

中国季风降水与赤道东太平洋 海温的关系*

郭 其 蕴

(中国科学院 地理研究所)
(国家计划委员会)

提 要: 本文根据近38年(1951—1988年)海平面气压场与我国169个站降水的冬夏距平值,研究了季风降水与赤道东太平洋海温(SST)变化的关系,发现两者有联系的年占一定优势。季风降水与SST的关系虽非逐年对应,但SST异常对东亚季风气压场的年际变化及我国降水变化仍是一个不可忽视的影响因素。

主题词: 季风降水 埃尔·尼诺 海平面气压场

赤道东太平洋海温(以下简称SST),每隔2—7年即发生一次持续偏高的过程,称埃尔·尼诺现象。它的出现往往伴随着世界范围的气候异常,给社会经济带来严重影响。例如1982—1983年的埃尔·尼诺是本世纪以来最强的一次,海温正距平最高达 7°C 。据估计,这次事件所造成的世界经济损失约200亿美元^[1]。最近的一次埃尔·尼诺,持续时间较长,自1986年8月直到1988年2月,达19个月。这期间世界各地也出现了不同程度的异常气候^[2]。由于SST的异常增暖给世界各地气候造成的严重影响,已引起各国的广泛注意。但是人们发现埃尔·尼诺的影响随地区而异。迄今的研究表明,按埃尔·尼诺与气候异常的关系程度,受影响地区可以分为两类^[3]。一类包括赤道太平洋及邻近地区,如澳大利亚北部、印度尼西亚、厄瓜多尔、秘鲁等地,那里的气候与埃尔·尼诺的关系较直接、也较密切。埃尔·尼诺年与气候异常基本上可以一一对应,如澳大利亚的干旱与厄瓜多尔的多雨就是这样。另一类地区为虽有一定联系,但关系并不稳定。如埃尔·尼诺年印度季风雨量少,但也有些年雨量不少。又如西非干旱,确实在埃尔·尼诺年的1982年、1986年最明显。但该区干旱自1968年以来持续约20年。而在这20年中,虽有埃尔·尼诺年,但也有反埃尔·尼诺年。中国也属于后一类地区。如1969、1972、1976年的几次埃尔·尼诺事件,我国东北均出现了明显的夏季低温^[4],1965、1972、1983年的埃尔·尼诺事件,华北又发生了严重干旱,1982—1983年冬季,华南出现了罕见的洪涝^[5]。显然,这些现象都不是偶然的。

为了深入研究SST与我国季风降水的关系,根据近38年的资料做了一个系统的分析。由

本文1989年9月30日收到,1990年1月8日收到修改稿。

* 本文是在国家气象局季风科研基金和国家基金委共同资助下完成的。

于季风异常是我国气候异常的直接原因,而季风活动又与SST的变化有一定联系^[6]。所以着重从季风角度讨论SST与我国降水异常的关系。

我国属于受SST影响不十分明显的地区已如上述。所以并不试图寻找两者一一对应的关系,只期弄清SST对我国降水异常可能有什么影响,影响如何。这样就可以进一步明确SST的变化在我国降水异常形成中的地位。本文将集中研究SST、季风气压场及我国降水的同时关系,以季为时间尺度进行分析,重点分析冬、夏两季。

一、资 料

海平面气压场可以很好地描述季风活动^[7],所以用季平均海平面气压场距平(以下所用资料均以1951—1980年30年平均为气候值,对其求距平)来表征季风活动。12—2月代表冬季风期,6—8月代表夏季风期。SST取Angell的定义域^[8],即 180° — 90° W, 0° — 10° S范围内海表温度平均距平值,并以季平均 $\Delta \text{SST} \geq 0.5^{\circ}\text{C}$ 为高SST年,即埃尔·尼诺年, $\leq -0.5^{\circ}\text{C}$ 为低SST年,即反埃尔·尼诺年。因迄今尚无统一的严格的埃尔·尼诺定义,上述标准与多数作者的定义基本一致。为了确切,以下称高SST年或低SST年。降水资料用国家气象局长期科整理的全国160个站1951—1988年逐年6—8月和12—2月降水量,对1951—1980年求平均,然后计算距平百分比。

二、夏季降水与SST的关系

作者的研究表明^[9],SST与夏季各月全球海平面气压场最明显的相关区有南太平洋地区(负相关)和印度洋地区(正相关),这一分布特点属于ENSO范畴。而亚洲至西太平洋地区的相关不如上述地区明显,6、7、8各月的相关区也不完全一致。但大体上仍可归纳出共同的特征,即西太平洋的副热带地区和南亚为正相关,中纬度的大陆腹地负相关。为了看出在季平均气压场上的差异,选取了5个高SST年(1958,1963,1965,1969和1976年)及5个低SST年(1955,1964,1970,1974和1975年),分别做出夏季海平面气压合成图(图1a与1b),图1c为两个合成图的差值,斜线区为高SST年气压比低SST年高1hpa。可以看到,高SST年太平洋上的副热带高压西伸明显,沿 30°N ,1012hpa等压线在 140°E ,而低SST年在 145°E 。1016hpa等压线,高SST年在 155°E ,低SST年在 165°E 。大陆上 30°N 以北气压低, 10°N — 0° 气压高,反映在高SST年大陆季风低压南部填塞、中部及东北部加深。因此取 30°N 上 130° — 160°E 气压距平平均以及 10°N 上 60° — 120°E 气压距平平均,分别代表副热带高压西部及大陆季风低压南部的变化,在图1c中用方框表示,称之为 I_{s1} 和 I_{s2} 。图2中给出了1951—1988年的 I_{s1} 、 I_{s2} 和 I_s ,可以看到,大多数高SST年, I_{s1} 与 I_{s2} 均为正值。但1957年和1983年的 I_{s1} 为负,1972年的 I_{s2} 为负,说明在这些年,东亚地区季风气压场与多数高SST年不同。把 I_{s1} 与 I_{s2} 分别同SST计算相关系数,得到0.208和0.285,相关并不高。但这是两个彼此独立的因子,因为 I_{s1} 与 I_{s2} 之间的相关系数仅0.017。把这两个因子组合起来,使 $I_s = 0.4I_{s1} + 0.6I_{s2}$,那么 I_s 与SST的相关系数可达0.361,超过0.05信度。这说明

SST对东亚夏季风气压场的影响总的讲是可信的。其影响主要包括两个方面，即当高SST时，一方面西太平洋副热带高压向西伸，另一方面东亚大陆季风低压南部向北收缩。

至于SST的变化对我国降水的影响，过去不少作者做过分析。我们又用SST与近30年降

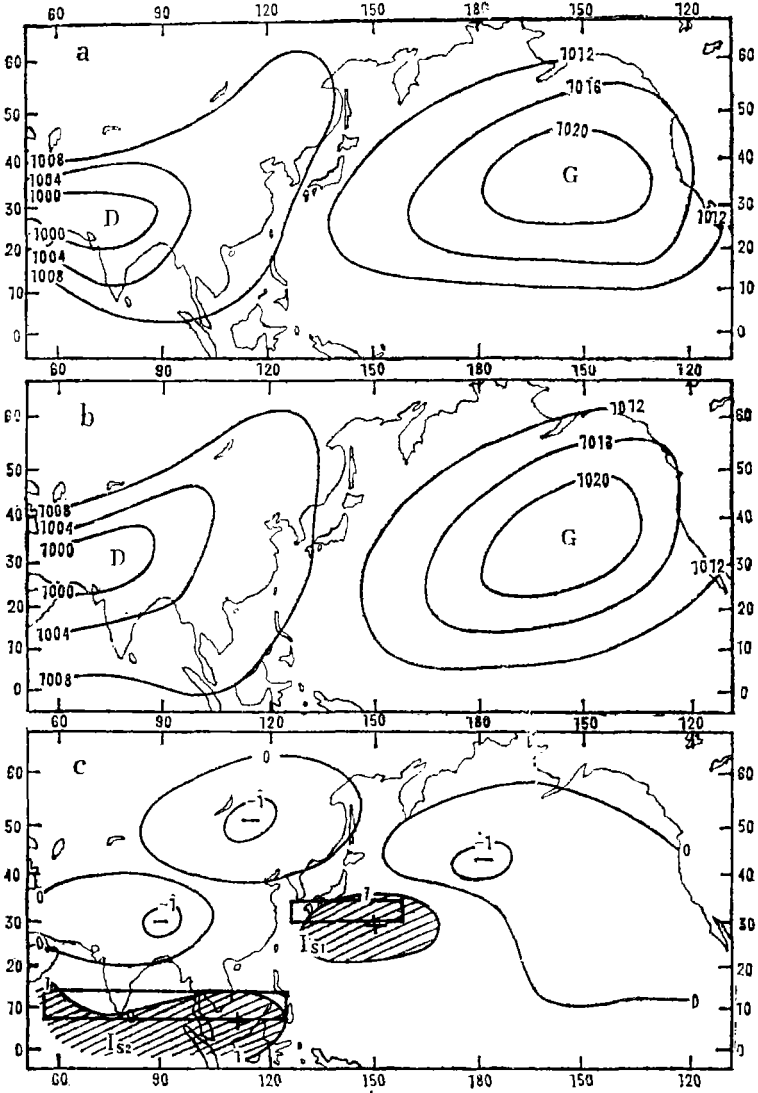


图 1 夏季高SST年(a)低SST年(b)海平面气压合成图
及其差值(c) = (a) - (b)，斜线区为气压差 ≥ 1 hpa
的区域，方框为 I_{s1} 及 I_{s2} 指标定义区。

Composite sea level pressure maps in summer (June-August)
(a) for the years with high SST (1958, 63, 65, 69, 76)
(b) for the years with low SST (1955, 64, 70, 74, 75)
(c) difference between (a) and (b), the areas with
oblique line indicates $\Delta P \geq 1$ hpa, the rectangles are
the region of definition of I_{s1} and I_{s2}

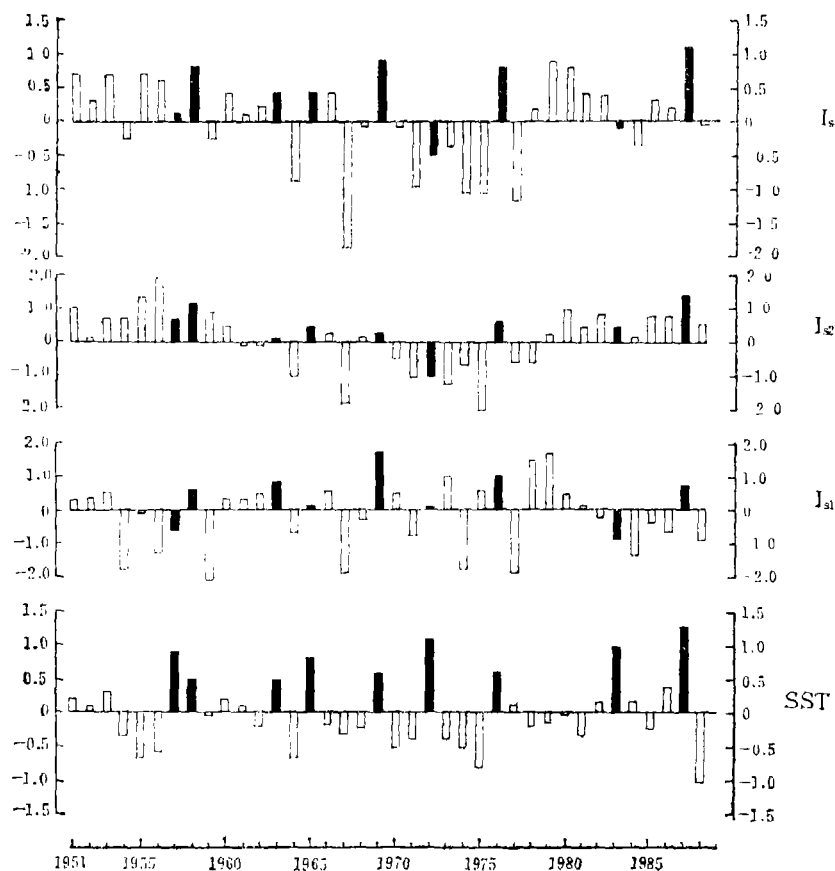


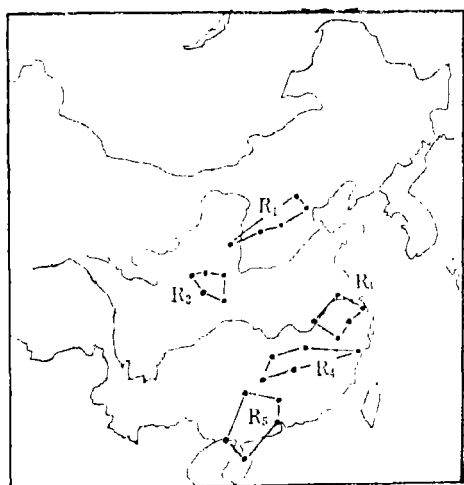
图 2 1951—1988年夏季SST, I_{s1} , I_{s2} , 和 I_s 的变化

黑实柱为 $\Delta SST \geq 0.5^\circ C$ 的年

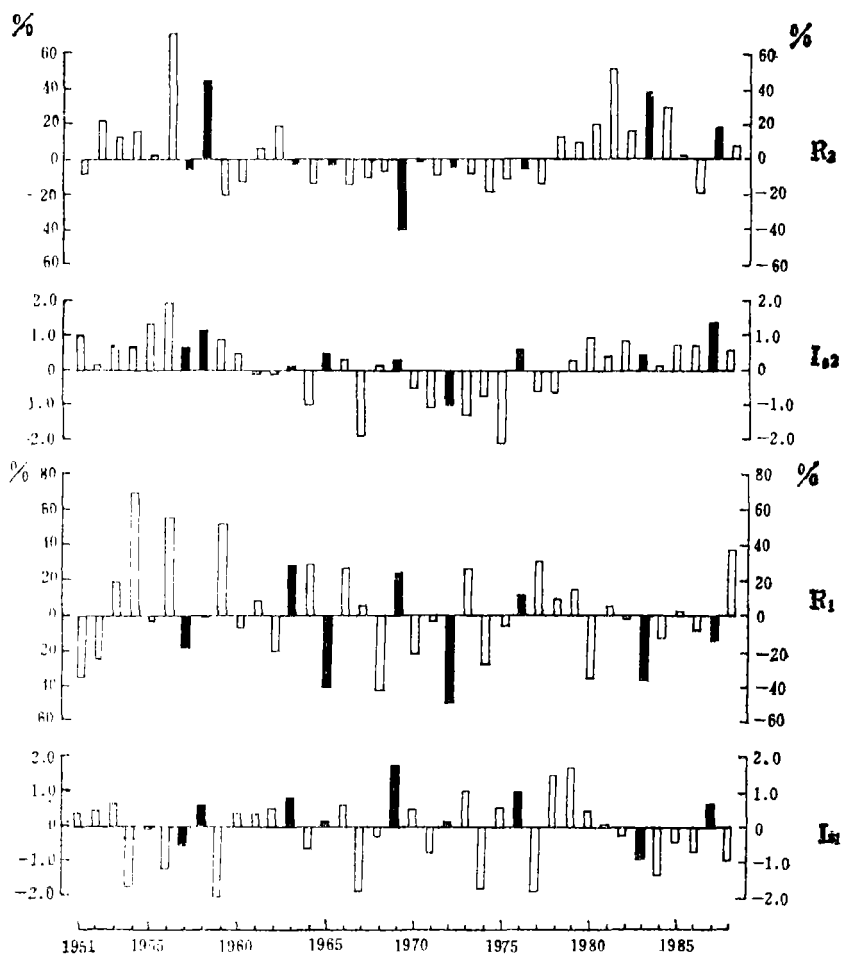
The variations of SST, I_{s1} , I_{s2} , and I_s in summer from 1951 to 1988 the years with $\Delta SST \geq 0.5^\circ C$ are shaded

水以及与近百年旱涝做了分析,发现夏季 SST 与同期降水的关系,在全国大部分地区为负相关,即SST高时,降水少。但相关系数稍高且有一定空间连续性的只有华北地区。所以以北京、天津、石家庄、太原、延安 5 站(测站分布见图 3)平均 6—8 月降水量距平 (R_1) 代表华北,并与 SST 求相关,相关系数达 -0.394 ,即高 SST 年华北地区少雨(图 4)。这是我国在埃尔·尼诺当年降水异常反映最明显的地区,如 1957、1965、1972、1983 和 1987 年干旱都很严重,其中前 3 年不仅华北干旱,也是我国 50 年代以来 3 个著名的全国大旱年^[10]。但是也有 3 个高 SST 年(1963, 1969 及 1976 年),华北夏季降水量为正距平。这说明即使在降水与 SST 达到信度的相关情况下,仍有一些年与占优势的规律不一致。

R_1 与 I_{s1} 亦为负相关,但相关系数不高。不过从距平符号来看,当 I_{s1} 为负时, R_1 多为正(见图 4),如 1954、1956、1959、1967、1974、1977、1984 和 1988 年 8 个 I_{s1} 达到 -1.0

图 3 夏季降水量 (R_1, R_2) 及冬季降水量(R_3, R_4, R_5) 选站分布图

The location of stations used
in calculating summer rainfall
indices (R_1, R_2) and winter
rainfall indices (R_3, R_4, R_5)

图 4 1951—1988年 I_{s1}, I_{s2}, R_1, R_2 的变化, 黑头柱为 $\Delta SST \geq 0.5^\circ C$ 的年份The variations of I_{s1}, I_{s2}, R_1, R_2 from 1951 to 1988the years with $\Delta SST \geq 0.5^\circ C$ are shaded

的夏季, R_1 偏多的有 6 年, 而且华北降水量最多的 4 年均包括在这 8 年中。因此可以认为, 华北降水量 (R_1) 与 SST 有一定关系, 与西太平洋气压场 ($I_{s,1}$) 也有一定关系。

上面谈到 SST 与 $I_{s,2}$ 有正相关, 从图 1c 也可以看到, 高 SST 年亚洲大陆南部气压偏高, 中部及东北部气压偏低。那么这种气压场的变化在我国降水变化上有什么反映。分析表明, $I_{s,2}$ 与华西降水关系密切。我们取岷县、天水、汉中、西安和安康 5 站 (图 3 中 R_2) 代表华西夏季降水量, 记为 R_2 。 R_2 与 $I_{s,2}$ 相关可高达 0.433, 从图 4 也可以看到两者长期变化趋势非常一致。1962 年以前, R_2 以正距平为主, $I_{s,2}$ 也偏高, 1963—1977 年连续 15 年 R_2 为负距平, 这期间绝大多数年 $I_{s,2}$ 也是负距平, 1978—1988 年的 11 年中, 仅 1986 年 R_2 为负距平, 其余年均为正距平, $I_{s,2}$ 也大部份年为正距平。但 R_2 与 SST 的相关不大, 这说明华西降水更直接受大陆季风低压控制, 而与 SST 的关系比较间接。当处于季风低压中部及东北部加深 ($I_{s,2}$ 高) 的多雨期 (1951—1962 年及 1978—1988 年) 时, 高 SST 年降水也偏多, 如 1958、1983、1987 年就是这样。但在 $I_{s,2}$ 持续偏低的少雨期 (1963—1977 年) 中, 高 SST 年, 降水正常略偏少 (只有 1969 年偏少明显)。上述 SST 与华西降水的关系, 在一定程度上类似于西非降水与埃尔·尼诺的关系; 50 年代西非多雨, 包括强大的 1957—1958 年的埃尔·尼诺时期也多雨, 但在 1968 年以后的少雨期中, 则大部分严重干旱年都出现在埃尔·尼诺年, 如 1972 年, 1982 年等^[11]。

以上分析表明, 夏季 SST 高时, 西太平洋副高西伸, 大陆季风低压南部填塞, 中部及东北部加深; 东亚季风气压场发生变化, 我国降水的反映是华北少雨, 华西多雨。SST 低时, 情况相反。但这只是占优势的趋势, 有一些年上述关系受到破坏。

三、冬季降水与 SST 的关系

冬季 (12—2 月) 是埃尔·尼诺发展的顶峰时期, 不少作者深信埃尔·尼诺对气候的影响在冬季最明显^[12]。我们分析了 SST 与同期冬季海平面气压场的关系, 结果表明 SST 与气压场的最大相关区依然在南半球; 南太平洋为负相关, 印度洋为正相关, 仍属于 ENSO 范畴。但同时也看到, 在西太平洋 12—2 月各月都有一个比较大的正相关区。为了对这种关系看的更清楚, 与分析夏季类似。我们做了高 SST 年及低 SST 年的冬季海平面气压合成图 (图 5)。高 SST 年取 1957—58, 1965—66, 1968—69, 1972—73, 1976—77 年; 低 SST 年取 1955—56, 1964—65, 1967—68, 1973—74, 1975—76 年。对比图 5a, b 可以看到, 最大差别在北太平洋的副热带地区。高 SST 年 (图 5a) 1015 hpa 等压线呈东西向, 在 20°—30°N 之间有一横跨太平洋的明显高压带。而在低 SST 年 (图 5b), 1015 hpa 线包围亚洲大陆东岸及北美西岸, 20°—30°N 之间气压偏低, 图 5c 中斜线区为气压差 ≥ 2 hpa 的区域。作者曾分析了逐日天气图 (资料未给出) 发现, 埃尔·尼诺年, 大陆高压频繁出海东移, 与从季平均气压场所得结果一致。从图 5 中还看到, 高 SST 年阿留申低压也较深, Bjerknes^[13] 也曾指出这一事实。从天气学角度看, 这与大陆高压频繁东移有密切关系。为了反映 SST 的影响, 取一个既考虑高压移动又与 SST 相关较高的区 (图 5c 中方框), 求出该区平均气压距平值 I_w 。SST 与 I_w 的相关高达 0.662, 超过了 0.001 的信度, 远比 SST 与夏季风气压场的关系好。在所

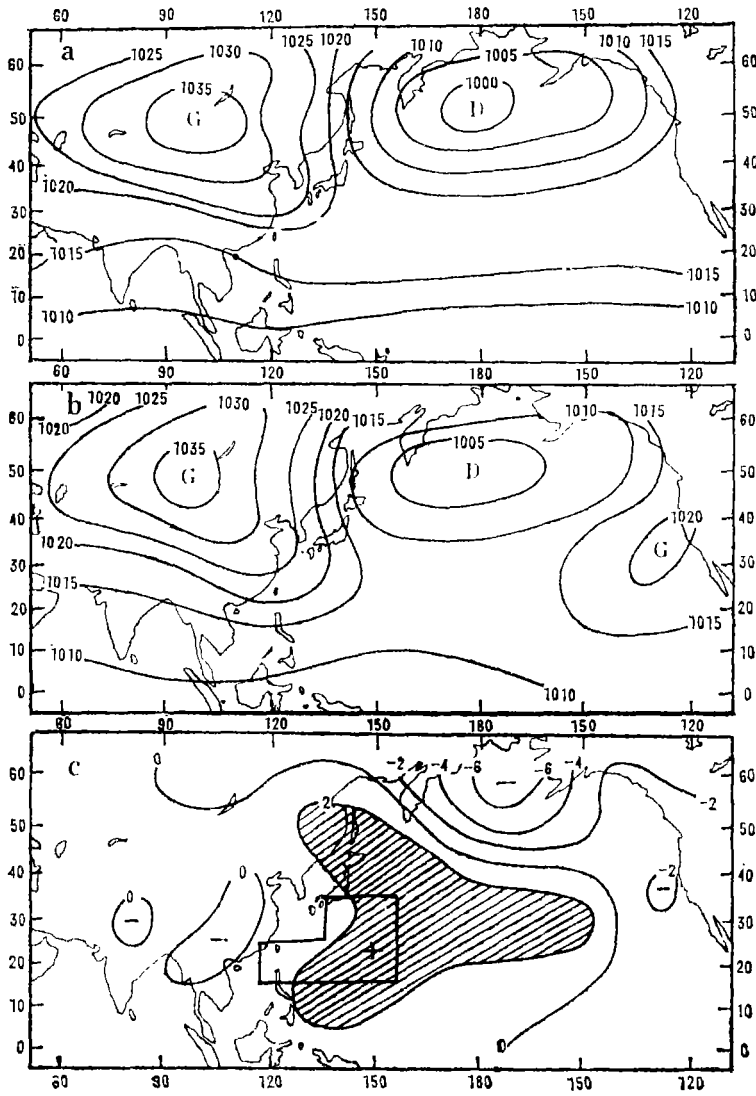


图 5 冬季(12—2月)高SST年(a)低SST年(b)海平面气压合成图及其差值图(c) = (a) - (b), 斜线区气压差 $\geq 2\text{hpa}$, 方框为 I_w 指标定义区
Composite sea level pressure maps in winter (Dec.—Feb.)

(a) for years with high SST (1957—58, 1965—66, 1968—69, 1972—73, 1976—77), (b) for the years with low SST (1955—56, 1964—65, 1967—68, 1975—74, 1975—76), (c) difference between (a) and (b), the regions with oblique line indicate the $\Delta p \geq 2\text{hpa}$ the rectangle shows the region of definition for I_w

分析的38年冬季中,有12年 $\Delta SST \geq 0.5^{\circ}C$ (图6), I_w 全部为正。这可能表明,埃尔·尼诺年北太平洋副热带地区哈德莱环流增强,沿赤道上升气流增强,在高空转向较高纬度,并在副热带下沉,因此副热带高压增强。

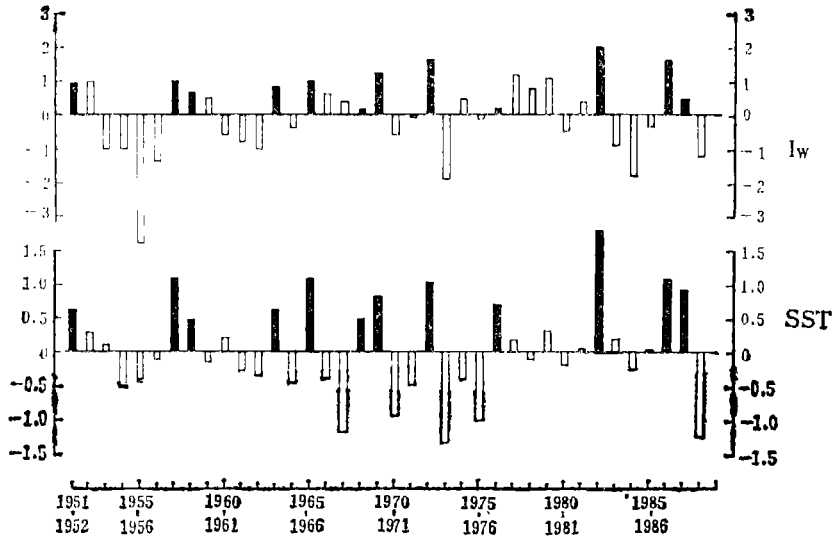


图 6 1951—1988年冬季SST与 I_w 的变化,黑实柱为 $\Delta SST \geq 0.5^{\circ}C$ 的年
The variations of SST and I_w in winter season from 1951 to 1988, the years with $\Delta SST \geq 0.5^{\circ}C$ are shaded

SST与东亚冬季风气压场的这种联系,在我国冬季降水场上也应有一定反映。不过如上述,我国并不直接受瓦克环流或赤道中太平洋的哈德莱环流的影响。所以尽管 I_w 与SST有很高的相关,但我国的气候与SST一一对应的关系还难以发现。我们计算了冬季SST与同期降水量相关(图略),发现我国南方大部分为正相关,即高SST年降水量多。最突出的例子就是1982—83年冬季,华南出现了少有的冬季洪涝,降水量几乎为多年平均的3倍。但每次高SST时,多雨区有所变化。为了比较全面地反映不同地区降水与SST的关系,我们选了3个关系较密切的地区,各用5个站为代表。以南京、上海、杭州、安庆、衡县代表长江下游(R_3),温州、南昌、吉安、长沙、衡阳代表江南(R_4),桂林、曲江、广州、北海、海口代表华南(R_5),测站位置分布见图3。各区历年冬季降水量距平百分比及3个区平均(R)的变化绘在图7中。可以看到, R_4 与高SST的关系最好,1951—1988年共有12个冬季SST距平 $\geq 0.5^{\circ}C$ (图7中黑实柱),只有4次 R_4 为负距平。 R_3 则反映最强烈,两个降水量最多的冬季,即1968—69年和1972—73年均与SST偏高年。 R_5 则在1982—83年表现最突出。3个区的平均(R),关系比较稳定,大部分高SST年降水多,低SST年降水少。但也有反例,如1988—89年冬季, $\Delta SST < -1.0^{\circ}C$ (见图6),但这年冬季不仅华南(R_5)多雨,江南(R_4)及长江下游(R_3)也多雨,与多数低SST年少雨的规律不一致。我们认为这可能又是一个例子说明SST以外的其它因子在起作用。因为该年冬季欧亚大陆北部气温异

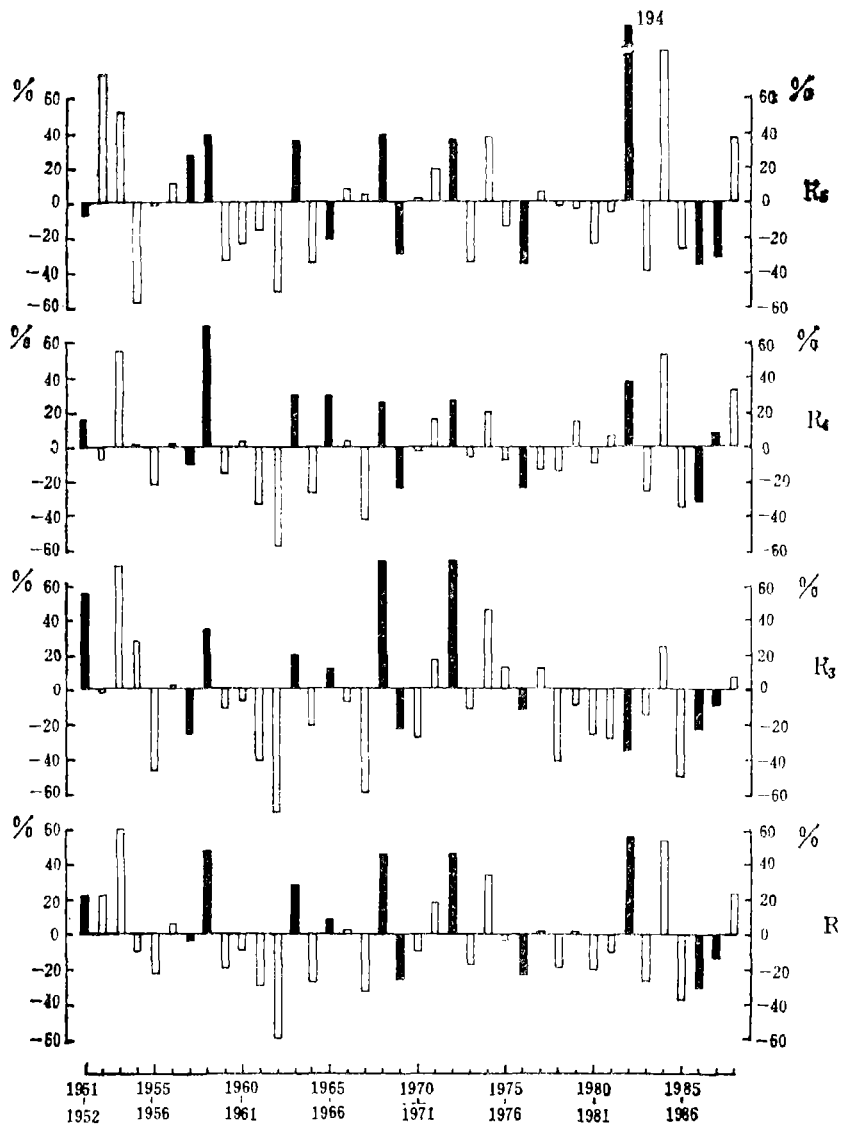


图 7 1951--1988年冬季各区 (R, R₃, R₄, R₅) 降水量距平百分比变化, 黑实柱为 $\Delta SST \geq 0.5^{\circ}C$ 的年

The variations of rainfall anomalies in percentage for winter season in each region (R, R₃, R₄, R₅) from 1951 to 1988, the years with $\Delta SST \geq 0.5^{\circ}C$ are shaded

常偏高, 亚洲南部正常或略偏低^[14]。这种大范围气温异常的分布非常类似于1982—83年冬季的温度分布型^[15], 我国在这两个冬季的气温分布也同样是北暖南冷。因此是否由于欧亚大陆的热状况异常造成华南多雨, 值得注意。

总之, 冬季SST偏高我国南方易多雨, SST偏低则少雨。不过尽管这种关系占明显优势, 但各区均有反例。这说明对冬季我国南方降水量的年际变化来说, SST的异常也不是唯一的原因。

四、结论与讨论

以上分析表明, 我国季风降水确实与赤道东太平洋海温(SST)变化有一定联系, 联系的媒介是季风气压场。夏季SST高时, 西太平洋副热带高压沿 30°N 西伸($I_{s1} > 0$), 我国华北干旱($R_1 < 0$), 亚洲大陆季风低压南部填塞、中部及东北部加深($I_{s2} > 0$), 华西多雨($R_2 > 0$), 1983和1987年夏季就是典型的例子。SST低时, 西太平洋高压东退, 华北多雨, 亚洲大陆季风低压南部加深、中部及东北部填塞, 华西少雨, 1964年是典型的例子。

冬季SST高时, 大陆季风高压频繁东移入海, 西太平洋到中太平洋的副热带地区气压上升($I_v > 0$), 我国南方多雨, 如1969—70年冬、1972—73年冬; 从长江下游到华南普遍多雨, 1982—83年冬华南洪涝严重。SST低时, 我国南方少雨, 如1954—55年冬华南雨量(R_3)是近38年最少的一年, 1967—68年冬江南(R_4)及长江下游(R_5)均为38年中的次少年, 这两年 $\Delta\text{SST} \leq 0.5^{\circ}\text{C}$ 。在肯定SST与我国季风降水及季风气压场存在一定联系的同时, 想着重指出两点:

第一, 东亚季风气压场与SST可能是相互作用的。因为本文的分析是以季为单位, 时间尺度较长, 虽然研究的是同时关系, 但在一定程度上可能包括了两者的相互作用。例如在冬季, 并不一定认为只有瓦克环流减弱促使大陆季风高压频繁东移入海, 也可能大陆高压东移入海加强了中太平洋的哈德莱环流。因为SST升高(埃尔·尼诺)时, 瓦克环流东退减弱。因此本来在西太平洋赤道地区的上升支也随之东移, 这样西太平洋低纬的哈德莱环流减弱, 不利于高压在东亚南下, 而促使它更频繁的东移入海。但当大陆高压频繁东移入海深入到中太平洋时, 也可以促使那里的哈德莱环流增强, 加强赤道中太平洋的上升气流, 因此产生相互加强的正反馈作用。

第二, 我国季风降水与SST的联系可能是通过季风气压场的变化来实现的。因为季风降水变化的直接原因是季风环流异常。从物理过程来看SST通过影响季风环流对我国降水产生作用应该是主要过程。这与赤道中太平洋的情况不同, 那里由于SST高而对流增强, 直接影响降水。我国季风降水依赖于季风的变化, 而季风的变化除受海面温度影响外, 大陆热状况也十分重要。若大陆热状况异常的作用超过SST的影响时, 降水与SST的关系就可能受到破坏。1988—89年冬季即为其例。虽然这一年SST偏低, 但欧亚大陆北暖南冷, 与1982—83年冬的热状况极其相似, 所以未因SST低而少雨, 反而普遍多雨。

参 考 文 献

- (1) 符淙斌: 厄尔·尼诺预报的现状和问题, 气象, 12卷增刊2, 1986年。
- (2) 王世平、庄丽莉: 关于1986/87年ENSO事件的评论, 长期天气预报研究通讯, 第8806号, 44期(2), 1988年。
- (3) M. Glantz et al.: Climate crisis: The societal impacts associated with the 1982-83 worldwide climate anomalies. United Nations Publications, 1987.
- (4) Wang Shaowu and Zhu Hong: El Niño and cool summer in east Asia, Kexue Tongbao, Vol. 31, p. 474-478, 1986.
- (5) Wang Shaowu et al.: The impact of the 1982-83 El Niño event on crop yields in China, *ibid*(3) P. 43-49.
- (6) Guo Qiyun and Wang Risheng: A study on monsoon and planetary components of sea level pressure field in summer and the relationship with sea surface temperature. *Acta Oceanologica Sinica*, Vol. 7, Supp. 1, p. 84-95, 1988.
- (7) 郭其蕴: 东亚夏季风强度指数及其变化的分析, 地理学报, 38(3), 1983年。
- (8) J. K. Angell: Comparison of variations in atmospheric quantities with sea surface temperature variations in equatorial eastern Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, vol. 109, p. 230-243, 1981.
- (9) 郭其蕴、王日昇: 从全球海平面气压场的变化分析厄尔尼诺形成的大气环流条件, 海洋学报, 12(4), 1990年。
- (10) 冯佩兰等: 中国主要气象灾害分析(1951—1980), 气象出版社, 1985年。
- (11) D. Entekhabi and S. E. Nicholson: ENSO, Sea-surface temperatures and African rainfall, *Proceedings of the Twelfth Annual Climate Diagnostics Workshop*, October 12-16 p. 135-145, 1987. U.S. Department of commerce, 1988.
- (12) J. M. Wallace and D. S. Gutzler: Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, p. 784-812, 1981.
- (13) J. Bjerknes: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 97, p. 163-172, 1969.
- (14) Climate Diagnostics Bulletin January 1989 U.S. Department of Commerce.
- (15) D. E. Parker et al.: Worldwide surface temperature variations, 1984-87, in relation to El Niño, tropical rainfall and longer-term trends. *Long-Range forecasting Research Report Series No. 9*, p. 64-71, 1989.

RELATIONSHIPS BETWEEN THE MONSOON RAINFALL OVER CHINA AND THE SEA-SURFACE TEMPERATURE IN THE EQUATORIAL EASTERN PACIFIC

Guo Qiyun

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State
Planning Commission of the People's Republic of China)

Subject terms: monsoon rainfall, El Nino, sea level pressure field

Abstract

The relationships between the monsoon rainfall and the sea-surface temperature (SST) in the Equatorial Eastern Pacific are examined based on the thirty-eight-year (1951-1988) data set of sea level pressure maps in the Northern Hemisphere and the rainfall of 160 stations over China in summer (June-August) and winter (Dec.-Feb.). The study shows predominance of the years, in which the monsoon rainfall does not in accordance with the SST year to year. However, the SST anomaly takes a role which can not be ignored in examining the interannual variability of monsoon pressure field over East Asia and the monsoon rainfall in China.