

ENSO 与我国东部夏季雨型异常关系的年代际变化

许婷婷^{1,2} 郭品文^{1,2} 谢洁² 严小静²

摘要

利用 1951—2002 年 NCEP/NCAR 再分析资料、CPC(气候预测中心) Nino3 区海表温度序列和 NOAA 的 ERSST 资料,研究了 ENSO 与我国东部夏季雨型的相互关系及其年代际变化。结果表明:我国东部夏季雨型对 ENSO 事件的响应在 1978 年有一个明显的突变,在突变前,降水雨型与赤道东太平洋的海温为弱的负相关,而在突变后转为显著的正相关;滑动相关结果显示,近 20 a 是整个研究时段中二者相关性最强的时期;东亚夏季风和 ENSO 的相互关系在 1978 年也经历了一次明显的年代际变化,由弱的正相关转为显著的负相关。这可能是引起 ENSO 和夏季雨型异常关系年代际变化的原因。

关键词

ENSO;夏季雨型;赤道东太平洋海温;年代际变化

中图分类号 P426.614

文献标志码 A

收稿日期 2010-04-05

作者简介

许婷婷,女,硕士生,研究方向为海气相互作用. xutt727@163.com

1 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

0 引言

Introduction

众所周知,ENSO 是目前观测到的热带太平洋地区海气系统年际气候变率的最强信号^[1]。大量研究表明,ENSO 信号不仅存在于热带的海面温度、气压、风和云量等要素场中,而且在世界许多地区的大气环流和气候的年际变化中都有较清楚的反映^[2],因此它不仅对区域气候而且对全球气候异常都有明显的影响,往往带来严重的气候灾害和重大的经济损失^[1]。

大量研究表明,ENSO 与我国夏季降水有着密切的联系^[3-11]。符宗斌^[3]提出,不同类型的 ENSO 事件对中国汛期旱涝的分布具有不同的影响。黄荣辉等^[4]指出 ENSO 对中国旱涝分布的影响与 ENSO 事件的不同阶段有关。施能等^[5]研究了我国近百年夏季雨带的演变规律与 ENSO 的关系。赵振国等^[6]研究了 ENSO 与我国夏季雨型的关系,发现厄尔尼诺事件发生后,中国夏季华北到河套一带少雨、长江流域多雨,主要雨带位置偏南,夏季以前发生的厄尔尼诺事件的当年夏季主要雨带在黄河与长江之间或江南、华南一带多雨;夏季以后发生的厄尔尼诺事件的次年夏季主要雨带位于长江流域一带。

太平洋海气系统还存在着明显的年代际振荡现象(PDO)^[12-14],PDO 作为年际变率的背景,可对 ENSO 事件影响中国夏季降水异常产生调制作用^[15-16]。目前国内外的研究往往建立在年际变化的基础上,直接分析 ENSO 与中国夏季雨型年际气候异常的关系,而忽略了气候场的年代际背景可能对不同年际变化现象之间的联系产生影响。因此,本文将重点研究在不同的年代际背景下 ENSO 与中国夏季雨型的相关关系是否会发生变化以及如何变化,进一步探讨引起 ENSO 与中国夏季雨型异常关系的年代际变化的可能原因。

1 资料和方法

Data and methods

1.1 资料

1) 1951—2002 年 NCEP/NCAR 再分析月平均海平面气压,水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$;

2) 1950—2008 年 NOAA 的 ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature) 资料,水平分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$;

3) 1950—2002 年 CPC (美国国家气候预测中心) 的 Nino3 区逐月海表温度序列。

1.2 方法

利用 CPC 的 3 类雨型(表 1)和全球海温进行相关分析,并且与赤道东太平洋 Nino3 区的海温进行滑动相关分析,以揭示 ENSO 事件与中国东部夏季雨型异常关系的年代际变化. 国家气象中心根据我国大范围多雨区的分布位置将中国夏季(6—8 月)雨带类型划分为 3 种: I 类为主要多雨区位于黄河及其以北地区; II 类为主要多雨区位于长江—黄河之间; III 类为主要多雨区位于长江及其以南地区. 雨带类型使用 1951—2002 年的数据,得到一组 52 a 的雨量分型资料,以此来求出与海温的相关系数。

表 1 1951—2002 年我国东部夏季各类雨型的年份
Table 1 The summer rain patterns of eastern China during 1951—2002

雨型	年份
I 类	1953, 1958, 1959, 1960, 1961, 1964, 1966, 1967, 1973, 1976, 1977, 1978, 1981, 1985, 1988, 1992, 1994, 1995
II 类	1956, 1957, 1962, 1963, 1965, 1971, 1972, 1975, 1979, 1982, 1984, 1989, 1990, 1991, 2000
III 类	1951, 1952, 1954, 1955, 1968, 1969, 1970, 1974, 1980, 1983, 1986, 1987, 1993, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002

2 ENSO 与中国东部夏季雨型的相关关系及其年代际变化

The interannual relationship between ENSO and the rain pattern of eastern China and its interdecadal variation

大量研究已表明, ENSO 与我国夏季降水的关系非常密切. 由图 1 可以看出, 我国东部夏季雨型与太平洋海温存在 4 个高相关区, 分别是赤道东太平洋地区, 西北太平洋地区及中心位于(130 ~ 150°W, 20 ~ 30°S)和(160 ~ 180°E, 30 ~ 45°S)的南太平洋海域, 尤其前面两个区域相关更为显著。

然而, 这仅仅反映了东亚夏季风与太平洋海温的整体年际相关性. 许多研究表明, 大气相对海洋来说, 变化要快得多, 由于变化的特征是不一致的, 因而其相关关系随着长时间的演变, 可能会发生变化^[17]. 为此, 取赤道东太平洋(Nino3 区)为关键区, 参考徐建军等^[18]采用的滑动相关分析, 计算了我国东部夏季雨型与 Nino3 区海温的滑动相关(图 2), 滑动窗口长度 $l = 21$ a.

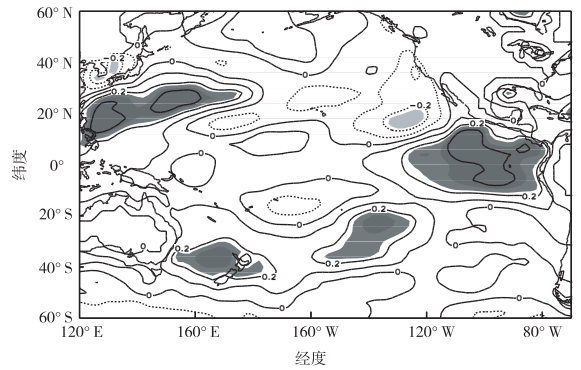


图 1 1951—2002 年中国东部夏季雨型与同期太平洋海温的相关(深、浅阴影区分别表示通过 0.05、0.1 显著性水平检验)
Fig. 1 Correlation between summer rain pattern and simultaneous SST in the Pacific region (Heavy/light shading denotes correlation significant at 0.05/0.1 confidence levels, respectively)

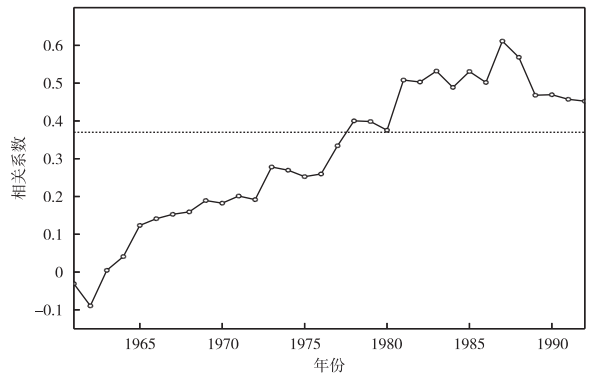


图 2 中国东部夏季雨型与同期 Nino3 区海温的滑动相关关系(窗口长度为 21 a)(点线为 90% 置信度检验线)
Fig. 2 Sliding correlation between summer rain pattern and the current Nino3 SST with a window of 21 a. (The dotted line denotes the 0.1 confidence level for the correlation coefficient)

由图 2 可以看出, 我国东部夏季雨型与 Nino3 区海温的相关系数在 1977 年以前都很小, 不能通过 90% 的置信度检验, 而到了 1978 年以后, 两者的相关系数明显增大, 均能通过 90% 的置信度检验. 以上分析表明, ENSO 事件与我国东部夏季雨型的相关关系具有显著的年代际变化, 1978 年前, 两者的相关非常微弱, 1978 年以后, 相关明显增强。

3 ENSO 与中国东部夏季雨型相关关系的年代际变化特征

The feature of the interdecadal change of the ENSO-rain pattern relation

基于上面的分析, 可以发现, Nino3 区夏季海温

与中国东部同期夏季雨型的相关发生了显著的年代际变化. 1978 年前后 Nino3 区海温与中国东部夏季雨型的相关关系由弱变强. 为了更好地说明这种相关关系的年代际差异, 分析了不同年代中国东部夏季雨型与同期海温的相关(图 3). 可见, 在 1951—1977 年(图 3a), 两者的相关关系总体较弱, 在东太平洋海域基本呈弱的负相关, 3 个通过显著性检验的负相关区域面积很小且分布零散, 而赤道东太平

洋有一小块区域呈微弱的正相关, 但没有通过显著性检验. 西北太平洋有一显著的正相关区域. 另外在南太平洋大片区域则为正相关区, 其中有 3 个分散的小区域通过了显著性检验. 而在突变后的 1978—2002 年(图 3b), 赤道中东太平洋为最显著的正相关区, 大部分区域的相关系数高于 0.5, 通过了 0.01 显著性水平检验. 西北太平洋和南太平洋的正相关区域均变小, 部分区域转为弱的负相关区.

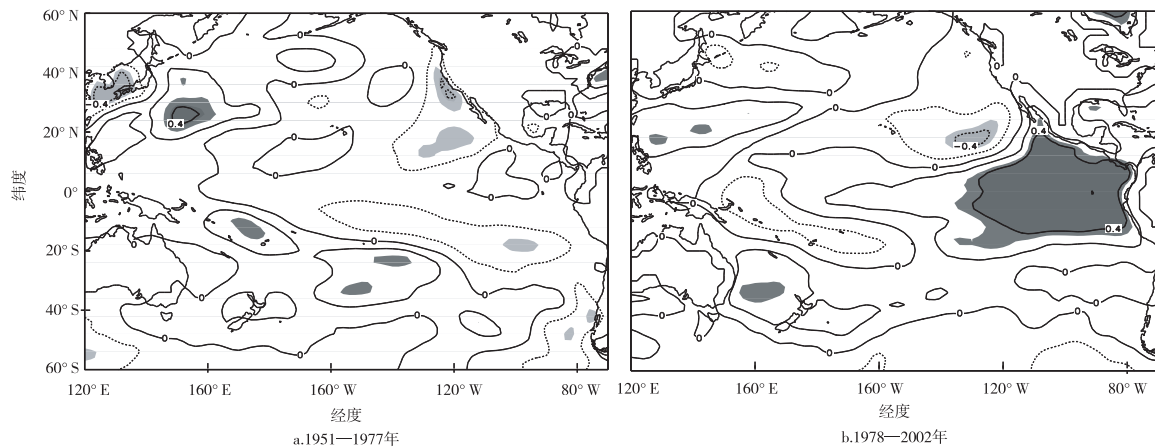


图 3 中国东部夏季雨型与同期太平洋海温的相关关系(深、浅阴影区分别表示通过 0.05, 0.1 显著性水平检验)

Fig. 3 Correlation between summer rain pattern and simultaneous SST in the Pacific region (Heavy/light shading denotes correlation significant at 0.05/0.1 confidence levels, respectively)

由图 4 可知, 无论是 I 类雨型还是 III 类雨型, 1978 年前所对应的夏季赤道东太平洋都为弱的负海温距平. 但在 1978—2002 年(图 5), 与 I 类雨型和 III 类雨型相对应赤道中东太平洋区域海温的信号明显相反. 在中国东部夏季为 I 类雨型时, 整个赤道

中东太平洋为 $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的海温负距平控制, 相反, 在 III 类雨型年, 该海区夏季为显著的正距平, 极值达到 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. 这一合成结果与图 3 的相关分析结论符合. 可见, 在 1978 年以后, El Nino 年夏季我国东部多为 III 类雨型, 长江流域及以南地区降水偏多,

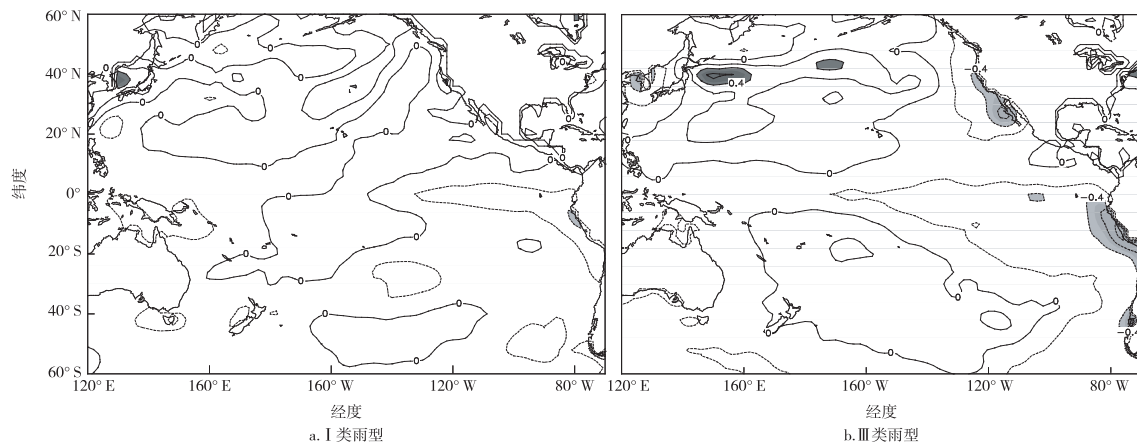


图 4 1951—1977 年中国东部夏季对应的同期海温距平场(单位: $^{\circ}\text{C}$; 阴影区表示海温距平绝对值超过 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的区域)

Fig. 4 The corresponding summer SST anomaly in the Pacific region during 1951—1977 (units: $^{\circ}\text{C}$; Shading denotes the absolute value of SST anomaly above $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$)

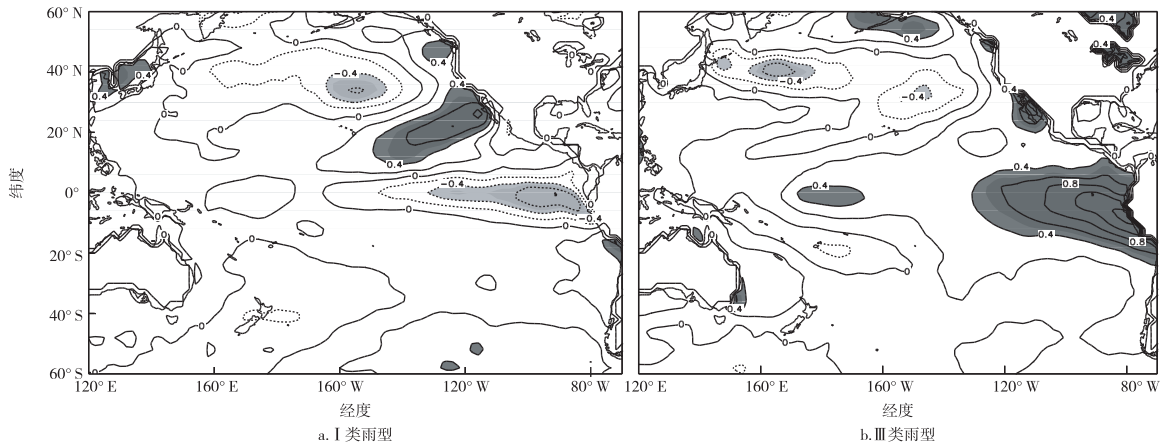


图5 1978—2002年中国东部夏季对应的同期海温距平场(单位:°C;阴影区表示海温距平绝对值超过0.4°C的区域)

Fig. 5 The corresponding summer SST anomaly in the Pacific region during 1978—2002
(units: °C; Shading denotes the absolute value of SST anomaly above 0.4 °C)

淮河以北大部地区降水偏少. 反之, La Nina 年夏季我国东部多为 I 类雨型, 黄河流域及其以北地区多雨, 江淮流域大范围少雨, 江南南部至华南相对多雨.

4 ENSO 与东亚夏季风的相关

Correlation between ENSO and the East Asian Summer Monsoon

4.1 东亚夏季风的年代际变化及其与我国东部夏季雨型的关系

文献[19-21]都指出东亚夏季风和我国夏季雨型的关系十分密切. 当东亚夏季风偏强时, 雨带偏北, 我国以 I 类、II 类雨型居多; 反之, 当夏季风偏弱是, 雨带偏南, 我国以 III 类雨型偏多.

参考文献[22]的做法, 定义了东亚夏季风指数, 并计算了 1951—2002 年东亚夏季风指数与我国东部夏季雨型的相关系数, 结果为 -0.32 , 通过了 95% 的置信度检验. 可见, 在近 50 a 间, 东亚夏季风的强弱对我国东部雨型的影响显著.

由图 6 可知, 1951—2002 年东亚夏季风指数在 20 世纪 70 年代中后期经历了一次明显的年代际变化. 在此之前, 东亚夏季风偏强; 之后, 则夏季风明显减弱, 夏季风强度指数均小于 1. 相应地, 我国东部夏季的雨带类型也发生了改变, 20 世纪 70 年代中后期之前, 雨型以 I 类、II 类居多; 之后, III 类雨型显著增多, 而 I 类雨型明显减少, 夏季我国东部由“南旱北涝”转变成“南涝北旱”形势, 这一结果已得到大量研究的证实^[7-11].

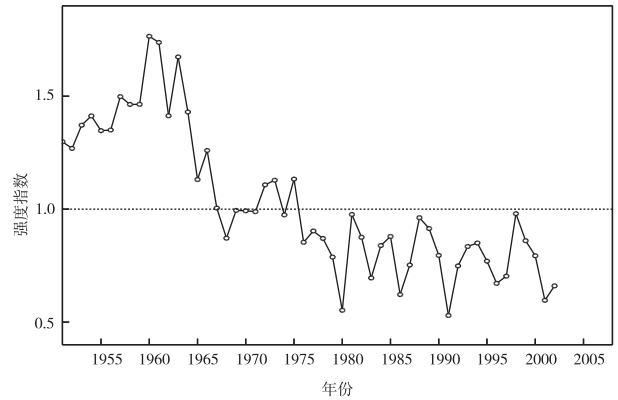


图6 1951—2002年东亚夏季风强度指数的变化

Fig. 6 The intensity variations of the East Asian Summer Monsoon during 1951—2002

4.2 ENSO 与东亚夏季风相关关系的年代际变化

考虑到东亚夏季风和我国夏季雨型关系密切, 因此下面将研究东亚夏季风与同期海温场的关系是否也发生了年代际变化, 进而揭示引起 ENSO 事件与我国东部夏季雨型异常关系发生年代际变化的可能原因. 为此, 计算了东亚夏季风指数与 Nino3 区海温的滑动相关, 滑动窗口长度 $l = 21$ a (图略). 结果表明, 两者的相关关系在 1978 年前后发生了显著的年代际变化. 这一结论与李峰等^[23]的研究类似, 但他们的突变点是 1976 年, 这可能是由于选取的东亚夏季风指数不同而造成的.

由图 7 可知, 1977 年前 (图 7a), 整个热带太平洋地区相关都很小, 这表明 ENSO 对同期东亚夏季风的强度的影响微弱; 而 1978 年后 (图 7b), 在赤道

中东太平洋地区存在一个显著的负相关区域,极值可达 $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,通过了 0.01 的显著性水平检验,表明海温越高,东亚夏季风越弱,这有利于我国东部夏季出现 III 类雨型;反之,海温越低,东亚夏季风越强,有利于我国东部夏季出现 I 类雨型。

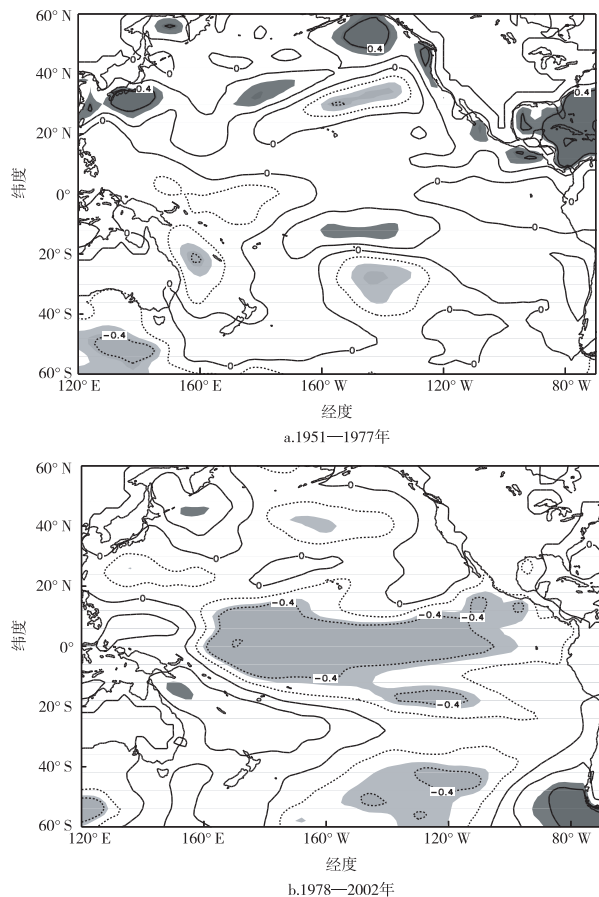


图7 东亚夏季风与同期太平洋海温的相关
(深、浅阴影区分别表示通过 0.05, 0.1 显著性水平检验)
Fig. 7 Correlation between EASM and simultaneous SST in the Pacific region (Heavy/light shading denotes correlation significant at 0.05/0.1 confidence levels, respectively)

比较图 7a 和 7b 可知,在不同的年代际背景作用下,ENSO 事件和东亚夏季风的关系是不同的.1978 年后,由于背景海温升高,促进了热带对流,使海陆热力对比产生变化,从而改变了海陆间的气压差,改变了东亚夏季风的强度,使得 ENSO 和东亚夏季风的关系发生了改变,最终导致了 ENSO 和我国东部夏季雨型的相关关系发生改变。

5 结论

Conclusions

1) 我国东部夏季雨型与同期太平洋海温的相

关显著,存在 4 个显著的高相关区域。

2) 我国东部夏季雨型与同期赤道东太平洋 (Nino3 区) 海温的相关关系在 1978 年发生了显著的年代际变化. 突变发生前,两者关系十分微弱,突变发生后,两者的相关明显增强。

3) 东亚夏季风强度和我国东部夏季雨型的关系十分密切. 东亚夏季风偏强,雨带偏北,我国以 I 类、II 类雨型居多;反之,当夏季风偏弱时,雨带偏南,我国以 III 类雨型偏多. 此外,东亚夏季风强度在 1978 年前后也经历了一次年代际变化。

4) 不同年代际背景下,ENSO 与东亚夏季风的关系也发生了变化,相关由弱变强. ENSO 与东亚夏季风关系的年代际改变可能是造成 ENSO 与我国东部夏季雨型异常关系发生年代际改变的原因。

参考文献

References

- [1] 朱益民,杨修群,陈晓颖,等. ENSO 与中国夏季年际气候异常关系的年代际变化[J]. 热带气象学报,2007,23(2):105-116
ZHU Yimin, YANG Xiuqun, CHEN Xiaoying, et al. Interdecadal variation of the relationship between ENSO and summer inter-annual climate variability in China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2007, 23(2): 105-116
- [2] 叶笃正,曾庆存. 当代气候研究[M]. 北京:气象出版社,1990
YE Duzheng, ZENG Qingcun. Current research on climatology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1990
- [3] 符淙斌. 厄尔尼诺时期赤道增温的两种类型[J]. 科学通报, 1985, 30(8): 596
FU Congbin. Two patterns of equatorial warming associated with El Nino[J]. Chinese Science Bulletin, 1985, 30(8): 596
- [4] Huang R H, Wu Y F. The influence of the ENSO on the summer climate change in China and its mechanism [C] // Japan-US Workshop on El Nino Southern Oscillation Phenomenon, Tokyo, Japan, 1987: 3-7
- [5] 施能,杨永胜,陈辉. 我国东部夏季降水百年雨型的多时间尺度变化特征研究[J]. 气象科学, 2001, 21(3): 316-325
SHI Neng, YANG Yongsheng, CHEN Hui. A study on the features of east-China summer rainfall pattern on the multi-time scale in the past 98 years [J]. Scientia Meteor Sinica, 2001, 21(3): 316-325
- [6] 赵振国,蒋伯仁. ENSO 事件对中国气候的可能影响[J]. 山东气象, 2000, 20(1): 4-12
ZHAO Zhenguo, JIANG Boren. Impact of ENSO event on the climate in China [J]. Journal of Shandong Meteorology, 2000, 20(1): 4-12
- [7] 黄荣辉,徐子红,周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465-476
HUANG Ronghui, XU Yuhong, ZHOU Liantong. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China [J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4): 465-476
- [8] 陈隆勋,朱文琴,王文,等. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257-271
CHEN Longxun, ZHU Wenqin, WANG Wen, et al. Studies on climate change in China in recent 45 year [J]. Acta Meteorologica Sinica, 1998, 56(3): 257-271

- [9] 施晓晖,徐祥德. 中国大陆冬夏季气候型年代际转折的区域结构特征[J]. 科学通报,2006,51(17):2075-2084
SHI Xiaohui, XU Xiangde. The regional structure features of interdecadal variation of the winter and summer climate in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(17):2075-2084
- [10] 周连童,韦志刚,黄荣辉. 东亚气候系统年代际变化及其对中国夏季降水年代际变化的影响[C]//我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京:气象出版社,2003
ZHOU Liantong, WEI Zhigang, HUANG Ronghui. The interdecadal variation of East Asian climate systems and its impact on the interdecadal variation of summer precipitation in China[C]// Collected Papers on China's Major Drought and Flood Disasters and its Mechanism Research. Beijing: China Meteorological Press, 2003
- [11] 顾薇,李崇银,杨辉. 中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析[J]. 气象学报,2005,63(5):728-739
GU Wei, LI Chongyin, YANG Hui. Analysis on interdecadal variation of summer rainfall and its trend in east China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(5):728-739
- [12] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. ENSO-like interdecadal variability: 1900—1993 [J]. Journal of Climate, 1997, 10(5):1004-1020
- [13] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production[J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1997, 78(6):1069-1079
- [14] 杨修群,朱益民,谢倩,等. 太平洋年代际振荡的研究进展[J]. 大气科学,2004,28(6):979-992
YANG Xiuqun, ZHU Yimin, XIE Qian, et al. Advances in studies of Pacific decadal oscillation[J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2004, 28(6):979-992
- [15] Gershunov A, Barnett T P. Interdecadal modulation of ENSO teleconnection [J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1998, 79(12):2715-2725
- [16] 朱益民,杨修群. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系[J]. 气象学报,2003,61(6):641-654
ZHU Yimin, YANG Xiuqun. Relationships between Pacific decadal oscillation (PDO) and climate variabilities in China[J]. Acta Meteor Sinica, 2003, 61(6):641-654
- [17] 徐建军,朱乾根,施能. 近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的相互关系及其年代际异常[J]. 大气科学,1997,21(6):641-648
XU Jianjun, ZHU Qiangen, SHI Neng. The interaction of East Asian winter monsoon with ENSO cycle and their interdecadal variations in last century[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1997, 21(6):641-648
- [18] 徐建军,王东晓. 印度洋-太平洋海温的年际、年代际异常及其对亚洲季风的影响[J]. 海洋学报,2000,22(3):342-343
XU Jianjun, WANG Dongxiao. Diagnosis of interannual and interdecadal variation in SST over Indian-Pacific ocean and numerical simulation of their effect on Asian summer monsoon [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, 22(3):342-343
- [19] 郭其蕴. 东亚夏季风的变化与中国降水[J]. 热带气象,1985,1(1):44-51
GUO Qiyun. The variations of summer monsoon in East Asian and the rainfall over China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 1985, 1(1):44-51
- [20] 施能,朱乾根,吴彬贵. 近40年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常[J]. 大气科学,1996,20(5):575-583
SHI Neng, ZHU Qiangen, WU Bingui. The East Asian summer monsoon in relation to summer large scale weather-climate anomaly in China for last 40 years [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1996, 20(5):575-583
- [21] 赵汉光,张先恭. 东亚季风和我国夏季雨带的关系[J]. 气象,1996,22(4):8-12
ZHAO Hanguang, ZHANG Xiangong. The relationship between the summer rain belt in China and the East Asian monsoon[J]. Meteorological Monthly, 1996, 22(4):8-12
- [22] 郭其蕴,蔡静宁,邵雪梅,等. 东亚夏季风的年代际变率对中国气候的影响[J]. 地理学报,2003,58(4):569-576
GUO Qiyun, CAI Jingning, SHAO Xuemei, et al. Interdecadal variability of East Asian summer monsoon and its impact on the climate of China [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4):569-576
- [23] 李峰,何金海. 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化[J]. 热带气象学报,2000,16(3):260-271
LI Feng, HE Jinhai. The decadal change of the interaction between northern Pacific SSTA and East Asian Summer Monsoon [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2000, 16(3):260-271

Interdecadal change of relationship between ENSO and the summer rain pattern of eastern China

XU Tingting^{1,2} GUO Pinwen^{1,2} XIE Jie² YAN Xiaojing²

1 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Using the NCEP/NCAR reanalysis data, the CPC (Climate Prediction Center) monthly SST data of the Nino3 region as well as the ERSST data by NOAA during 1951—2002, the relation and its interdecadal change of the ENSO and the summer rain pattern of eastern China was studied. Results show: The response of the summer rain pattern of eastern China to ENSO abruptly changed in 1978. Before 1977, the correlation between them denotes weakly negative. After the abrupt change, it turned to significantly positive. Moreover, the sliding correlation shows that the relationship between them is the strongest during recent 20 years. Further analysis results also show that the correlation between ENSO and the EASM experienced similar interdecadal change, changing from weakly positive to significantly positive, which may leads to the interdecadal change of the ENSO and the summer rain pattern of eastern China.

Key words ENSO, summer rain pattern, SST in east Pacific, interdecadal change