H, 2007. Study on causes of drought and flood over the Huaihe and mid-lower Yangtze Valleys during the summers with and without ENSO[J]. J Meteor Sci, 27(6): 618-625 (in Chinese).
- 赵振国, 1996. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响[J]. 大气科学, 20(4): 422-428. Zhao Z G, 1996. Impact of El Niño events on atmospheric circulations in the Northern Hemisphere and precipitation in China[J]. Sci Atmos Sin, 20(4): 422-428 (in Chinese).
- 中国气象局, 2017. 厄尔尼诺/拉尼娜事件判别方法: GB/T 33666—2017[S]. 北京: 气象出版社. China Meteorological Administration, 2017. Identification method for El Niño/La Niña events: GB/T 33666—2017[S]. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese).

- 宗海锋,陈烈庭,张庆云,2010. ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征[J]. 大气科学,34(1):184-192. Zong H F, Chen L T, Zhang Q Y, 2010. The instability of the interannual relationship between ENSO and the summer rainfall in China[J]. Chin J Atmos Sci, 34(1):184-192(in Chinese).
- Chang C P, Zhang Y S, Li T, 2000. Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: roles of the subtropical ridge[J]. J Climate, 13(24):4310-4325.
- Ding Y H, Liu Y Y, Hu Z Z, 2021. The record-breaking Mei-yu in 2020 and associated atmospheric circulation and tropical SST anomalies[J]. Adv Atmos Sci, 38(12):1980-1993.
- Feng J, Chen W, Tam C Y, et al, 2011. Different impacts of El Niño and El Niño Modoki on China rainfall in the decaying phases [J]. Int J Climatol, 31(14):2091-2101.
- Guo Y Y, Zhang R J, Wen Z P, et al, 2021. Understanding the role of SST anomaly in extreme rainfall of 2020 Meiyu season from an interdecadal perspective[J]. Sci China Earth Sci, 64(10):1619-1632.
- 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.
- Wang B, Wu R G, Fu X H, 2000. Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? [J]. J Climate, 13(9):1517-1536.
- Xue F, Liu C Z, 2008. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO [J]. Chin Sci Bull, 53(5):791-800.
- Zhang R H, Min Q Y, Su J Z, 2017. Impact of El Niño on atmospheric circulations over East Asia and rainfall in China: role of the anomalous western North Pacific anticyclone [J]. Sci China Earth Sci, 60(6):1124-1132.
- Zhang R H, Sumi A, Kimoto M, 1996. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: a diagnostic study of the 86/87 and 91/92 events[J]. J Meteor Soc Japan, 74(1):49-62.
- Zhang W J, Jin F F, Li J P, et al, 2011. Contrasting impacts of two-type El Niño over the western North Pacific during boreal autumn[J]. J Meteor Soc Japan, 89(5):563-569.
- Zhang W J, Jin F F, Ren H L, et al, 2012. Differences in teleconnection over the North Pacific and rainfall shift over the USA associated with two types of El Niño during boreal autumn[J]. J Meteor Soc Japan, 90(4):535-552.

(本文责编:侯翠梅)