

山东夏季降水与北太平洋 SST 和大气环流的关系¹⁾

张苏平 朱平盛 胡桂芳

(山东省气象科研所, 济南 250031)

提 要

计算发现赤道东太平洋和北太平洋流区海温与山东夏季降水相关性好,在此基础上,讨论了山东夏季旱涝年同期、前期 SST 异常的特征及其与大气环流的相互关系,发现同期 SST 异常显著,前期赤道东太平洋 SST 负异常与 500hPa 大气环流负 WP 遥相关型关系密切,北太平洋流区海温异常很可能受环流异常的调制。利用 2—4 月高相关区 SSTA 做当年夏季降水趋势预测的试验和利用赤道东太平洋区 3 月、北太平洋流区 7 月海温做长期夏季降水预测的试验表明, SST 可以对山东夏季的旱涝预测提供非常有价值的参考。

关键词: 夏季降水 北太平洋海温 大气环流

前 言

近年来,许多作者对海表温度(SST)与降水的关系进行了大量的探讨。理论和事实都证明 SST 的变化对短期气候异常,如大范围持续性旱涝等,起着重要作用。下垫面热力状况的改变,通过海气相互作用,造成大气环流异常,引起气候异常。我省有不少作者也探讨了厄尔尼诺事件与山东降水的关系^[1,2]。鉴于厄尔尼诺事件本身发生的时间、持续的长短、传播的方向以及强弱等有很大不同,因此,寻找厄尔尼诺事件与降水的关系变得复杂化。本文直接从海表温度的变化及其与大气环流的关系入手,研究山东夏季旱涝,为预报提供新的参考途径。

1 北太平洋海温与山东降水的相关性

对夏季山东降水与前期冬、春季和同期的北太平洋 SST 相关分析发现,相关性最明

显的区有两个:赤道东太平洋区和北太平洋流区。前者与山东降水呈负相关,从冬到夏非常稳定,信度在 0.05—0.01 之间。后者呈正相关,也很稳定,信度在 0.05—0.01 之间。夏季山东降水与黑潮区的 SST 相关性较不稳定,前期冬、春季为负相关,同期夏季为正相关,信度较低。因此,本文着重分析的海区为:北太平洋流(NPC)区(30—45°N, 180—150°W),赤道东太平洋(EEP)区(10°N—10°S, 140—80°W)。

2 旱涝年的 SST 特征

2.1 旱涝年的划分

考虑山东省范围较小,而 SST 异常时空尺度很大,选旱涝年时适当结合了华北平原的情况。其中山东用了具有代表性的 13 个站 1951—1992 年逐月降水资料,华北平原选用 14 个站降水资料。图 1 为山东和华北平原夏

1) 本文受中国气象局“短平快”课题“卫星遥感资料在山东旱涝分析、预测中的应用”支持

季(6—8月)降水距平变化,可见两区域降水大部分年份同旱同涝。选出大范围旱的年份有1952、1968、1980、1983、1986、1989、1992年,大范围涝的年份有1963、1964、1971、1990年。这些年份山东省降水距平百分率绝对值一般超过25%,华北降水距平百分率绝对值一般超过20%。

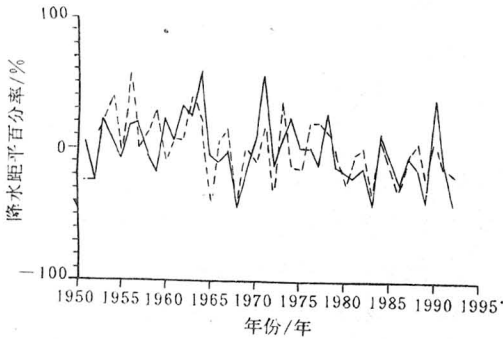


图1 1951—1992年山东、华北平原夏季降水距平曲线

2.2 旱涝年夏季(同期)的 SST 特征

分别计算了夏季(6、7、8月)旱年(7年)和涝年(4年)平均 SST 距平值,可以发现两者有显著不同。旱年基本呈北负南正型:30°N以北为负距平,以南为正距平,正负距平最明显的区域分别位于 NPC 和 EEP 区。涝年该两区 SST 场特征与旱年正好相反, SST 正距平最明显的区域在 NPC 区,负距平最明显的区域在 EEP 区。图2为7月旱涝年 SST 差异图(涝年 SST 平均减旱年 SST 平均),可以看出 NPC 区和 EEP 区有非

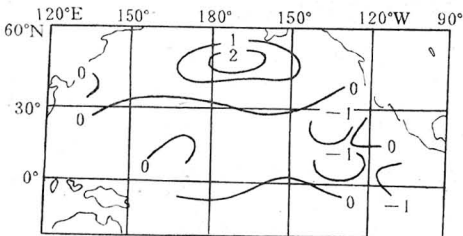


图2 旱涝年7月 SST 差异图
(涝年减旱年)

常明显的 SSTA 异常区,且 NPC 区的正异常(2.4℃)比 EEP 区的负异常(-1.5℃)更明显。

2.3 旱涝年前期冬春 SST 特征

从1—4月 SSTA 场可以看出,旱涝年前期 EEP 和 NPC 区的 SSTA 形势相反。旱年 EEP 区为正距平, NPC 区为负距平,而涝年则正距平主要位于 NPC 区, EEP 区及中纬度西太平洋为负距平,这种形势可一直维持到夏季。图3为2月 SSTA 旱涝年差异图,可

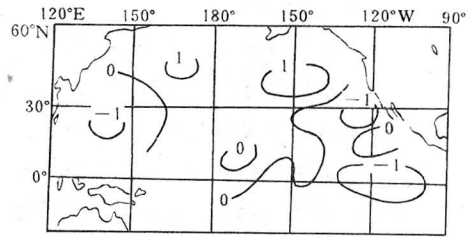


图3 旱涝年2月 SSTA 差异图

以看出在 NPC 区和 EEP 区各有一绝对值超过 1.0℃ 的正负异常区,但 EEP 区更明显。图4为 NPC 区最大 SSTA 正异常值和 EEP 区最大 SSTA 负异常值随时间的变化。可以看出从1月份开始,EEP 区的负异常强度迅速增加,4月达最强(-2.4℃),5月开始减弱,而同时 NPC 区的正异常开始明显增大,7月份达最强(2.4℃)。说明夏季旱涝年前期

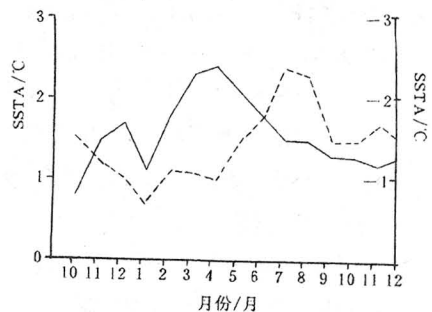


图4 旱涝年 NPC 区最大 SSTA 正异常(虚线)和 EEP 区最大 SSTA 负异常(实线)

冬、春 SSTA 的变化由赤道东太平洋首先开始,与其遥相关密切的北太平洋流区的 SSTA 不仅符号与前者相反,在时间上亦落后 2—3 个月。因此,从短期气候预报角度考虑,应首先特别注意 EEP 区 SSTA 的变化。

3 旱涝年前期 500hPa 环流异常及与 SST 的关系

施能等(1996)^[3]分析厄尔尼诺发生前北半球大气环流时指出,厄尔尼诺发生前的冬季,500hPa 高度场是 WP 遥相关型。我们计算了山东夏季旱涝年前期各月 500hPa 距平差异,发现 2 月份 500hPa 高度场类似于负 WP 遥相关型,即阿留申及以北地区为负异常,其南部的太平洋地区(20°N 以北)为正异常,且超过了 0.05 的信度水平(图 5),但中心较文献[3]更偏东北。比较图 4 可知,4 月 EEP 区 SST 负异常最明显,如果说 EEP 区 SST 负异常与反厄尔尼诺事件有关,则负 WP 遥相关对反厄尔尼诺事件的发展有一定前兆意义。在 500hPa 距平差异合成图上,25°N 以北的西、中太平洋地区 3—5 月基本维持正异常,其北部负异常,只是没有通过显著性检验,这表明山东夏季多雨年前期冬春西、中太平洋地区 500hPa 正距平,阿留申及

以北为负距平;少雨年前期冬春 500hPa 高度场的变化正好相反,这是造成山东夏季旱涝更加直接的原因。这种负 WP 遥相关型出现于 NPC 区 SST 正异常增强前,而且高度场正异常中心位置基本与 SST 正异常中心重合(40°N 左右),因此 WP 遥相关型很可能对 NPC 区 SST 变化起了调制作用。另外,杨英等(1995)^[4]发现冬季北太平洋流区(160°E—170°W, 40—50°N 和 170—150°W, 30—45°N)SST 暖异常时,500hPa 出现 PNA 遥相关型,并且冬季 PNA 环流型首先激发北太平洋海流 SST 异常。本文分析了山东夏季旱涝年各月 500hPa 距平差异合成(从上年 10 月至同年 12 月)发现,在北太平洋流区最大 SST 正异常出现后 3—4 个月,即在 11 月份,500hPa 距平差异图上出现明显的 PNA 遥相关型(图略),其中心信度达 0.05—0.01,说明夏季北太平洋流区 SST 异常增暖可能引起秋季 PNA 型大气环流的异常。需要指出的是,比较各月 500hPa 距平差异图和各月 SST 距平差异图发现,高度场的变化较 SST 的变化大得多,因此,从长期预报角度考虑,SST 是非常稳定的预报因子。

4 用 EEP 区和 NPC 区 SST 做山东夏季降水预报试验

文献[1—2]指出,弱厄尔尼诺的当年和次年,反厄尔尼诺当年山东涝多于旱,强厄尔尼诺年和反厄尔尼诺次年降水明显减少。而当做夏季预报时,往往很难确定是否有厄尔尼诺或反厄尔尼诺事件发生,对其发生的强弱、类型、阶段等更难确定,因此将其用于预报比较困难。根据前面分析,山东夏季旱涝前冬春 EEP 区海温首先异常,且 4 月份达到最大,因此作者直接用 EEP 区 2—4 月海温距平做同年夏季旱涝预报。选取 2、3、4 月 EEP 区 SST 与山东夏季降水相关最好的点 SSTA 作为指标,其位置及相关系数见表 1。当至少

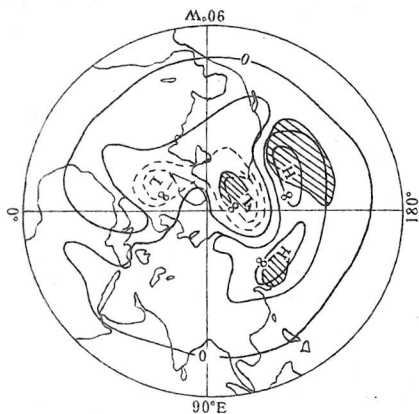


图 5 旱涝年前期 2 月 500hPa 差异图
(涝年减旱年)

有一个点的距平小于 -1.0°C 且其它点大部分为负距平时,报夏季偏涝;当至少有一个点的距平大于 1.0°C 且其它点大部分为正距平时,报夏季偏旱;不符合上述条件时,报正常。检验的标准是:报正常,实况降水距平百分率绝对值 $\leq 20\%$ 时为对;报偏涝、偏旱时,用符号检验法,即报偏旱,实况降水距平百分率 < 0 时为对;报偏涝,实况降水距平百分率 > 0 时为对,结果见表 2。可以看出,43 年中报错只有 9 年,虽然这种检验方法很不严格,但至少大部分旱涝年(实况降水距平百分率绝对值 $> 20\%$)报出,其中涝年 8 年,报出 5 年,旱年 7 年,报出 4 年。根据 NOAA(1995)^[5] 发布的 1996 年冬春季 Nino3 区 ($5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}, 90-$

150°W) SSTA 预报,该区为持续负距平,结合以上分析,可以得出 1996 年夏季山东可能多雨的结论。据统计,1996 年夏季山东降水 492mm 左右,较常年偏多 2 成左右。值得一提的是 6 个错报年中有 4 个发生于 80 年代,这很可能反映了降水超长期变化(10 年以上)的趋势,同时也反映了夏季降水的复杂性。

表 1 选取 EEP 区 SST 相关点位置及相关系数

月份	点数	位置	相关系数
2 月	2 点	$5^{\circ}\text{N}, 115-120^{\circ}\text{W}$	$-0.36, -0.44$
3 月	3 点	$5^{\circ}\text{S}, 135-145^{\circ}\text{W}$	$-0.39, -0.50, -0.42$
4 月	3 点	$5^{\circ}\text{S}, 125-135^{\circ}\text{W}$	$-0.44, -0.47, -0.39$

$\alpha=0.01 \quad r=0.36 \quad \alpha=0.001 \quad r=0.46$

表 2 用前冬春 EEP 区 SSTA 做夏季旱涝趋势试报的结果统计

年份	试报	实况(%)	检验	年份	试报	实况(%)	检验	年份	试报	实况(%)	检验
1951	正常	4	对	1965	偏旱	-4	对	1979	偏旱	-13	对
1952	偏旱	-24	对	1966	偏旱	-10	对	1980	正常	-16	对
1953	正常	22	错	1967	正常	-2	对	1981	正常	-21	错
1954	偏涝	6	对	1968	偏旱	-44	对	1982	正常	-15	对
1955	偏涝	-6	错	1969	偏旱	-16	对	1983	偏旱	-41	对
1956	偏涝	17	对	1970	偏旱	9	错	1984	正常	11	对
1957	正常	20	对	1971	偏涝	57	对	1985	正常	-11	对
1958	正常	-5	对	1972	偏旱	-15	对	1986	正常	-25	错
1959	正常	-17	对	1973	偏旱	10	错	1987	偏旱	-5	对
1960	正常	23	错	1974	偏涝	23	对	1988	正常	-14	对
1961	正常	6	对	1975	偏涝	1	对	1989	偏涝	-40	错
1962	正常	6	对	1976	偏涝	1	对	1990	正常	40	错
1963	偏涝	24	对	1977	偏旱	-12	对	1991	正常	-12	对
1964	偏涝	57	对	1978	偏涝	23	对	1992	偏旱	-42	对

实况为降水距平百分率

SST 除了做短期气候预测外(季际),作者还尝试做长期降水预测(年际)。利用降水和 SST 为因子的多变量均生函数,建立多维时间序列模型^[6],做出 2000 年以前的山东夏季降水趋势预测。分别选取 EEP 区 3 月相关

系数为 $-0.39, -0.50, -0.42$ 的三个连续点和 NPC 区 7 月相关系数为 $0.53, 0.50, 0.53$ 的三个连续点(信度均在 0.01 以上)的 SST 平均值作为时间序列进行计算。根据回归系数矩阵,得到预报方程:

$$\begin{aligned} \hat{X}(t) = & 0.1617f_{10}^1(t) + 0.1877f_{16}^1(t) + 0.2107f_{14}^1(t) + 0.2162f_{17}^1(t) + 0.1398f_{18}^1(t) \\ & + 0.1855f_{21}^1(t) + 0.0021f_4^2(t) + 0.0643f_8^2(t) - 0.0412f_7^2(t) - 0.0398f_{14}^2(t) \\ & - 0.0193f_{13}^2(t) - 0.0575f_{18}^2(t) - 0.0075f_{19}^2(t) + 0.0287f_{12}^2(t) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} X(t) = & 0.0443f_{10}^1(t) + 0.1771f_{14}^1(t) + 0.1801f_{16}^1(t) + 0.2910f_{17}^1(t) + 0.1254f_{18}^1(t) \\ & + 0.1709f_{21}^1(t) + 0.3181f_{20}^1(t) - 0.0521f_4^2(t) - 0.0207f_8^2(t) - 0.0201f_8^2(t) \\ & + 0.0099f_{16}^2(t) + 0.0481f_{11}^2(t) + 0.0321f_{20}^2(t) \end{aligned} \quad (2)$$

第一个方程共选 14 个变量,前 6 个变量为预报量本身周期长度为 10、16、14、17、18、21 年的均生函数,后 8 项为 3 月份 EEP 区 SST 周期长度为 4、6、7、14、13、18、19、12 年的均生函数。第二个方程共选 13 个变量,各变量意义按第一个方程类推。由上述方程算出 1951—1992 年拟合值及 1993—2000 年预报值(图 6、图 7),可以看出,两个方程给出的

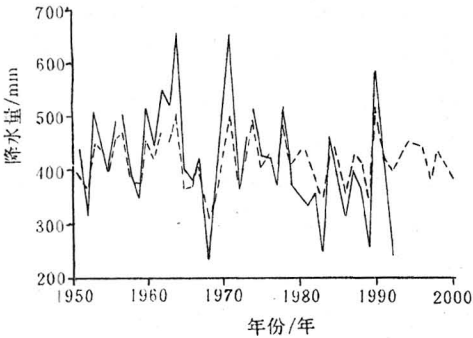


图 6 用第一方程的雨量拟合、预报值

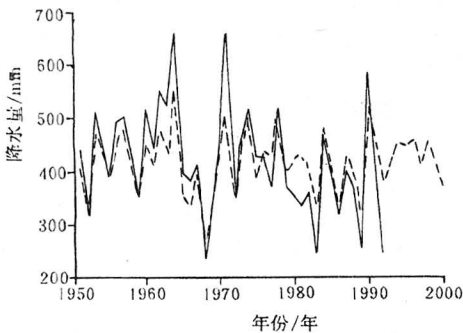


图 7 用第二方程的雨量拟合、预报值

拟合值和预报值基本一致,这也间接证明两区的 SST 反相关关系非常好。拟合与实况基本一致,1993—2000 年预报结果见表 3,其中 1993—1996 年为试报值,与实况对比可知,距平符号是一致的,而且第二方程(均方根误差为 55.52),即 NPC 区 SST 为一因子,效果优于第一方程(均方根误差为 63.28)。由此

可以看出,利用 SST 作旱涝气候预测是很有参考价值的,如果再结合其它方法,准确率有可能进一步提高。

6 小 结

采用相关分析方法揭示了北太平洋海温空间变化特征,找出与山东夏季降水相关最好的北太平洋流(NPC)区和赤道东太平洋(EEP)区。山东夏季旱涝年前冬春 EEP 区的 SST 首先异常,相应 500hPa 太平洋地区高度场正异常(涝年减旱年),阿留申及以北负异常,呈现类似于负 WP 遥相关型,但中心位置偏东偏北。这种环流遥相关型对反厄尔尼诺事件的发展有一定前兆意义,而且是造成山东夏季旱涝更加直接的原因。NPC 区 SST 的正异常较 EEP 区的 SST 负异常落后 3 个月左右,并且很可能由这种负 WP 遥相关环流异常激发,而夏季 NPC 区 SST 的正异常则可能引起秋季 500hPa PNA 遥相关型环流异常。用 EEP 区 2—4 月 SSTA 做当年夏季降水趋势预测试验和用 3 月 EEP 区、7 月 NPC 区 SST 做未来几年降水预测试验表明,SST 对山东降水预测有重要的指示意义。但是夏季降水成因非常复杂,它的变化除了受上述两个海区 SST 的影响外,还受其它因子的影响,所以有些年份两者关系并不明显,特别是 80 年代 SSTA 与降水的关系更复杂,如 1989 年 SSTA 的特征与涝年极为相似,但出现大旱,这很可能与降水的超长期变化趋势有关。另外,本文仅分析了 SST 与 500hPa 环流和山东夏季降水相关的一些事实特征,其物理过程还有待进一步研究。

表3 多维均生函数方案做山东夏季(6、7、8月)降水试报、预报及检验(mm)

年份	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	RMSE
预报值1	422.3	452.9	446.2	440.3	387.5	435.1	421.2	389.0	63.28
距平符号	+	+	+	+	-	+	+	-	
预报值2	425.4	451.6	448.4	461.7	412.7	456.9	410.8	374.1	55.52
距平符号	+	+	+	+	-	+	-	-	
实况值	479.6	461.2	492.1	490.2					
距平符号	+	+	+	+					
符号检验	对	对	对	对					

气候平均为 417.95mm, 预报值1 为方程1 预报结果, 预报值2 为方程2 预报结果

参考文献

- 1 郑世芳, 杨洪昌. 山东夏季旱涝分析与预报. 山东气象, 1990, 2, 18—21.
- 2 奚秀芬, 郑世芳. 厄尼诺现象与山东旱涝的关系. 山东气象, 1988, 4, 16—19.
- 3 施能, 鲁建军. 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. 大气科学. 1996, 3, 324—329.
- 4 杨英, 孙照渤. 中纬度北太平洋 SST 异常与大气环流的关系. 南京气象学院学报. 1995, 2, 192—199.
- 5 Experimental Long-lead Forecast Bulletin. Climate Prediction Center, NOAA, 1995.
- 6 魏凤英, 曹鸿兴. 长期预测的数学模型及其应用. 北京: 气象出版社, 1990.

Relationship among Summer Rainfall in Shandong and North Pacific SST and Atmospheric Circulations

Zhang Suping Zhu Pingsheng Hu Guifang

(Shandong Meteorological Institute, Jinan 250031)

Abstract

It is found by calculation that good correlation existed between summer rainfall in Shandong Province and SST in equatorial eastern Pacific (EEP) and in North Pacific Current (NPC) areas. On the basis of the correlative analysis, the contemporary and antecedent SST anomaly features of rainy and dry summers and the relations with atmospheric circulations were discussed. The contemporary SST departure (rainy summer minus dry summer) is remarkable, and the negative SST anomaly in EEP area prior to those summers is closely related to negative WP-pattern, and the SST anomaly in NPC area is likely to be modulated by the anomaly of atmospheric circulations. The experiments using SST of Feb. —Apr. in high correlative areas and SSTA of Mar. in EEP area and of July in NPC area show that SST is of great reference value for long-term forecast of summer rainfall in Shandong Province.

Key Words: summer rainfall north Pacific sea surface temperature atmospheric circulations