

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 Haifeng, Chen Lieting, Zhang Qingyun. 2010. The instability of the interannual relationship between ENSO and the summer rainfall in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (1): 184–192.

ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征

宗海锋¹ 陈烈庭¹ 张庆云^{1, 2}

¹ 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

² 中国科学院大气物理研究所和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

摘 要 根据 1951~2007 年中国 160 站月降水量资料和 Niño 3 区月平均海表温度资料, 采用滑动相关分析和合成分析等方法, 探讨了中国夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温年际变化关系的不稳定性问题。结果表明, 它们之间年际变化关系的长期变化具有明显的地域性, 东北和西北地区相关的不稳定性比东部地区大, 与预测经验吻合。同时也有明显的阶段性, 1951~2007 年据滑动相关系数序列可分成 1962~1977 年、1978~1992 年和 1993~至今三个时期。各个时期平均约为 16 年。它们从一个阶段向另一个阶段过渡的时间很短, 是以气候跃变的形式来完成的。近 50 多年来在 1960 年代初、1970 年代末和 1980 年代末 1990 年代初共发生了 3 次明显的跃变过程。跃变前后某些地区滑动相关系数的符号或强度都有显著的差异。研究还表明, 不同时期, 尽管同样是 El Niño 事件, 它们对中国夏季降水的影响有不同的表现。1962~1977 年时间的相关模型有两条多雨带: 一条位于华北、东北平原和内蒙古东部一线, 另一条在长江中游地区。秦岭-大巴山区和江淮流域降水偏少。1978~1992 年时期只有一条多雨带, 位于秦岭-大巴山区、长江中游和下游一线。黄淮地区及华北至东北南部降水偏少。目前我们所处的时期 (1993~至今) 雨带分布与 1962~1977 年时期的模型基本相似, 也为南、北两条多雨带, 但其北支雨带南移, 位于从川渝地区经黄淮地区、黄河下游至东北平原一带, 湖北北部和长江下游降水偏少。呈现北方降水偏多、南方降水相对偏少的分布。所以, 利用 ENSO 事件做我国汛期降水预报, 不能只考虑其平均情况的年际变化关系, 还应注意它们之间关系的不稳定性问题。

关键词 ENSO 事件 中国夏季降水 年际变化关系 不稳定性

文章编号 1006-9895 (2010) 01-0184-09

中图分类号 P426

文献标识码 A

The Instability of the Interannual Relationship between ENSO and the Summer Rainfall in China

Zong Haifeng¹, Chen Lieting¹, and Zhang Qingyun^{1, 2}

¹ Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

² State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract Based on the monthly rainfall of 160 stations over China and the sea surface temperature data in the Niño

收稿日期 2008-11-07, 2009-03-30 收修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 (2009CB421401), 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY200906018), 中国科学院知识创新工程项目 IAP07415, 中国科学院大气物理研究所博士留所启动项目和国家自然科学基金资助项目 40705039

作者简介 宗海锋, 男, 1975 年出生, 博士, 研究方向: 气候变化、海气相互作用、短期气候预测等。E-mail: zhfh@mail.iap.ac.cn

3 region, the instability of interannual relationship between summer rainfall in China (SRC) and pre-winter sea surface temperature (WSST) in the Niño 3 region is studied by using sliding correlation, composition etc. It shows that the long-term variation of interannual relationship between SRC and WSST in the Niño3 region has obvious regional-ity and is more instable in northeastern and northwestern China than in eastern China. At the same time, it has a significant stage characteristic. The period from 1951 - 2007 can be separated into 1962 - 1977, 1978 - 1992, 1993 to present, according to the sliding correlation coefficients. Each stage has about sixteen years in length. Every turning from one stage to another is very short and is characterized by abrupt change. There are three obvious abrupt changes in the last 50 years, such as in the early 1960s, in the late 1970s, and in the late 1980s and early 1990s. Before and after the abrupt change, the correlation sign and intensity have obvious differences in some regions.

It also shows that the influences of El Niño events in different stages have different features. There are two rainbelts during 1962 - 1977: one was located in North China, Northeast China Plain, and eastern Inner Mongolia, and the other was located in the middle reaches of the Yangtze River; there was less rainfall in the Qingling-Daba Mountains and the Yangtze River and Huaihe River valley. During 1978 - 1992, there was only one rainbelt located in the Qinling-Daba Mountains area and the middle and lower reaches of the Yangtze River; there was less rainfall in the Yellow River and Huaihe River valley, and North China to the south of Northeast China. And in the present stage (1993 to present), the spatial distribution of rainbelts is similar to that during 1962 - 1977, there are also two rainbelts located in southern China and northern China respectively. But the north rainbelt moves southward to the Sichuan Province, Chongqing, the Yellow River and Huaihe River valley, the lower reaches of the Yellow River, and Northeast China Plain; there is less rainfall in northern Hubei Province and the lower reaches of the Yangtze River; the feature of rainfall distribution is that there is more rainfall in northern China while less rainfall in southern China. So, not only the mean interannual relations between SRC and SST in the Niño 3 region but also their instabilities must be considered in the forecasting of flood season precipitation by using ENSO events.

Key words ENSO event, summer rainfall in China, interannual relation, instability

1 引言

ENSO 不仅是造成全球气候异常的一个重要原因, 而且也是导致亚洲季风异常和我国旱涝发生的关键因素。在季风方面, 陈烈庭 (1988) 的研究表明, El Niño (La Niña) 年, 印度西南季风偏弱 (强), 西太平洋副热带高压偏东 (偏南西伸), 我国东南季风偏弱 (强), 而来自南半球的越赤道西风很强 (弱), 使西太平洋 (南海) 热带辐合带异常活跃。陶诗言和张庆云 (1998) 的研究也表明, 南亚弱 (强) 季风年都出现在 ENSO 暖 (冷) 期。Huang and Wu (1989) 指出, ENSO 当年发展阶段与次年衰减阶段对东亚季风雨的影响不同。陈文 (2003) 指出, El Niño 爆发前 (盛期) 的夏季我国夏季风强 (弱), 发展期 (衰亡期) 的夏季我国夏季风弱 (强)。而 Webster et al. (1998) 发现, Niño 3 区海温与印度季风的关系是变化的。Kinter et al. (2002) 指出, 亚洲季风与 ENSO 的关系在 1976 年前后从高相关期转入低相关期。另外, Wang (2002) 也发现, 东亚夏季风与 ENSO 的关系在长

期变化中是不稳定的。本文则想探讨 ENSO 与我国夏季降水年际变化的关系长期变化的特征, 旨在为改善汛期旱涝预报提供依据。

ENSO 与我国夏季降水关系的研究过去已有大量工作, 尤其是 ENSO 盛期次年夏季的降水。不同作者所得结果虽然不尽相同, 但基本上是大同小异的。El Niño (La Niña) 次年夏季长江流域和江南北部地区降水偏多 (少), 而江淮流域降水偏少 (多) (叶愈源, 1988; 符淙斌和滕星林, 1988; 刘颖和倪允琪, 1998; 金祖辉和陶诗言, 1999; 赵亮等, 2006)。也有研究指出, ENSO 暖事件次年除长江流域及江南北部外, 在北疆地区、黄河流域和海河还有一个多雨中心 (陈菊英等, 2000; 宗海锋等, 2008)。多年来, ENSO 与中国夏季降水的时滞相关模型应用于业务预报, 取得了一定成效。然而, 值得注意的是这些统计关系似乎在 1998 年之后发生了变化, 例如 1999 年是 La Niña 次年, 长江流域降水不但不是偏少反而异常偏多, 太湖地区出现了严重的洪涝灾害。而进入 21 世纪后, 先后在 2002 年、2004 年和 2006 年发生了 3 次 El Niño 事件, 每

次事件的次年主要多雨带也并未出现在长江流域,而是发生在淮河流域至黄淮地区。由于主要雨带实况位置与一般统计结果严重不符,致使预报往往失误。显然,如果能知道现阶段 ENSO 与我国夏季降水的关系所处的时代背景,对我国旱涝预报是大有帮助的。

实际上,过去已有一些研究指出,ENSO 与我国东部夏季降水之间的关系存在长期变化。例如,陈烈庭和吴仁广(1998)指出,在 1976 年以前,El Niño 次年我国东部雨型分布多为黄河河套型,黄河河套-华北北部降水偏多,长江流域降水偏少;而 1976 年以后,El Niño 次年我国东部多为长江型,长江流域及其南侧降水偏多。Wu and Wang (2002)指出,Niño 3 区的海温与中国季风雨之间的滑动相关系数不同时段存在明显差异,尤其是东北地区从 1962~1977 年强正相关期转变为 1978~1993 年的负相关期。Chang et al. (2000)分析了 1951~1977 年和 1978~1996 年两个时期长江流域前梅雨/梅雨期(5~6 月)降水与前期冬季 El Niño 之间年际变化关系的差异。高辉和王永光(2007)的分析表明,近 20 年来 ENSO 与我国夏季降水异常对应的关系及其在预测中的指示意义有所减弱。凡此种现象都说明,ENSO 与我国夏季降水之间的关系同其与亚洲季风的关系一样也存在明显的长期变化。

因此,现在的问题是近些年中国夏季降水与 ENSO 的关系是否又发生了变化?如果是,它是什么时候开始转变的?现阶段的相关模型表现又是如何?这些问题目前都还不是很清楚。本文主要目的就是想探讨这些问题,以新近的资料来揭示 ENSO 与我国夏季降水年际变化的关系随时间变化的若干观测事实,为汛期旱涝预报提供当代气候的大背景。

2 资料分析

本文所用降水资料是中国气象局国家气候中心网站提供的中国 160 站月平均降水资料。海温资料是美国气候预测中心网站提供的 Niño 3 区月平均海表温度资料。研究时段为 1951~2007 年,共 57 年。

为了分析中国夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温之间年际变化的关系随时间的变化,及合理地划定各个阶段,我们采用滑动相关系数(林学椿,

1978):

$$R_n = \frac{\sum_{i=t-n+1}^t (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum_{i=t-n+1}^t (x_i - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{i=t-n+1}^t (y_i - \bar{y}_i)^2}},$$

其中,

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t x_i,$$

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=t-n+1}^t y_i,$$

$t=n, n+1, n+2, \dots, n$ 为滑动窗口长度。

由于考虑到我们主要是探讨 ENSO 与中国夏季降水年际变化相关系数的变化,以及参照林学椿(1978)用不同窗口试验的结果,本文取 n 为 11 年进行逐年滑动,滑动相关值记在窗口的第 6 年,得到滑动相关值的逐年变化曲线。由于我们取 $n=11$,所以显著性水平 $\alpha=0.05$ 时, $|r| \geq 0.60$ 。

另外,为了客观地测定滑动相关系数长期变化的气候跃变,我们采用滑动 t 检验方法确定各个气候阶段之间的滑动相关系数是否发生显著差异,即所谓跃变现象。

$$T_Y = \frac{x_1 - x_2}{\sigma} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}},$$

$$\sigma^2 = \frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)},$$

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2,$$

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - \bar{x}_2)^2,$$

式中, Y 表示年, $\bar{x}_1$ 和 $\bar{x}_2$ 、 σ_1 和 σ_2 分别是 Y 年前 n_1 年和 Y 年后 n_2 年两个子序列的平均值和标准偏差。 T_Y 在某年达极大且超过置信度要求,表示在该年附近气候状态存在跃变。这里取 $n_1=n_2=10$ a, $|T_Y| > 2.1, 2.9, 3.9$, 相当于达到 0.05、0.01、0.001 的显著性水平。但对序列的前 10 年和后 10 年而言,由于 $n_1 \neq n_2$,所以 t 检验的信度有所变化。实际计算时,我们对 T_Y 乘了 $(n_1 + n_2)/(n_1 n_2)$,这样当 $n_1 \neq 1$ 和 $n_2 \neq 1$ 时, $(n_1 + n_2)/(n_1 n_2) < 1$,相当于执行了更严格的信度检验。

3 ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的长期变化

在统计预报中,预报对象与预报因子之间的关

系一般都随时间变化,是非平稳的。ENSO 与我国夏季降水的关系也不例外。为了提高预报准确率,弄清它们之间的关系长期变化的规律是十分必要的。为此,我们采用滑动相关方法,分别计算 1951~2007 年中国 160 站各站夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温之间滑动窗口为 11 年的滑动相关系数,每站得到相关滑动相关系数的时间长度均为 47 年。

3.1 滑动相关系数长期变化的地域性

图 1 是中国夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温 11 年滑动相关系数年际变化的标准差分布,这里标准差是度量滑动相关系数围绕其平均值的平均变化幅度。标准差越大意味着相关系数的不稳定性越大。因此,图 1 反映了不同地区相关系数长期变化的差异。总的来看,我国东北和西北部地区标准差较大,而东部大部分地区的标准差较小。这与应用 ENSO 指标预测我国夏季降水在东部地区预报效果较好,而在东北和西北地区预报能力有限的经验吻合。具体来说,40% 以上的标准差高值区主要出现在冀北、东北平原至内蒙古东部一带和新疆天山附近地区,是 ENSO 与我国夏季降水的关系随时间变化最大的地区。长江与黄河之间的秦岭-大巴山区和淮河上游地区标准差也较大,在 30% 以上,而一般相关模型中 (Huang and Wu, 1989) 相关最显著的江南北部和北疆地区标准差很小,ENSO 与这两个地区降水的关系随时间的变化相对较小。由此可见,ENSO 与我国夏季降水关系的长期

变化具有很强的地域性。下面,我们进一步揭示不同地区变化的特点。

3.2 滑动相关系数长期变化的阶段性和跃变性

气候变化往往表现出阶段性和跃变性的特征,那么 ENSO 与我国夏季降水之间的关系是否也存在类似的特征。为了揭示不同地区滑动相关系数长期变化的特征和差异,我们根据图 1 标准差的地域性特征和各站滑动相关系数长期变化的相似性,选定 6 个对 ENSO 响应较为敏感的地区: (1) 冀北和东北平原区 (以北京、天津、营口、承德、林东、赤峰、朝阳、沈阳、通辽、长春、哈尔滨、博克图等 12 个站为代表), (2) 黄淮区 (以潍坊、济南、临沂、菏泽等 4 站为代表), (3) 秦岭-大巴山区和江淮区 (以达县、汉中、安康、信阳、阜阳、徐州、蚌埠、清江等 8 站为代表), (4) 长江中游区 (以恩施、宜昌、汉口、岳阳、常德、长沙、九江、南昌、贵溪等 9 站为代表), (5) 长江下游区 (安庆、屯溪、上海、杭州、宁波等 5 站为代表); (6) 北疆区 (以阿勒泰、塔城、伊宁、乌苏、乌鲁木齐等 5 站为代表)。计算各区代表站平均的夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温之间的 11 年滑动相关系数以及对应的滑动 t 检验值 (如图 2 所示)。各区滑动相关系数长期变化的主要特征如下:

(1) 冀北和东北平原区: 正相关与负相关交替出现, 阶段性非常明显。而且从一个阶段向另一个阶段的过渡期非常短, 跃变性强。1960 年代初至 1970 年代末为稳定的正相关期, 1970 年代末至 1990 年代初为稳定的负相关期, 以后又转变为稳定的正相关期至今。各阶段相关均非常显著。在 1963 年、1978 年和 1992 年前后的跃变参数 t 检验绝对值都在 3 以上, 显著性水平超过 0.01 或 0.001, 属强跃变。这意味着在这 3 个跃变年前后该区夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温年际变化的关系具有显著差异, 发生了明显的变化。这与前面关于该区标准差最大的分析结果是一致的。

(2) 黄淮区: 阶段性也很清楚, 以 1989 年为界, 在这之前为长期负相关期, 之后为正相关期至今。其跃变参数 t 检验达到 0.05 的显著性水平。说明黄淮区夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温年际变化的关系在 1989 年左右发生了明显的变化。

(3) 秦岭-大巴山区和江淮区: 最大的转变发生在 1975 年左右。在这之前为显著的负相关期,

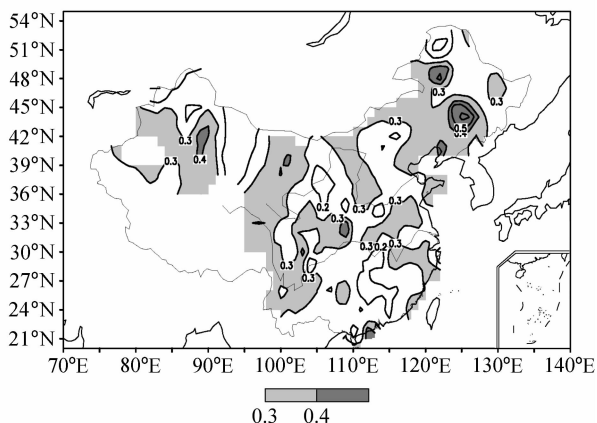


图 1 中国夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温 11 年滑动相关系数年际变化的标准差分布 (阴影: ≥ 0.3)

Fig. 1 Spatial distribution of interannual standard deviation for 11-year sliding correlation coefficients between China summer rainfall and pre-winter Niño 3 SST (shading: standard deviation ≥ 0.3)

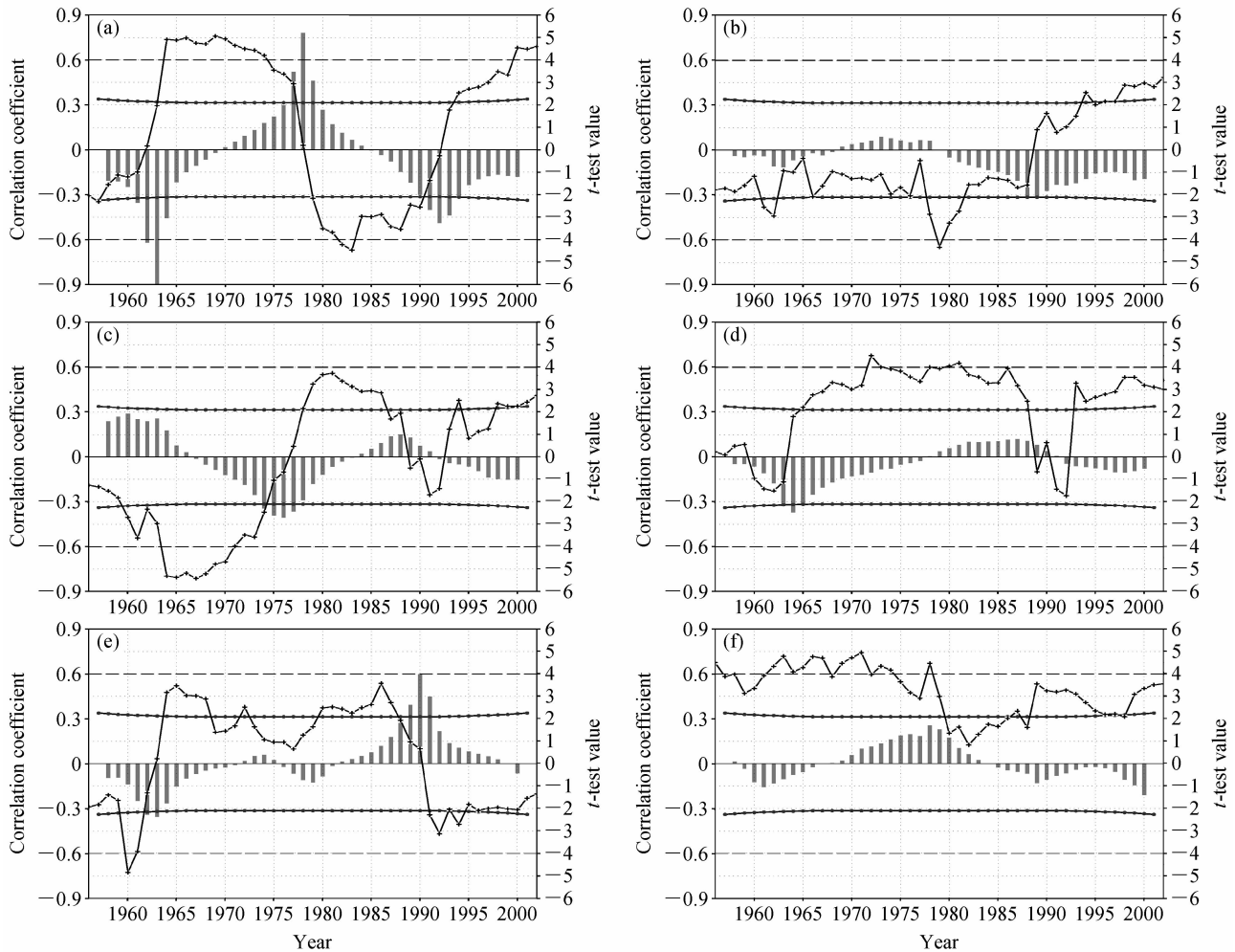


图2 中国各区代表站平均的夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温之间的 11 年滑动相关系数(曲线)以及对应的滑动 t 检验值(柱状图): (a) 冀北和东北平原区; (b) 黄淮区; (c) 秦岭-大巴山区和江淮区; (d) 长江中游区; (e) 长江下游地区; (f) 北疆区。虚线: 相关系数的 0.05 显著性水平; 点实线: t 检验值的 0.05 显著性水平

Fig. 2 11-year sliding correlation coefficients (curves) between area-mean summer rainfall and pre-winter Niño 3 SST and their sliding t -test values (bars): (a) Northern Hebei Province and Northeast China Plain; (b) the Yellow River and Huaihe River region; (c) Qingling-Daba Mountains area and the Yangtze River and Huaihe River region; (d) the north of South China; (e) the lower reaches of the Yangtze River; (f) the north of Xinjiang. Dashed lines: 0.05 significance level for correlation coefficients; solid lines with dots: 0.05 significance level for t -test values

之后基本上是正相关期。其跃变参数 t 检验超过 0.05 显著性水平。另外有意思的是, 负相关阶段中在 1960 年代初有一次从弱的负相关转变为显著的负相关的弱跃变过程, 而在 1975 年之后的正相关阶段, 1980 年代末也有一次由明显的正相关转变为负相关的变化过程, 但很快在 1993 年它又回到正相关期。

(4) 长江中游区: 最大的跃变发生在 1964 年左右, 由很弱的负相关转变为显著的正相关, 其跃变参数 t 检验也超过 0.05 的显著性水平。以后从

1960 年代初至今, 它基本上一直处于显著的正相关阶段。这与前面关于该区标准差极小的分析结果也是一致的。同时也就说明了为什么一般相关模型中 (Huang and Wu, 1989) 该区夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温正相关最显著。但 1980 年代末和 1993 年也发生了一次类似秦岭-大巴山区和江淮区的变化过程。

(5) 长江下游地区: 同长江中游区一样, 在 1963 年左右从负相关跃变为正相关后, 长期保持正相关关系。但到 1990 年代左右它们之间出现明

显的分歧,长江下游区发生了一次更强的由正相关期转变为负相关期的强跃变过程,并维持至今。因此,从 1980 年代末之后夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温的相关长江下游与长江中游区是反号的。

(6) 北疆区:从 1950 年代初至今都是处于正相关期,所以,同长江中游区一样也是标准差极小和正相关最显著的一个地区。但其长期变化仍然存在阶段性和跃变现象。在 1979 年左右发生了一次由显著的正相关期转变为弱正相关期的转变过程。而在 1989 年左右也有一次由弱正相关期转变为较强正相关期的弱变化现象。

以上分析表明,各区滑动相关系数的长期变化都存在明显的阶段性,而且从一个阶段向另一个阶段的过渡也都是以气候跃变的形式来完成的。值得注意的是,各区滑动相关系数长期变化的型式虽然各异,但都在 1960 年代初、1970 年代末和 1980 年代末~1990 年代初三个时间共同发生了不同程度的跃变。

4 各阶段 ENSO 与中国夏季降水的相关模型

4.1 滑动相关分析

根据上一节的讨论,我们把资料分为三个时段:1962~1977 年、1978~1992 年、1993~2007 年。计算各个阶段中国夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温之间滑动窗口为 11 年的滑动相关系数。第一阶段为 16 年资料,得到 6 张滑动相关图;第二和第三阶段均为 15 年资料,各得到 5 张滑动相关图。最后做出各阶段平均的相关模型图(如图 3 所示),其中实线为正相关,虚线为负相关。可以看出,分段后的相关程度普遍都有明显的提高,并且不同阶段相关模型存在明显差异。

图 3a 给出的是 1962~1977 年阶段平均的滑动相关系数分布的模型。它反映了在东部有两条多雨带:一条为主雨带,位于从四川西部经华北、东北平原至内蒙古东部一线;另一条雨带位于江南北部地区。而长江与黄河之间尤其是秦岭-大巴山地区和江淮流域降水明显偏少。西北地区,北疆北部降水明显偏多,而西北中部降水偏少。

图 3b 是 1978~1992 年阶段平均的相关模型,它与前一阶段基本相反。东部地区雨带只有一条,位于秦岭-大巴山、长江中游和下游地区。而其北

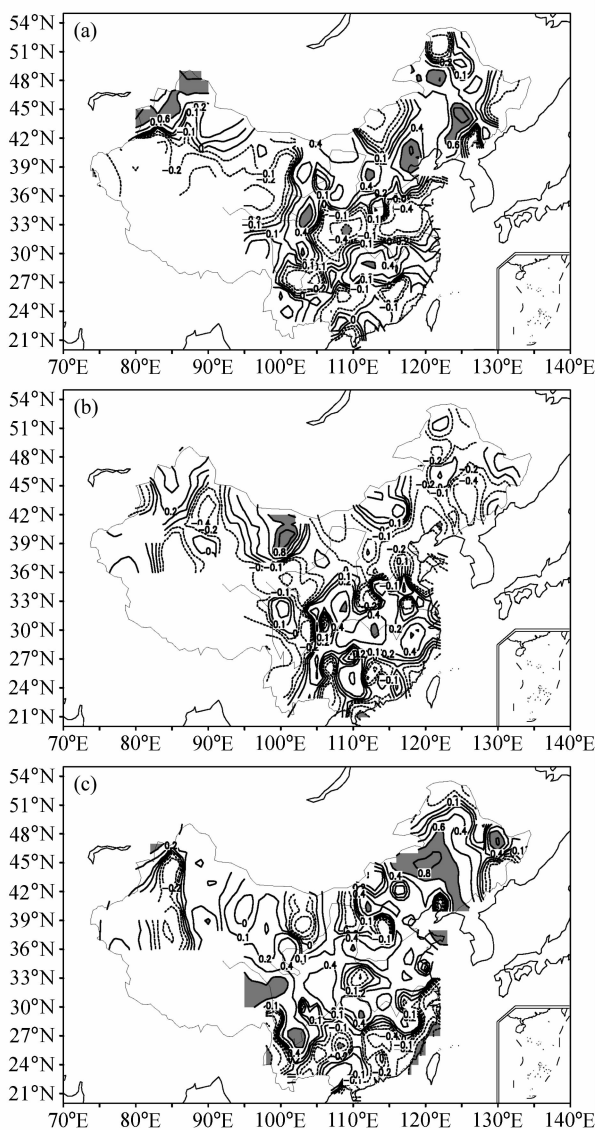


图 3 三个不同阶段平均的相关模型图:(a) 1962~1977;(b) 1978~1992;(c) 1993~2007。阴影:相关系数超过 0.05 显著性水平

Fig. 3 Correlation patterns of China summer Rainfall with pre-winter Niño 3 SST during (a) 1962 - 1977, (b) 1978 - 1992, and (c) 1993 - 2007. Shading: correlation coefficients over 0.05 significance level

部的黄淮地区及黄河河套、华北至东北南部一带,以及其南部的华南和西南地区降水偏少。西北地区,北疆北部降水仍然偏多,西北东部降水偏少。

图 3c 是 1993~2007 年阶段平均的相关模型。它与 1962~1977 年的分布相似,也是南、北两条多雨带。但雨带位置有所变化,尤其是北支雨带明显南移,位于从川渝地区经黄河下游、黄淮地区至东北平原一带,江南北部也是多雨区。少雨区主要

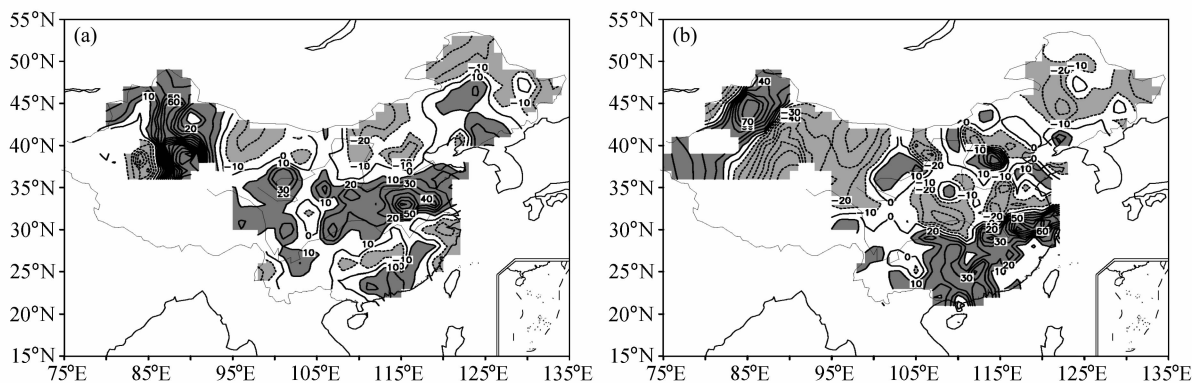


图4 1993~2007年间(a) El Niño和(b) La Niña次年中国夏季降水距平百分率(浅阴影: $\leq -10\%$, 深阴影: $\geq 10\%$)合成图

Fig. 4 Composites of summer rainfall anomaly percentage in China in the next years of (a) El Niño and (b) La Niña occurrence during 1993–2007 (light shading: $\leq -10\%$, dark shading: $\geq 10\%$)

在湖北北部、长江下游、东南沿海和江南中部等地区。呈现出北方降水偏多、南方降水相对偏少的态势。

为了证明滑动相关分析结果,我们还分别计算了三个阶段各自的相关(图略),所得相关模型两者非常一致。

4.2 合成分析

为了进一步检验上述滑动相关方法和各阶段相关分析得到的分段相关模型的真实性和可靠性,我们又用合成分析方法分析了各个阶段在 El Niño 和 La Niña 次年中国夏季降水距平分布的特征。对比分析表明,各个阶段合成分析结果都与滑动相关的模型有很好的 consistency。为了节省篇幅,下面只给出现在我们所处的这一阶段(1993~2007年) El Niño 年(1994、1997、2002、2004、2006年)和 La Niña 年(1995、1998、2000年)的次年中国夏季降水距平百分率的合成图(图4)。可以看出,El Niño 的次年主要雨带出现在从川渝经黄淮至东北平原一带。长江下游降水偏少。它与图3c的相关模型基本相似。而 La Niña 次年夏季降水距平的分布与 El Niño 的基本相反。长江黄河之间及东北大部地区的降水偏少,而长江中、下游和华北中部地区降水偏多。尤其是江南地区降水明显偏多,属南涝北旱的降水分布。因此,图4与图3c的模型相似,基本可以相互印证。也说明滑动相关方法得到的近50多年来不同时期中国夏季降水对 ENSO 年际变化响应的模型及其演变是有代表性的。

以上分析表明,近50多年来中国夏季降水与前期冬季 Niño 3 区海温年际变化的关系随时间不

仅有变化,而且变化还是显著的。发生的3次跃变前后它们之间的相关模型具有明显的差异。这就清楚地表明,同样是 El Niño 或 La Niña 事件,在不同年代背景下其对中国夏季降水的影响具有不同的表现。也就是说,在做预报时不能只考虑其平均情况的年际变化的关系,还应注意它们之间关系的不稳定性问题。

4.3 预测试验及检验

2007年是一次强 La Niña 年(张庆云等, 2008)。2008年3月我们按照上述图3c的分段相关模型和图4b的 La Niña 次年中国夏季降水距平百分率合成图作了我国夏季(6~8月)降水的预测试验,预测意见如下:南方持续多雨,北方大部分地区降水明显偏少。主要雨区位于长江中下游地区,黄河下游、黄淮和东北大部地区降水偏少。与2008年的降水实况(气候系统诊断预测室, 2008)比较,可以看出图3c和图4b所反映的 La Niña 次年夏季我国的降水分布与实况还是比较吻合的。长江中下游和江南多雨以及黄河下游和东北大部分地区降水偏少的预测基本正确,只是实际雨带位置比预测的偏北一些,位于江淮流域。可以说预测试验取得初步成效。

5 小结和讨论

关于 ENSO 对中国夏季降水的影响已经进行了许多研究。然而,至今所有研究所得到的相关模型仅限于线性的关系,而实际上许多变量之间的关系是非线性的。相关系数存在不稳定的问题。本文根据1951~2007年中国160站月降水量资料和

Niño 3 区月平均海表温度资料, 采用滑动相关分析和合成分析等方法, 探讨了它们之间年际变化关系的长期变化的规律, 得到下面一些主要结果:

(1) ENSO 与中国夏季降水之间的年际变化关系的长期变化具有明显的地域性, 东北和西北大部分地区相关系数随时间的变化要比东部地区的大。这可能可以说明为什么用 ENSO 指标预报我国汛期降水在东部地区效果较好, 而在东北和西北地区的预测能力有限。

(2) 各区 ENSO 与降水年际变化的关系随时间的变化都具有明显的阶段性。近 50 多年来, 根据滑动相关系数的变化可分成 1962~1977 年、1978~1992 年和 1993~2007 年 3 个阶段。经过合理分段后, 计算各个时段的相关, 每段的相关程度普遍都有明显提高。冀北和东北平原区就是一个典型的例子。显然, 这对提高汛期预报的准确率是很有帮助的。

(3) 它们从一个阶段向另一个阶段的转变都是以气候跃变的形式来完成的。近 50 多年来, 虽然不同地区其长期变化有不同的表现。但都共同在 1960 年代初、1970 年代末和 1980 年代末 1990 年代初发生了 3 次较强的跃变。

(4) 跃变前后 ENSO 与中国夏季降水之间的分段相关模型具有明显的差异。说明同样是 El Niño 或 La Niña 事件, 在不同年代背景下其对中国夏季降水的影响具有不同的表现。利用现阶段的相关模型和 ENSO 事件合成图进行预测的结果与实际比较吻合。因此, 利用 ENSO 事件作为我国降水预报, 不能只考虑其平均情况的年际变化的关系, 还应注意它们之间关系的不稳定性问题。

这里讨论的仅限于 ENSO 与我国夏季降水之间年际变化的关系随时间变化的一些特征, 还没考虑各阶段对应的东亚季风和大气环流的差异, 以及它们长期变化的过程和物理成因。这些问题还有待进一步揭示。另外, 从 1993 年至今已过去了 15 年, 应密切注意其可能转型的问题。

参考文献 (References)

Chang C-P, Zhang Yongsheng, Li Tim. 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: 4310-4325.

陈菊英, 王壬红, 王文. 2000. 近 50 年来 ENSO 的冷暖事件评定及

其对夏季雨型的滞后效应 [M]// 陈兴芳. 汛期旱涝预测方法研究. 北京: 气象出版社, 109-113.

Chen Juying, Wang Renhong, Wang Wen. 2000. The evaluation of cold/warm events of ENSO in recent 50 years and their lag effects on the summer rainfall patterns in China [M]// Chen Xingfang. Study on Drought and Flood Forecasting in Flood Season (in Chinese), Beijing: China Meteorological Press, 109-113.

陈烈庭. 1988. 热带印度洋-太平洋海温纬向异常及其对亚洲夏季风的影响 [J]. 大气科学. 特刊: 142-148.

Chen Lieting. 1988. Zonal anomaly of sea surface temperature in the tropical Indo-Pacific Ocean and its impact on the Asian summer monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), Special Issue: 142-148.

陈烈庭, 吴仁广. 1998. 太平洋各区海温异常对中国东部夏季雨带类型的共同影响 [J]. 大气科学, 22 (5): 718-726.

Chen Lieting, Wu Renguang. 1998. The joint effects of SST anomalies over different Pacific regions on summer rainbelt patterns in eastern China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 22 (5): 718-726.

陈文. 2003. 异常的东亚冬、夏季风循环与 ENSO 事件的关系 [M]// 巢纪平等. ENSO 循环机理和预测研究. 北京: 气象出版社, 43-56.

Chen Wen. 2003. Relations between anomalous East Asia winter and summer monsoons cycle and ENSO events [M]// Chao Jiping, et al. Study of ENSO Cycle Mechanism and Forecasting. Beijing: China Meteorological Press, 43-56.

符宗斌, 滕星林. 1988. 我国夏季的气候异常与埃尔尼诺/南方涛动现象的关系 [J]. 大气科学, 特刊: 133-141.

Fu Congbin, Teng Xinglin. 1988. Relation between summer climate anomaly in China and El Niño/Southern Oscillation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), Special Issue: 133-141.

高辉, 王永光. 2007. ENSO 对中国夏季降水可预测性变化的研究 [J]. 气象学报, 65 (1): 131-137.

Gao Hui, Wang Yongguang. 2007. On the weakening relationship between summer precipitation in China and ENSO [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 65 (1): 131-137.

Huang Ronghui, Wu Yifang. 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 6: 21-32.

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 Zuhui, Tao Shiyang. 1999. A study on the relationships between ENSO cycle and rainfalls during summer and winter in eastern China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 23 (6): 663-672.

Kinter J L, K. Miyakoda, Yang S. 2002. Recent change in the connection from the Asian Monsoon to ENSO [J]. *J. Climate*, 2002, 15 (10): 1203-1215.

林学椿. 1978. 统计天气预报中相关系数的不稳定性问题 [J]. 大气科学, 2: 55-63.

Lin Xuechun. 1978. Instability of correla-

- tion coefficient in the statistical weather forecast [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 2: 55–63.
- 刘颖, 倪允琪. 1998. ENSO 对亚洲夏季风环流和中国夏季降水影响的诊断研究 [J]. 气象学报, 56 (6): 681–691. Liu Ying, Ni Yunqi. 1998. Diagnostic research of the effects of ENSO on the Asian summer monsoon circulation and the summer precipitation in China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 56 (6): 681–691.
- 气候系统诊断预测室. 2008. 气候系统监测公报 [EB/OL]. 8pp. <http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/Monitoring/Bulletin/200808/historybulletinc.htm>. National Climate Centre. 2008. Climate System Monitoring Bulletin [EB/OL]. 8pp. <http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/Monitoring/Bulletin/200808/historybulletinc.htm>.
- 陶诗言, 张庆云. 1998. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应 [J]. 大气科学, 22 (4): 399–407. Tao Shiyang, Zhang Qingyun. 1998. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 22 (4): 399–407.
- Wang Huijun. 2002. The instability of the East Asian summer Monsoon – ENSO relation [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 19 (1): 1–11.
- Webster P J, Magaña V O, Palmer T N, et al. 1998. Monsoons: Processes, predictability, and the prospects for prediction [J]. J. Geophys. Res., 103 (C7): 14451–14510.
- Wu Rengguang, Wang Bin. 2002. A contrast of the East Asian summer monsoon – ENSO relationship between 1962–77 and 1978–93 [J]. J. Climate, 15: 3266–3279.
- 叶愈源. 1988. ENSO 事件与长江汛期降水 [J]. 气象, 4 (1): 42–44. Ye Yuyuan. 1988. Relations between ENSO events and precipitation in the Yangtze River basin during flood season [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 14 (1): 42–44.
- 张庆云, 宣守丽, 彭京备. 2008. La Niña 年冬季亚洲中高纬环流与我国南方降雪异常关系 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 385–394. Zhang Qingyun, Xuan Shouli, Peng Jingbei. 2008. Relationship between Asian circulation in the middle-high latitude and snowfall over South China during La Niña events [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 385–394.
- 赵亮, 邹力, 王成林, 等. 2006. ENSO 年东亚夏季风异常对中国江淮流域夏季降水的影响 [J]. 热带气象学报, 22 (4): 360–367. Zhao Liang, Zou Li, Wang Chenglin, et al. 2006. Impacts of the East Asian summer monsoon anomaly during the ENSO event period on the summer precipitation in the lower-middle reaches of the Yangtze River and Huaihe River valley [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 22 (4): 360–367.
- 宗海锋, 张庆云, 陈烈庭. 2008. 东亚-太平洋遥相关型形成过程与 ENSO 盛期海温关系的研究 [J]. 大气科学, 32 (2): 220–230. Zong Haifeng, Zhang Qingyun, Chen Lieting. 2008. A study of the processes of East Asia – Pacific teleconnection pattern formation and the relationship to ENSO [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (2): 220–230.