

程炳岩, 郭渠, 孙卫国. 川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 的关系及其稳定性分析[J]. 气象, 2010, 36(3): 27-33.

川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 的关系及其稳定性分析^{* 1}

程炳岩¹ 郭渠¹ 孙卫国²

1 重庆市气候中心, 重庆 401147

2 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044

提 要: 根据 1960—2006 年我国川渝地区 120 个观测站的月降水资料, 分析了降水的空间分布特征, 利用相关分析、小波分析和小波凝聚谱等方法, 探讨了川渝地区降水与 Nino3 区 SST 的关系及其稳定性。结果表明: 一致性异常分布是川渝地区降水变化的最主要空间模态, 第一模态时间系数与 Nino3 区 SST 有着较好的相关关系。这种关系表明, 在 Nino3 区 SST 暖状态, 川渝地区降水偏少; 在 Nino3 区 SST 冷状态时则情况相反。川渝地区降水和 Nino3 区 SST 关系的稳定性分析表明, 降水和 SST 之间在准 2 a, 4~6 a 变化周期上存着较好的相关关系, 但这种相关关系并不稳定, 存在着年代际变化: 1960—1986 年呈正相关关系, 1987—2006 年呈负相关关系。

关键词: 降水, Nino3 区 SST, 交叉小波

Relationship Between SST in Nino3 and the Precipitation over Chongqing and Sichuan and Its Stability

CHENG Bingyan¹ GUO Qu¹ SUN Weigu²

1 Chongqing Climate Center, Chongqing 401147

2 Department of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: According to the monthly precipitation data of 120 meteorological stations in Chongqing and Sichuan during 1960—2006, the precipitation distribution in these areas was analyzed. At the same time, by correlation analysis, cross-wavelet transform, the relationship between the precipitation over Chongqing and Sichuan and SST in Nino3 and its stability were also analyzed. The main results are as follows: the consistent anomaly distribution is the main spatial model of precipitation variation in Chongqing and Sichuan. The first mode time series of EOF had good relationship with SST in Nino3. This relationship manifested that in the warm phase of SST in Nino3, the precipitation in Chongqing and Sichuan was less, while, in the cold phase, more. The precipitation in Chongqing and Sichuan had good relationship with SST in Nino3 in quasi-2 a, 4—6 a periodic changes, but this relationship was not stable. There were good positive and negative correlations during 1960—1986 and 1987—2006 respectively.

Key words: precipitation, SST in Nino3, cross-wavelet

* 国务院三峡工程建设委员会办公室生态环境补偿经费(SX2009-004)资助

2009 年 4 月 9 日收稿; 2009 年 11 月 21 日收修定稿

第一作者: 程炳岩, 主要从事气候变化监测、评估和预估研究. Email: cqqhzzx@sohu.com

引言

我国川渝地区毗邻青藏高原,境内有高原、山地、丘陵、盆地、平原等不同地貌,地形十分复杂,局地因子影响较大,是一个典型的气候多变区。特殊的地理位置、相互交错的特殊地形使得川渝地区的气候变化存在显著的局地特征,具有一定的区域气候代表性,如该区域气候变化与全球、全国变暖不同步^[1],这种区域气候变化,必然会对本区的降水带来独特的影响。

海洋对大气环流、长期天气气候变化的影响越来越为人们所重视,尤其是发生在赤道东太平洋的 El Nino 事件,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^[2]。近年来,许多学者在海温对我国气候变化影响等方面开展了广泛研究,取得了大量科研成果^[3-10]。李崇银等^[7]研究解释了中国东部地区气温异常与赤道东太平洋 El Nino 事件、热带海温变化之间的遥相关现象。施能等^[8]对 El Nino 发生前北半球大气环流及我国天气异常作了分析,发现:El Nino 年前冬,中西太平洋地区高度场的负异常,阿留申、堪察加的 500 hPa 高度场正异常,呈现强的 WP 型遥相关;同时我国降水偏少,气温偏低。董婕等^[9]通过研究赤道东太平洋海温与中国气温、降水的关系,认为赤道东太平洋海温、El Nino 和 La Nina 事件与中国温度、降水有一定关系,其中与温度冬季关系较好,与降水秋季关系最好。李跃清^[1]在研究四川地区温度变化及其与西太平洋海温的关系时,认为热带西太平洋海温在变化趋势上与四川盆地气温变化具有同位相关关系;热带西太平洋海温异常偏暖(冷),引起西太平洋副高位置偏西(东)偏北(南),造成四川盆地气温异常偏暖(冷)。

赤道东太平洋海温的异常可以明显地影响中高纬度地区甚至全球的大气环流和天气气候,使之发生相应的异常变化^[10],这种异常变化引起的空间环流场的改变可能会对我国川渝地区降水变化产生重要影响。然而,以往的研究偏重于太平洋海温对川渝夏季降水的影响,而两者相互之间的联系及相关关系的稳定性研究尚不多见。因此,研究川渝地区降水变化与赤道东太平洋海温等气候系统之间的联系,讨论其相关关系的稳定性,对于分析川渝区域气候以及区域气候资源要素的变化规律等具有重要的

理论和现实意义。

1 资料与方法

采用的资料包括二部分,一是从 ENSO 监测 4 个海区中,选择最为常用的 Nino3 区 ($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$ 、 $150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$) 的月海表温度 (SST),资料来自 NOAA 官方网站 (www.noaa.gov)。二是由四川、重庆气候中心提供的川渝地区 192 站日降水资料,考虑到观测资料的完整性,处理得到川渝地区 120 个测站月降水资料。各站的降水序列长度与 Nino3 区 SST 序列保持一致,时间是 1960 年 1 月至 2006 年 12 月,资料样本数 $n=564$ 。实际计算时,采用月平均距平序列 ΔR 和 ΔSST ,并对川渝地区各站降水距平 ΔR 和 Nino3 区 SST 距平 ΔSST 序列进行了标准化处理。然后运用趋势分析、EOF^[11]、小波分析^[12]、小波凝聚谱^[13]等方法,对川渝地区降水的时空特征以及同 Nino3 区 SST 的关系及其稳定性做分析研究。

2 结果分析

2.1 川渝地区降水的时空特征

从年降水量的倾向率空间分布(图 1)来看,川渝地区降水量的空间分布很不均匀,其空间变化以 103°E 呈现西部增多、东部减少的变化趋势;西部主要减少区域为四川的普格一带,而东部增加区域为合川、沙坪坝、大竹一带,幅度都较小。增长率大于 1 mm/a 的区域主要位于川西高原,增长最明显的为四川的甘洛和雅江,增长率分别为 4.8 mm/a 和 3.3 mm/a ;减少最明显的为四川的金堂、北川、广汉,减少率分别为 7.5 mm/a 、 7.3 mm/a 、 7.0 mm/a 。

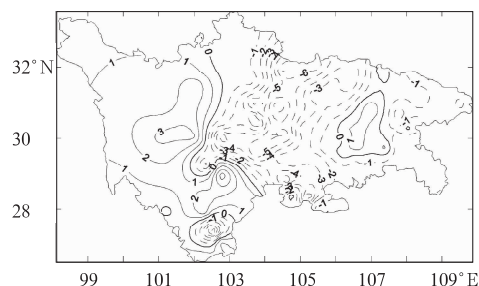


图1 川渝地区年降水量倾向率的空间分布(单位: mm/a)

Fig. 1 Tendency rate in the spatial distribution of annual precipitation over Chongqing and Sichuan (unit: mm/a)

对川渝地区 120 个站点 564 个月的降水量标准化距平序列矩阵(120×564) 利用 EOF 展开,其载荷向量能较好地反映降水的空间异常特征。前三个载荷向量的方差贡献率分别为 25.93%、11.63% 和 8.26%。由于前两个载荷向量的方差贡献比较集中,故只分析第一和第二载荷向量。

从第一载荷向量(图 2a)可以看出,整个川渝地区表现为一致的正值,可称之为“全区一致型”,也就是说整个川渝地区降水变化表现出一致的同位相变

化特征。相比较四川的乐至、安岳至重庆的潼南、铜梁一带的值较大,说明这些区域降水变化容易出现异常,川渝西部的值较小,同样说明该区域降水变化不易发生异常。这种全区一致的空间特征表明,川渝地区降水变化受大尺度气候的影响。

第二载荷向量(图 2b)为东负、中正、西负,揭示了川渝地区降水变化的东、西部与中部反相变化的特点,可称之为“东中西部型”。

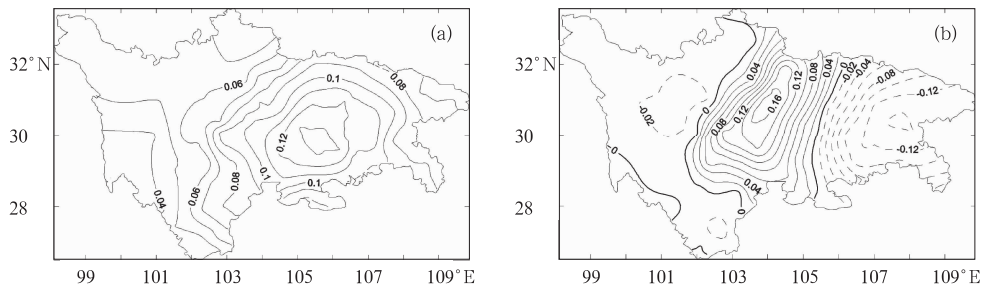


图 2 川渝地区 1960—2006 年逐月降水的 EOF 分析第一(a)和第二(b)载荷向量

Fig. 2 The first (a) and second (b) EOF loading vectors of the monthly precipitation over Chongqing and Sichuan during 1960—2006

2.2 川渝地区降水与 Nino3 区 SST 的关系

由于第一载荷向量的方差贡献较大,第一模时间系数(PC1)的变化基本能代表川渝地区降水变化的主要趋势。由图 3 可以看出,川渝地区降水具有明显的年际尺度阶段性变化,在 1965—1967、1974—1976、1980—1985、1988—1990、1998—2000 和 2005 年以正距平为主,负距平主要出现在

1962—1964、1968—1973、1977—1979、1986—1987、1991—1997、2001—2004 和 2006 年。近年来由于大气环流异常事件的发生和川渝地区的特殊地形条件,使得川渝地区常出现高温、干旱等极端天气过程,例如 1992、2001、2006 年夏季川渝地区东部都曾出现过严重干旱的事件^[14],这些偶发极端天气事件对川渝地区降水变化规律也会产生很大的影响。

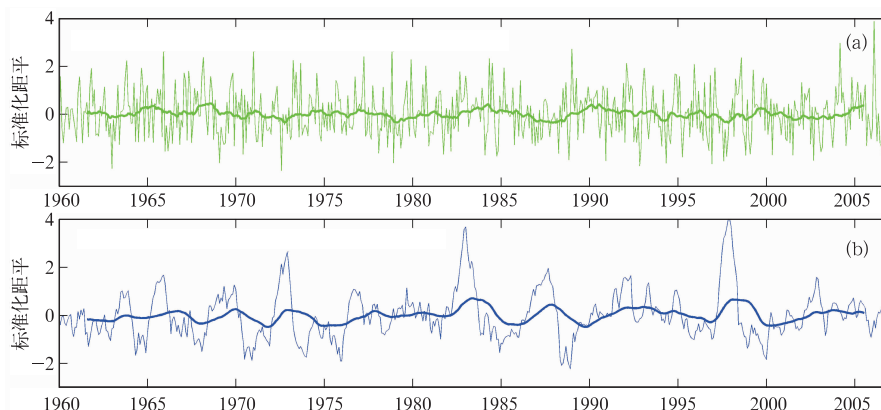


图 3 川渝地区 1960—2006 年逐月降水 EOF 分析第一模时间系数(a)和 Nino3 区 SST (b)年际变化

Fig. 3 Interannual variations in time series of the leading mode of EOF for the monthly precipitation over Chongqing and Sichuan (a) and SST in Nino3 (b) during 1960—2006

Nino3 区 SST 在 20 世纪 70 年代中期以前以负距平为主,70 年代后期由负距平转为正距平为主,即赤道东太平洋 SST 在 70 年代后期经历了由冷水期向暖水期转化的气候跃变过程。近 47 年来 Nino3 区年平均海表温度为 25.8°C ,偏高的年份有 25 a,正常和偏低的有 22 a。

从川渝地区降水和 Nino3 区 SST 逐月时间序列三年滑动平均曲线来看(图 3),降水变化和 SST 有较好的对应关系,同期相关系数为 -0.18 ,通过 0.01 显著性水平检验。表明川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 存在一定的联系。表 1 给出了川渝地区降水与 Nino3 区 SST 的相关系数,可见,川渝地区降水在滞后 $-10\sim 0$ 、 $12\sim 24$ 个月范围里和 Nino3 区 SST 有着较好的相关性,而且这种相关是在滞后 -6 、 20 个月时达到最好。考虑到 El Nino 事件

是海气系统在全球范围内的异常现象,El Nino 事件必定对全球以及区域气候的变化产生重要影响,因而,川渝地区降水和 Nino3 区 SST 存在较好的相关性并不偶然。国内外也有类似的研究,比如李威^[15]在研究中国北方春季沙尘暴的变化与 ENSO 的关系时,指出春季 SOI 与滞后 $1\sim 2\text{a}$ 的中国北方春季沙尘暴发生频率、夏季 SOI 与滞后 2a 的中国北方春季沙尘暴发生频率有较好的相关。Xu 等^[16]在研究 ENSO 对东南亚和太平洋地区降水关系时,发现在数学统计意义上 ENSO 对该区影响有滞后从几个月到几年不等的现象。Gaucherel^[17]在基于 ENSO 事件对降水有较长时间的影响滞后假设下,研究认为 1997—1998 年特大 ENSO 事件是两年后(2000 年)法国 Guiana 地区发生洪水的重要原因。

表 1 川渝地区降水与 Nino3 区 SST 的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between the precipitation over Chongqing and Sichuan and SST in Nino3

川渝地区 120 站逐月降水 EOF 展开第一模时间系数(PC1)													
PC1 滞后时间/月	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0
Nino3 区 SST	0.16	0.14	0.10	0.04	-0.03	-0.10	-0.15	-0.20	-0.23	-0.24	-0.24	-0.22	-0.18
PC1 滞后时间/月	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Nino3 区 SST	-0.18	-0.13	-0.08	-0.01	0.05	0.12	0.17	0.19	0.22	0.25	0.28	0.26	0.23
显著性检验 $R_{0.01} \approx 0.15$ $n=564$													

表 1 所表明的这种关系还说明,在 El Nino 事件发生时,川渝地区降水量偏少,La Nina 则情况相反。由于 Nino3 区 SST 冷暖状态时气候变化存在的不对称性,这种线性关系只是一个初级近似^[18]。为了更直观给出川渝地区降水和 Nino3 区 SST 的关系,图 4 给出了川渝地区 120 站降水同期和滞后于 SST -6 个月、 20 个月的相关情况。当为同期

时,川渝中部的宜宾至松潘、西北部的甘孜一带存在显著的负相关(图 4b);当川渝降水滞后 -6 个月时,负相关区域明显扩大(图 4a);但川渝降水滞后 20 个月时,81.7% 的测站与 Nino3 区 SST 存在正相关,其中 59 个测站通过 0.01 显著性检验(图 4c)。这一关系对于预报川渝地区降水的变化趋势十分有意义。

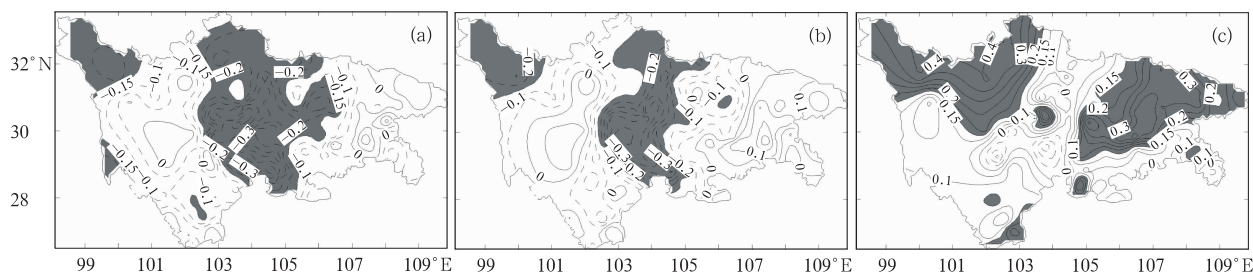


图 4 川渝地区各站降水滞后于 Nino3 区 SST -6 个月(a)、同期(b)、 20 个月(c)的相关图
(阴影区通过 0.01 显著性检验)

Fig. 4 Distribution of correlation coefficients between the precipitation over Chongqing and Sichuan and SST in Nino3 at a -6 months lag (a), the same time (b), and 20 months lag (c)
(Areas with correlation coefficients significant at 0.01 confidence level are shaded)

赤道中东太平洋海温异常偏高(低),使得沃克环流减弱(强),引起东风强度减弱(加强),进而导致西太平洋副热带高压加强(减弱)^[19-20]。夏季副高加强、西伸北进时,有利于川西降水,而不利川中、川东降水;当副高减弱、东缩南退时,有利于川中、川东降水,而不利川西降水^[21-22]。由此可以认为:赤道中东太平洋海温异常偏暖(冷),引起西太平洋副高偏西(东)偏北(南),影响川渝地区降水的变化。然而,由于赤道中东太平洋海温不同阶段对气候变化的影响不同^[23],从而使得川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 之间的关系存在位相差异。采用交叉小波凝聚谱和位相谱方法分析川渝地区降水与 Nino3 区 SST 两者之间的多时间尺度相关,并讨论相关关系的稳定性。

2.3 川渝地区降水变化和 Nino3 区 SST 关系的稳定性分析

气候变化含有多种时间尺度,在时域中存在着多时间尺度结构和局部变化特征,而在频域中表现为不同显著性水平的周期振荡。小波变换将一维气候信号在时间域和频率域中展开,可以反映气候信号时频结构的精细变化和局部化特征^[12]。由川渝

地区降水与 Nino3 区 SST 的小波功率谱(图 5),可以了解川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 变化与之间的内在联系。图 5 中等值线数值为标准化距平序列的小波功率谱与置信水平为 95% 的红噪声总体谱的比值,比值大于 1 表示通过显著性检验的显著周期振荡,比值越大表示振荡能量越强。可见:川渝地区降水变化具有准 2 a、4 a、6~8 a、12~14 a 左右尺度的显著变化周期(图 5a),准 2 a 左右的周期振荡在 1965—1975、1993—2006 年表现明显,4 a 左右的周期振荡在 1980—1990 年表现明显,6~8 a 左右的周期振荡在 1967—1985 年能量强大,而 12~14 a 左右周期振荡在 1967—2006 年通过了显著性水平为 95% 的红噪声检验。Nino3 区 SST 存在准 2 a、4 a、6~8 a 的年际尺度显著变化周期,年代际尺度周期信号较弱(图 5b),准 2 a 左右的周期振荡在 1963—1966、1972—1977、1980—1987 和 1993—2000 年能量强大,4 a 左右的周期振荡在 1980—1990 年表现明显,6~8 a 左右周期振荡在 1975—1985、1990—2006 年通过了显著性水平为 95% 的红噪声检验。

图 5(a,b)还可以看出:川渝地区降水变化和 Nino3 区 SST 的时频结构存在相似性,都具有准 2 a、

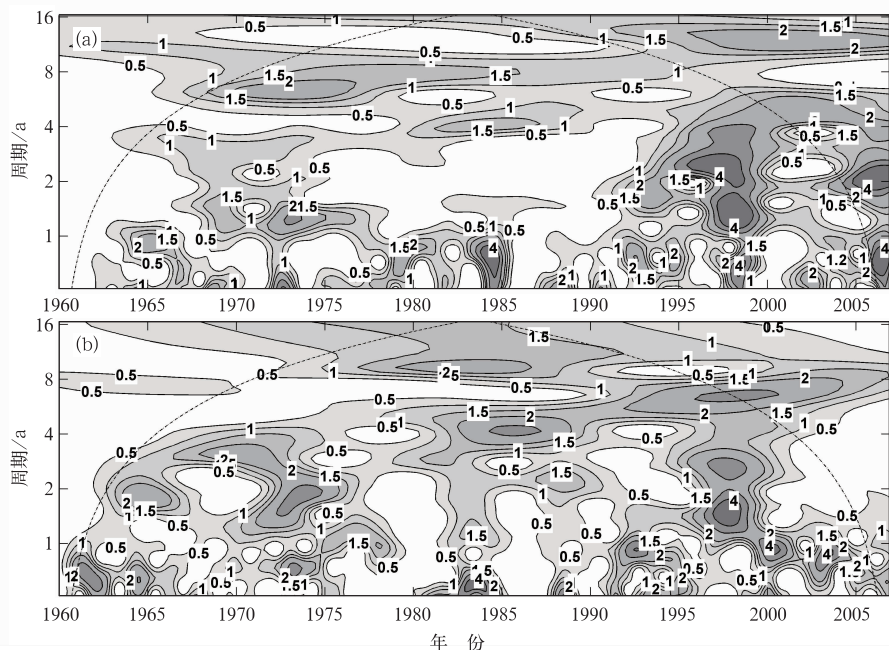


图 5 川渝地区降水(a)、Nino3 区 SST (b)的小波功率谱检验
(点线表示边界效应影响锥)

Fig. 5 Significance testing on wavelet power spectrum of the precipitation over Chongqing and Sichuan (a), SST in Nino3 (b)
(dot line shows the cone of influence due to the edge effects)

4 a、6~8 a 尺度的显著变化周期,说明川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 变化存在不同程度的时频域相关,但并不完全一一对应,尤其是小尺度周期变化在时域中存在明显差异,反映了川渝地区降水变化对 Nino3 区 SST 变化的响应时间不同。

小波凝聚谱能够综合反映两个时间序列在时间和频率域上互相关结构的主要信息,可以揭示相关性相对于频率的依赖关系及其在时域中的分布特征。图 6 给出川渝地区降水与 Nino3 区 SST 之间的交叉小波凝聚谱和位相谱。图中边界效应线内的粗黑实线表示小波凝聚谱值通过了 95% 显著性水

平 F 检验的显著相关振荡;可见,川渝地区降水与 Nino3 区 SST 相关显著,表现为准 2 a、4~6 a 尺度的显著共振周期,时域中 1960—1986 年两者凝聚性较高,箭头基本向右,表示 Nino3 区 SST 与川渝地区降水方差变化同位相;1987—2006 年两者凝聚性较高,箭头基本向左,表示 Nino3 区 SST 和川渝地区降水方差变化反位相。不同尺度周期振荡能量的强弱和时域分布的位相差异是两者相关不稳定和存在时延相关的重要原因,Nino3 区 SST 变化对川渝地区降水变化的影响具有持续性。

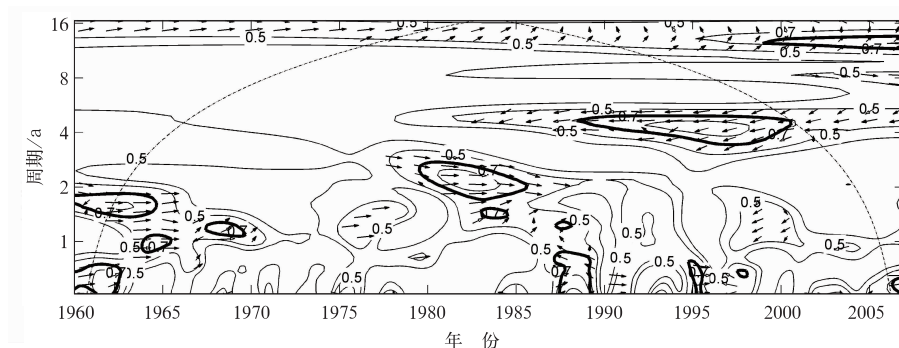


图 6 1960 年 1 月—2006 年 12 月期间川渝地区降水和 Nino3 区 SST 的交叉小波凝聚谱和位相谱

(粗黑实线表示通过显著性水平为 95% 的 F 检验)

图例: $\leftarrow$ Nino3 区 SST 与川渝降水反位相变化 $\rightarrow$ Nino3 区 SST 与川渝降水为同位相变化
 $\downarrow$ 川渝降水位相比 Nino3 区 SST 位相提前 90° $\uparrow$ 与川渝降水位相比 Nino3 区 SST 位相落后 90°
 $1 \geq 1$ 交叉小波凝聚谱平方值,显著性水平采用 $\alpha=0.05$ 的 F 检验

Fig. 6 The cross-wavelet coherence and phase of SST in Nino3 and the precipitation over Chongqing and Sichuan from January 1960 to December 2006
 (The thick black contour is the 95% significance level of the F test)

2.4 川渝地区降水变化和 Nino3 区 SST 不同时段相关关系

小波凝聚谱分析说明,川渝地区降水和 Nino3 区 SST 的相关关系存在位相差异,具有年代际变化特征,即 1960—1986 年同位相,1987—2006 年反位相。图 7 给出了 1960—1986、1987—2006 和 1960—2006 年 3 个时段的川渝地区降水与 Nino3 区 SST 的交叉相关,可见,3 个时段基本上是川渝地区降水在滞后 -6~0、12~20 个月时和 SST 的相关达到最大,这与前面表 1 的结论一致。当为同期时,3 个时段交叉相关系数值从高到低依次为:1960—1986、1960—2006 和 1987—2006 年,表明川渝地区降水和 Nino3 区 SST 在 1960—1986 年正相关,1987—

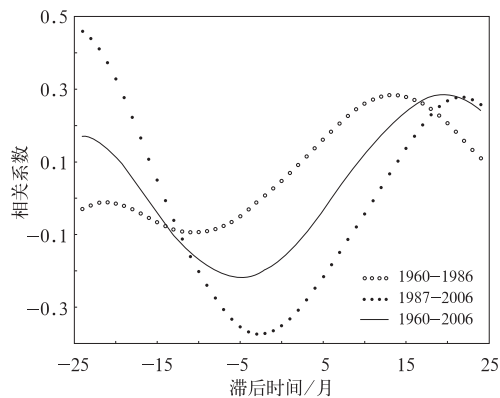


图 7 不同时段川渝地区降水和 Nino3 区 SST 的相关

Fig. 7 Correlation coefficients between SST in Nino3 and the precipitation over Chongqing and Sichuan in different periods of time

2006 年负相关。特别值得注意的是,川渝地区降水与 Nino3 区 SST 的负相关关系在 20 世纪 80 年代后尤为显著。

3 小 结

通过对川渝地区降水与 Nino3 区 SST 的关系研究,小结如下:

(1) 近 47 年来川渝地区降水东、西部(103°E)呈相反的变化趋势,东(西)部总体呈减少(增加)趋势。EOF 分析结果表明,一致性异常特征是川渝地区降水的主要空间模态,但也存在东中西差异。

(2) EOF 分析第一模时间系数(PC1)与 Nino3 区 SST 存在较好的相关关系,PC1 在滞后 $-6\sim 0$ 个月时,和 SST 具有较好的负相关,在滞后 -6 个月时最为显著;PC1 在滞后 $12\sim 20$ 个月时,和 SST 存在较好的正相关,在滞后 20 个月时达到最大。川渝地区 120 站降水在同期和滞后 -6 、 20 个月时,和 SST 的相关亦显示了类似的结果。表明,在 El Niño 事件时,川渝地区降水偏少;在 La Niña 事件时则情况相反。

(3) 川渝地区降水具有准 2 a 、 4 a 、 $6\sim 8\text{ a}$ 、 $12\sim 14\text{ a}$ 左右尺度的显著变化周期,Nino3 区 SST 存在准 2 a 、 4 a 、 $6\sim 8\text{ a}$ 的年际尺度显著变化周期。小波凝聚谱分析表明,川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 的相关表现为准 2 a 、 $4\sim 6\text{ a}$ 尺度的显著共振周期,但这种相关并不稳定,存在着年代际的相位差异:即 $1960\sim 1986$ 年呈正位相, $1987\sim 2006$ 年呈反位相。

(4) 不同时段相关分析表明,川渝地区降水与 Nino3 区 SST 在 $1960\sim 1986$ 年呈正相关关系, $1987\sim 2006$ 年为负相关关系。而整个 47 年呈负相关关系,在 20 世纪 80 年代后尤为显著。

海洋作为大气的一个巨大的热源,对大气的作用非常复杂,其对川渝地区降水变化的这种相关关系及稳定性的机理还需进一步研究。

参考文献

- [1] 李跃清,李崇银.近四十多年四川盆地降温与热带西太平洋海温异常的关系[J].气候与环境研究,1999,4(4):388-399.
- [2] 陈佩燕,倪允琪,殷永红.近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,2001,17(4):371-380.
- [3] 赵振国.厄尔尼诺与我国温度[J].气象,1989,15(7):26-30.
- [4] 龚振淞,何敏.长江流域夏季降水与全球海温关系的分析[J].气象,2006,32(1):56-61.
- [5] 朱平盛,张苏平.北太平洋海温异常对我国降水影响的数值实验[J].气象,2000,26(5):3-7.
- [6] 高辉,王永光.2007 年海温和大气环流异常及对我国气候的影响[J].气象,2008,34(4):108-112.
- [7] 李崇银. El Niño 事件与中国东部气温异常[J].热带气象学报,1989,2(3):210-219.
- [8] 施能,曹鸿兴.厄尔尼诺发生前的北半球大气环流及我国天气气候异常分析[J].大气科学,1996,20(3):337-342.
- [9] 董婕,刘丽敏.赤道东太平洋海温与中国温度、降水的关系[J].气象,2000,26(12):25-28.
- [10] Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific[J]. Mon Wea Rev, 1969, 97:163-172.
- [11] 施能.气象科研与预报中的多元分析方法[M].北京:气象出版社,2002:120-122;143-146.
- [12] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79(1): 61-78.
- [13] 孙卫国,程炳岩.交叉小波变换在区域气候分析中的应用[J].应用气象学报,2008,19(4):479-487.
- [14] 鲍媛媛,康志明,金荣花,等.川渝地区夏季旱涝与海温异常浅析[J].气象,2007,33(5):89-93.
- [15] 李威.中国北方春季沙尘暴的变化与 ENSO 的关系[J].气候变化研究进展,2006,2(6):296-301.
- [16] Xu Z X, Takeuchi K, Ishidaira H. Correlation between El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and precipitation in Southeast Asia and the Pacific region[J]. Hydrological Process, 2004,18:107-123.
- [17] Gauchet C. A study of the possible extended influence of the ENSO phenomenon [J]. C R Geoscience, 2004, 336:75-185.
- [18] Monahan A H, Dai A. The spatial and temporal structure of ENSO nonlinearity[J]. J Climate, 2004, 17: 3026-3036.
- [19] 董克慧.赤道中东太平洋海温异常时与夏季副高的关系分析[J].浙江气象,2001,23(2):7-11.
- [20] 毛文书,王谦谦,景艳,等.江淮梅雨与冬季西太平洋海温的 SVD 分析[J].气象,2007,33(8):83-89.
- [21] 鲍媛媛,金荣花,赵瑞霞,等.2008 年东亚夏季风异常及其对江淮梅雨的影响[J].气象,2009,35(4):34-42.
- [22] 李跃清,李崇银.青藏高原东侧地区夏季气温变化及其可能成因[J].高原气象,2003,22(增刊):25-31.
- [23] Wang H J. Instability of the East Asian summer monsoon-ENSO relations[J]. Adv Atmos Sci, 2002, 19(1):1-11.