

文章编号: 1004-4965 (2005) 05-0478-10

## 太平洋 SSTA 对中国东部夏季降水的影响 II ——数值模拟

余贞寿<sup>1,2</sup>, 孙照渤<sup>1</sup>, 曾 刚<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学/气象灾害与环境变化重点实验室, 江苏 南京 210044;  
2. 浙江省温州市气象局, 浙江 温州 325003)

**摘 要:** 基于观测分析的结果, 采用 NCAR CCM3 模式, 设计 4 组 7 个数值试验, 研究太平洋海表温度异常对中国东部夏季降水影响及其可能的物理过程。结果表明: 数值模拟与观测分析所得的结果一致, 前期冬季西北太平洋黑潮海区海温异常, 引起亚洲中高纬和东亚东部地区大气环流异常, 导致长江流域夏季降水异常; 前期春季赤道中东太平洋海温异常, 西太平洋副热带高压异常; 同期夏季北太平洋中纬中太平洋海区海温异常, 激发夏季 EUP 遥相关型, 影响东部夏季降水。

**关 键 词:** 太平洋; SSTA; 中国东部; 夏季降水; 数值模拟

中图分类号: P426.61.4

文献标识码: A

### 1 引 言

近十几年来, 世界上接连不断发生大范围的持续性气候异常, 特别是干旱和洪涝给许多国家造成重大的经济损失, 关于气候异常成因的研究也成为热点问题, 早在 1950~1960 年代 Namias<sup>[1-2]</sup>通过资料分析指出, 海表温度异常是影响天气气候异常的重要因素。之后国内外的学者作了大量的资料分析和采用复杂程度不等的数值模式开展大气对海表温度异常响应的敏感性试验研究, 陈月娟等<sup>[3]</sup>用环流模式研究了印度洋关键区海温对我国夏季风及降水的影响, 其研究表明: 当西印度洋和阿拉伯海海温升高时, 印度西南季风增强、进入我国的西南季风减弱, 而东南季风增强; 我国西南地区夏季降水减少, 而华东、长江流域和华南等地降水量增加。汤明敏等<sup>[4]</sup>利用中国科学院大气物理研究所 (IAP) 的 L9R15 大气环流模式讨论了 7 月份大气对东半球热带海洋海表温度异常的响应。龙振夏等<sup>[5]</sup>利用 IAP 的 2 层和 9 层的大气环流模式, 讨论了赤道东太平洋不同持续时间的海温正异常对东亚夏季气候影响。徐建军等<sup>[6]</sup>利用 IAP 的 L9R15 大气环流模式讨论不同年代际背景下的 ENSO 异常对全球降水、特别是对亚洲季风降水的影响。晏红明等<sup>[7]</sup>用大气环流模式

收稿日期: 2004-04-29; 修订日期: 2004-10-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40331010) 资助

作者简介: 余贞寿(1978-), 男, 浙江淳安人, 硕士, 研究方向: 海气相互作用及数值预报。E-mail: yuzhenshou@yahoo.com.cn

L9R15 讨论了印度洋全区海温异常对亚洲季风区天气气候的影响。Palmer 等<sup>[8]</sup>从观测分析、理论研究和数值模拟三方面分析了北大西洋纽芬兰湾 SSTA 对大气环流的作用,证明了中纬度海洋对大气的强迫作用。研究表明在中纬度大西洋存在 SSTA 持续作用时,大西洋中部有正的位势高度异常,欧洲有负的位势高度异常。模式结果表明 GCM 对中纬度 SSTA 的异常响应弱于对热带地区的响应,并从物理机制上解释了中纬度海气相互作用的正反馈过程。Blackmon 等<sup>[9]</sup>使用 NCAR CCM 研究了 1 月大气对太平洋海温异常的响应,模式大气 500 hPa 异常在北太平洋和北美地区的异常中心分布和 PNA 遥相关型类似,西欧上空出现负异常中心,西伯利亚地区出现正异常中心,模式结果表明北半球冬季大气 PNA 型的距平场是赤道中太平洋潜热异常直接强迫的结果。Lau 等<sup>[10]</sup>用 GFDL 的 15 波菱形截断的 9 层模式进行了若干热带和中纬度 SSTA 敏感性试验。近几年许多资料分析研究<sup>[11-15]</sup>表明,太平洋海区海温异常的持续性敏感区与我国夏季降水关系密切,海温异常分布型可通过影响夏季热带对流活动、东亚季风以及中高纬环流异常,进而影响我国夏季降水异常。本文以观测分析研究为基础,通过数值模拟来研究太平洋关键海区的海表温度异常对中国东部夏季降水影响及其有关的物理过程,以增进对太平洋关键海区海温异常对我国夏季降水影响认识。

## 2 模式及试验方案

### 2.1 模式简介

本文采用 NCAR CCM3 (Community Climate Model version3) 是全球谱模式,采用三角形截断,水平分辨率为 T42(相当于经纬格距为  $2.8125 \times 2.8125$ ,全球  $128 \times 64$  个格点),垂直方向采用混合  $\eta$  坐标,从模式顶到模式底共分 18 层,时间积分采用半隐式、蛙跃式方案,积分步长为 20 min。CCM3 包括云物理参数化、辐射物理参数化、重力拖曳等完整的物理过程的参数化。CCM3 是 NCAR CCM 系列中的第 4 代产品,相对于前面版本的发展主要有两个方面:其一是解决 CCM2 模式模拟中存在的严重的系统偏差;其二是使模式更好地适应于气候系统模式中陆地、海洋和海冰的耦合。有关 CCM3 详细介绍见 CCM3 技术文档<sup>[16,17]</sup>,许多研究<sup>[18-21]</sup>表明 CCM3 具有较强的模拟能力。

### 2.2 数值试验方案设计

为了检验前期冬季西北太平洋黑潮海区的 SSTA,前期春季赤道中东太平洋 SSTA 及同期夏季中高纬北太平洋西风漂流区海温异常对东亚地区大气环流和我国东部地区夏季降水的影响,设计 1 个控制试验和 3 组异常试验。

#### (1) 控制试验 (CTL)。

用 12 个月气候平均值 SST 作为下边界将模式积分 10 年,然后用第 9 个模式年的 11 月 1 日 00 时分别作为控制试验的初始场积分 10 个月,取模式 6、7、8 月的平均作为控制试验的结果。

#### (2) 异常试验 (EXPA)。

异常试验与控制试验相比,只是异常试验在模式积分的过程中在特定的时段关键海区

(图 1) 加入正(负)海温异常(表 1), 其它条件同控制试验。

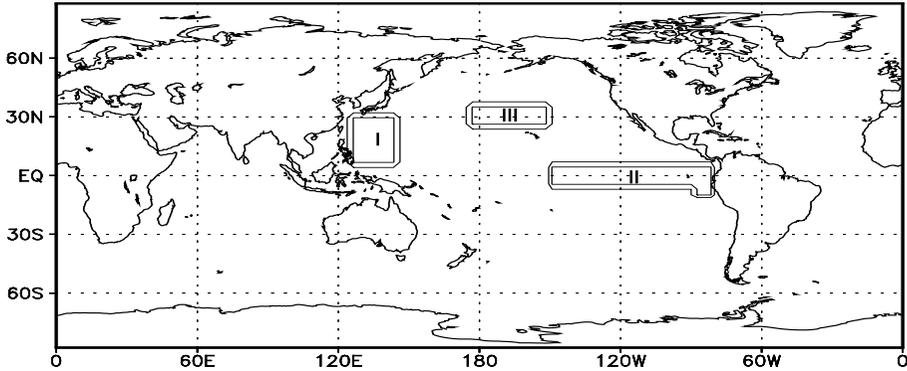


图 1 异常试验中海温异常强迫区示意图

表 1 异常试验的基本情况

组号	异常区域	异常强度/	加入时段
I	120~150°E, 0~35°N; 126~144°E, 6S~30°N	+0.5; +1.5	12~2月
	120~150°E, 0~35°N; 126~144°E, 6S~30°N	-0.5; -1.5	12~2月
II	210~280°E, -10°S~10°N; 270~279°E, -10°S~5°N; 210~269°E, -5°S~5°N	+1; +2; +2	3~5月
	210~280°E, -10°S~10°N; 270~279°E, -10°S~5°N; 210~269°E, -5°S~5°N	-1; -2; -2	3~5月
III	174~210°E, 24~36°N; 176~218°E, 26~34°N	+0.5; +1.5	6~8月
	174~210°E, 24~36°N; 176~218°E, 26~34°N	-0.5; -1.5	6~8月

### 3 模拟结果分析

#### 3.1 控制试验结果分析

控制试验所模拟的 6~8 月平均结果代表模式模拟的夏季气候平均态, 从 850 hPa 的流场分布(图 2)来看, 模式可以很好地模拟出影响东亚夏季降水的重要的环流系统, 如太平洋副热带高压、南海夏季西南季风、南海夏季风槽、印度西南季风、索马里急流、马斯克林高压及澳大利亚高压等系统。这说明 CCM3 模式对夏季大气环流具有较强的模拟能力, 能够满足本文研究的需要。

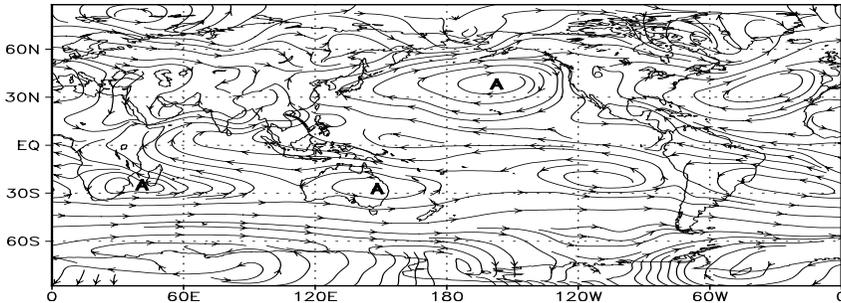


图 2 控制试验的 850 hPa 的流场

### 3.2 前期冬季西北太平洋黑潮海区海温异常试验与控制试验的对比分析

图 3 是异常试验与控制试验 6~8 月降水的差值分布,由图 3a 可知,前期冬季西北太平洋黑潮海区海温正异常时,长江流域及其以南地区夏季降水偏多,最大正异常中心位于长江中游地区,华北及东北西南部地区夏季降水会偏少,最大负异常中心位于华北地区。由图 3b 可知,前期冬季西北太平洋黑潮海区海温负异常时,江淮流域夏季降水偏少,华北北部、东北西部、内蒙古地区夏季降水偏多。这与前面的观测分析的结论较为一致,再次验证模式具有较强的模拟能力。

图 4 是异常试验与控制试验 6~8 月 850 hPa 风场的差值分布,从图 4a 看到,西北太平洋上空有一反气旋式异常风场,有利于西太平洋上的东南暖湿气流北上,贝加尔湖东面有一气旋式异常风场分布,对西伯利亚冷空气南下起引导作用,中纬度西风带有巴尔喀什湖南下的西北风异常,冷暖气流在长江流域交汇,有利于降水偏多。从图 4b 看出,在巴尔喀什湖北侧有纬向的气旋式异常风场,使得南下的冷空气变为偏西气流或偏西北气流,而在中国东北、朝鲜半岛以及日本海上空有强大的反气旋式异常风场,在长江以南地区较为一致的东风异常,南海季风、印度西南季风明显减弱,这样冷暖气流易在华北北部、内蒙古及东北西部汇合,使这一带地区夏季降水偏多,而江淮流域由于冷暖气流条件均较差,往往降水偏少。

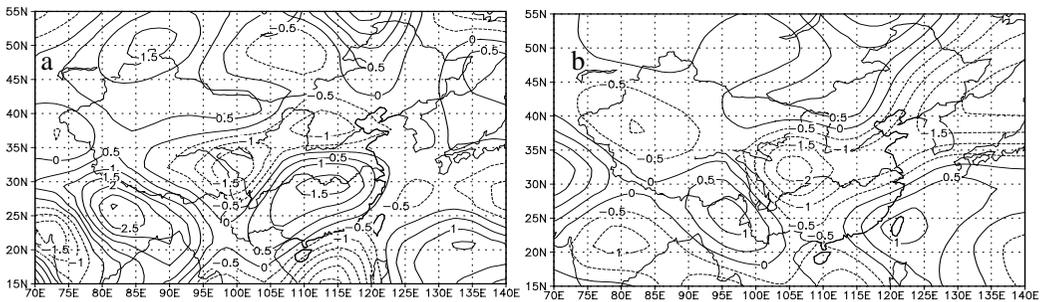


图 3 前期冬季西北太平洋黑潮海区海温异常试验与控制试验 6~8 月的降水差值

a. SSTA(+)-CTL; b. SSTA(-)-CTL. 单位: mm/Day.

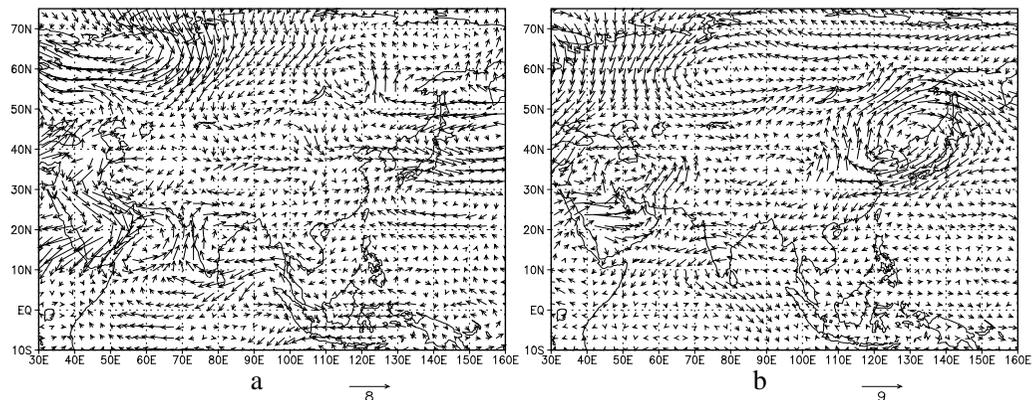


图 4 同图 3, 但为 850 hPa 风场差值 单位: m/s.

图 5 是异常试验与控制试验 6~8 月 500 hPa 位势高度的差值分布, 由图 5a 可知, 对前期冬季西北太平洋黑潮海区海温正异常的 500 hPa 高度异常响应场为二槽二脊型, 脊区位于乌拉尔山和鄂霍茨克海附近, 有利于乌拉尔山和鄂霍茨克海阻塞高压的建立和维持, 亚太地区呈“+ - +”的距平波列, 由前面观测分析可知, 这种分布形式有利于长江流域夏季降水偏多。由图 5b 可见, 对前期冬季西北太平洋黑潮海区海温负异常的 500 hPa 高度异常响应场对正海温异常的响应有很大不同, 从巴尔喀什湖到贝加尔湖往东一直到鄂霍茨克海地区为广大负距平区, 亚洲中高纬和东亚东部地区差值场呈“- + -”的距平波列, 由前面观测分析可知, 这种分布形式不利于长江流域降水, 而有利于华北北部、东北西部及内蒙古地区降水偏多。

### 3.3 前期春季赤道中东太平洋海温异常试验与控制试验的对比分析

图 6 是异常试验与控制试验 6~8 月降水的差值分布, 由图 6a 可知, 前期春季赤道中东太平洋海温正异常时, 华北、东北地区夏季降水偏少, 最大负异常中心位于华北北部地区, 长江流域、华南地区夏季降水会偏多, 最大正异常中心位于长江中游地区。由图 6b 可知, 前期春季赤道中东太平洋海温负异常时, 华北、东北、内蒙古地区夏季降水偏多, 长江流域夏季降水偏少。这与前面的观测分析的结论较为一致。

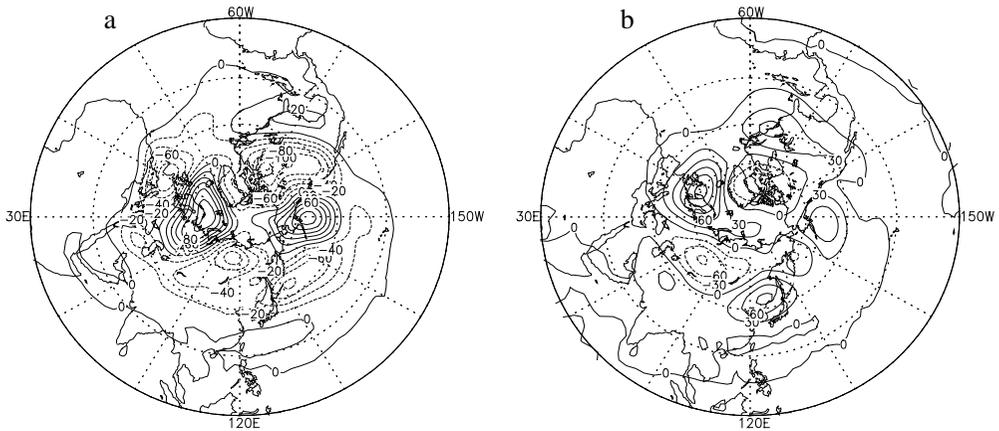


图 5 同图 3, 但为 500 hPa 位势高度差值 单位: dagpm。

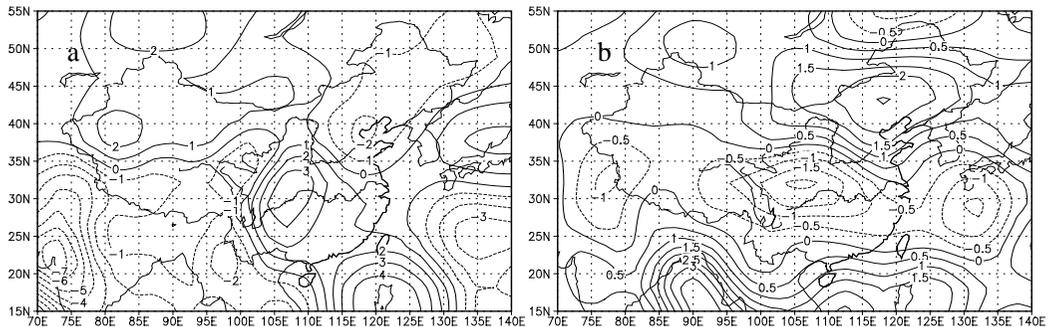


图 6 前期春季赤道中东太平洋海温异常试验与控制试验 6~8 月的降水差值

a. SSTA(+)-CTL; b. SSTA(-)-CTL。单位: mm/Day。

图 7 是异常试验与控制试验 6~8 月 850 hPa 风场的差值分布,从图 7a 看到,在朝鲜半岛以及日本海上空有一气旋式异常风场,有利于引导西伯利亚南下的冷空气向长江流域输送,在日本以南的西北太平洋上空有一强大的反气旋式风场,引导西太平洋偏东气流北上,使得副热带辐合带即梅雨锋偏强,长江流域降水偏多,另外青藏高原东侧有偏北风异常,南面有西南风异常,使得华南地区夏季降水偏多。从图 7b 看出,贝加尔湖南侧有一气旋式环流,对西风带的西风异常气流加强引导,我国东部沿海地区有一反气旋式异常风场,南海季风槽加深,有利于来自南海和西太平洋的偏东气流北上直到华北和东北地区,与西风带异常西风汇合,使得华北、东北地区夏季降水偏多。

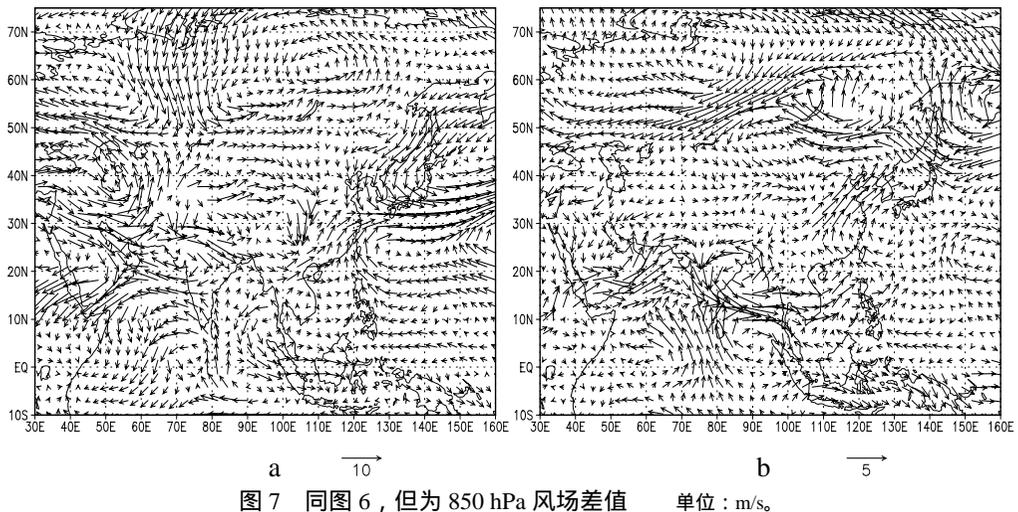


图 8 是异常试验与控制试验 6~8 月 500 hPa 位势高度的差值分布,由图 8a 可知,对前期春季赤道中东太平洋海温正异常的异常响应 500 hPa 高度异常表现为亚欧中高纬地区一致的负异常,我国大陆地区及西北太平洋也是负距平区,西太平洋副热带高压偏南偏东,由前面观测分析可知,这种分布形式有利于长江及其以南地区夏季降水偏多。由图 8b 可见,对前期春季赤道中东太平洋海温负异常的 500 hPa 高度异常响应场与对正海温异常的响应有很大不同,贝加尔湖以东到鄂霍茨克海地区为正距平区,我国东部沿海地区为正距平区,而海温偏低时,西太平洋副热带高压北抬西伸加强,从而使得华北、东北西南部地区降水偏多。这与前面的观测分析相一致。

#### 3.4 同期夏季北太平洋中纬中太平洋海区海温异常试验与控制试验的对比分析

图 9 是异常试验与控制试验 6~8 月降水的差值分布,由图 9a 可知,夏季北太平洋中纬中太平洋海区海温正异常时,华北北部、东北西部地区夏季降水偏多,最大正异常中心位于河套以北地区,江淮流域、西南及华南地区夏季降水会偏少,最大负异常中心位于长江中游地区。由图 9b 可知,夏季北太平洋中纬中太平洋海区海温负异常时,长江流域、华南及西南地区夏季降水偏多,东北、华北东部地区夏季降水偏多,河套地区夏季降水偏少。这与前面的观测分析的结论较为一致。

图 10 是异常试验与控制试验 6~8 月 850 hPa 风场的差值分布,从图 10a 看到,在中国东北、朝鲜半岛以及日本海上空有强大的反气旋式异常风场,把东海、黄海的暖湿气流往华北北部、东北西部地区输送;在贝加尔湖地区有一气旋式异常风场,有利于引导西伯利亚南下的冷空气向华北北部的内蒙古地区及东北西部地区输送,使得在华北、内蒙古及东北西部地区冷暖空气辐合加强。而在长江以南地区较为一致的偏东风异常,南海季风、印度西南季风明显减弱,使得江淮地区、西南及华南地区夏季降水偏少。从图 10b 看出,在中国东北、朝鲜半岛以及日本海上空有强大的气旋式异常风场,有利于北方冷空气南下到达我国的长江流域和华南地区,而在日本以南的西北太平洋上有一个气旋式异常风场,有利于西北太平洋的暖湿气流往长江流域及华南地区输送,与南下的冷空气汇合,使得长江流域、西南及华南地区夏季降水偏多。

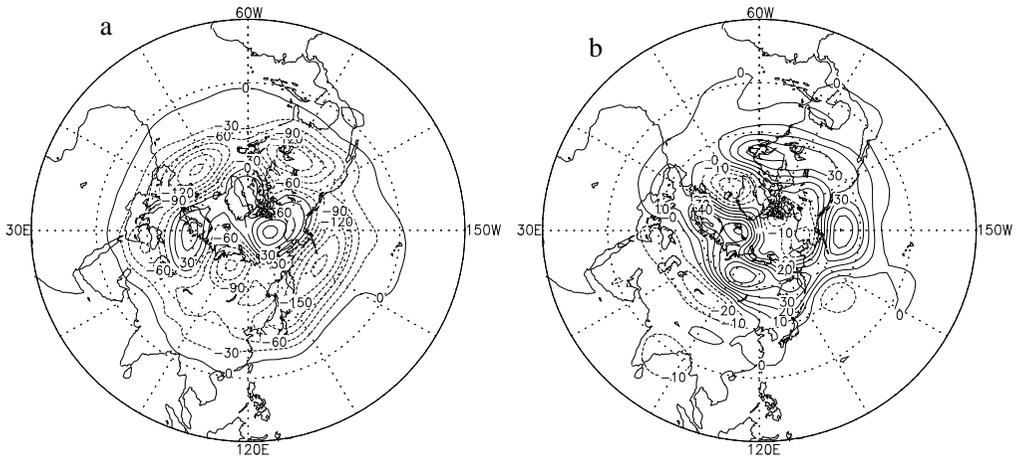


图 8 同图 6, 但为 500 hPa 位势高度差值 单位: dagpm.

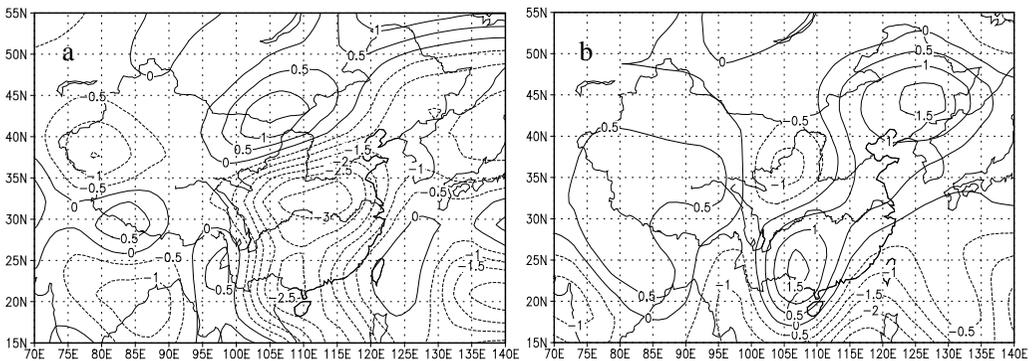


图 9 同期夏季北太平洋中纬中太平洋海区海温异常试验与控制试验 6~8 月的降水差值

a. SSTA(+)-CTL; b. SSTA(-)-CTL. 单位: mm/Day.

图 11 是异常试验与控制试验 6~8 月 500 hPa 位势高度的差值分布,由图 11a 可知,对夏季中高纬北太平洋西风漂流区海温正异常的 500 hPa 高度异常响应场为亚欧中高纬地区差值场呈“+ - +”的 EUP 遥相关型距平波列。由图 11b 可见,对夏季中高纬北太平

洋西风漂流区海温负异常的 500 hPa 高度异常响应场对正海温异常的响应有很大不同，贝加尔湖地区为负距平区，巴尔喀什湖和鄂霍茨克海地区为正距平区。由前面的观测分析可知，鄂霍茨克海地区为高度场正距平时，有利鄂霍茨克海阻塞高压的建立和维持，长江流域及华南地区降水会偏多。

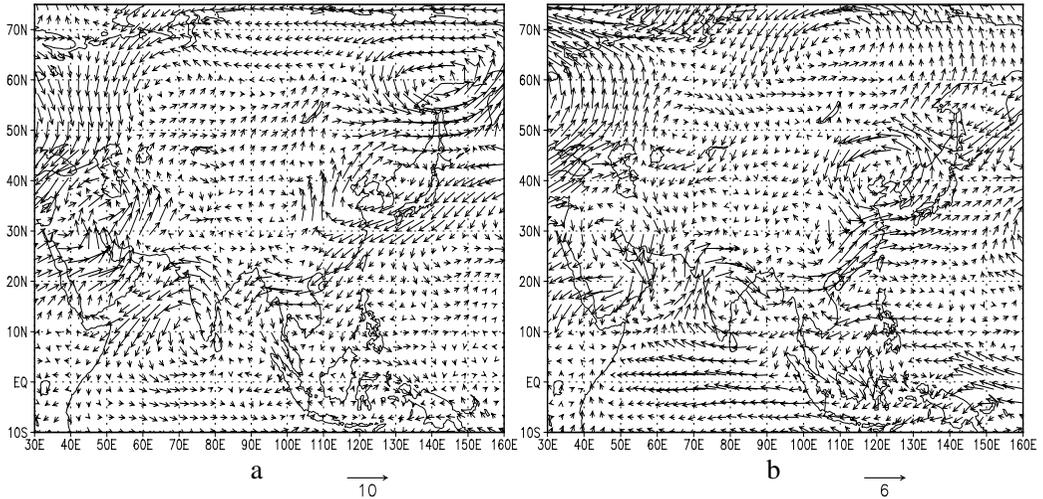


图 10 同图 9，但为 850 hPa 风场差值 单位：m/s。

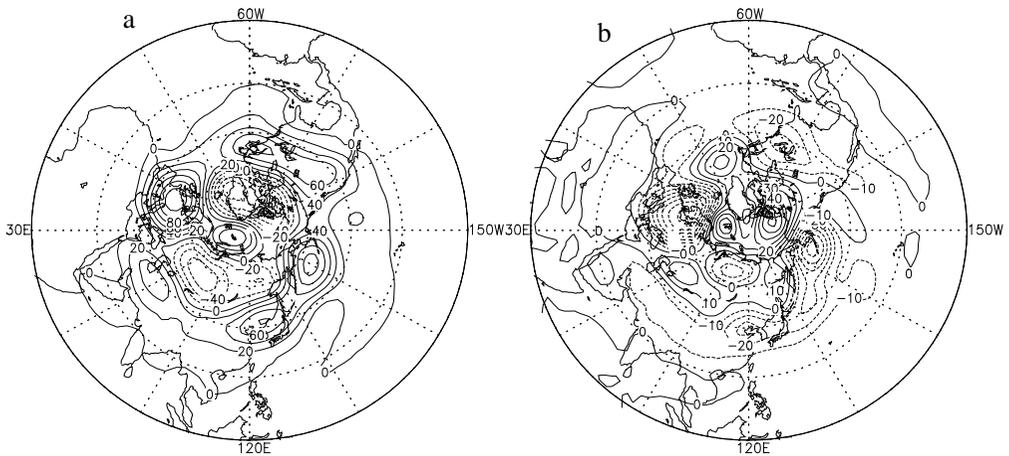


图 11 同图 9，但为 500 hPa 位势高度差值 单位：dagpm。

### 4 小 结

(1) 前期冬季西北太平洋黑潮海区海温正异常时，500 hPa 高度异常响应场为二槽二脊型，脊区位于乌拉尔山和鄂霍茨克海附近，有利于乌拉尔山和鄂霍茨克海阻塞高压的建立和维持，亚洲中高纬和东亚东部地区差值场呈“+ - +”的距平波列，长江流域夏季上升运动加强，华北及东北西南部地区上升运动减弱，长江流域夏季降水偏多，华北及东北西南部地区夏季降水偏少；反之亦然。

(2) 前期春季赤道中东太平洋海温正异常时,西太平洋副热带高压偏南偏东,长江流域及华南地区夏季上升运动加强,华北、东北地区夏季上升运动减弱,长江流域及华南地区夏季降水偏多,华北、东北地区夏季降水偏少;反之亦然。

(3) 同期夏季北太平洋中纬中太平洋海区海温正异常时,500 hPa 高度异常响应场为亚欧中高纬地区差值场呈“+ - +”的 EUP 遥相关型距平波列,华北北部、东北西部地区夏季降水偏多,江淮流域、西南及华南地区夏季降水会偏少;同期夏季北太平洋中纬中太平洋海区海温负异常时,贝加尔湖地区为负距平区,鄂霍茨克海地区为正距平区,有利鄂霍茨克海阻塞高压的建立和维持,长江流域、华南及西南地区夏季降水偏多,华北北部及东北西部的内蒙古地区夏季降水偏少。

北太平洋海温异常对中国东部夏季降水的影响的机制是复杂的,本文在数值试验时,没考虑多个异常海区海温异常的配置下对中国东部夏季降水的影响,陈烈庭等<sup>[22]</sup>所指出西北太平洋和热带太平洋各种海温距平不同配置的共同影响,是导致中国东部夏季降水雨带的分布类型的一个重要因素,因此,有必要在以后的研究中设计多个不同异常海区不同位相海温异常的试验,以研究海温异常对大气环流的非线性作用。另外,虽然 CCM3 模式是具有较强的模拟能力的气候模式,但它只提供海洋对大气的单向信息,未能研究大气对海洋的反馈作用,下一步还考虑利用海气耦合模式对北太平洋海温异常与东亚大气环流相互作用作进一步研究。

## 参 考 文 献:

- [1] NAMIAS J. Recent seasonal interaction between North Pacific waters and the overlying atmospheric circulation[J]. *J Geophys Res*, 1959, **64**(2): 631-646.
- [2] NAMIAS J. Short-period climatic fluctuations[J]. *Science*, 1965, **147**: 696-706.
- [3] 陈月娟. 我国夏季风和降水与临近海洋水温关系的数值试验[A]. 气候变化若干问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 157-167.
- [4] 汤明敏, 曾文华, 何元. 夏季东半球热带海温异常对亚洲季风环流和降水影响的数值试验[J]. *热带气象学报*, 1993, **9**(3): 289-298.
- [5] 龙振夏, 李崇银. 赤道东太平洋不同持续时间的海温正异常对东亚夏季气候影响的数值模拟研究[J]. *大气科学*, 1999, **23**(2): 161-176.
- [6] 徐建军, 朱乾根. ENSO 及其年代际异常对全球及亚洲季风降水影响的数值研究[J]. *气象学报*, 1999, **57**(3): 301-315.
- [7] 晏红明, 肖子牛. 印度洋海温异常对亚洲季风区天气气候影响的数值模拟研究[J]. *热带气象学报*, 2000, **16**(1): 18-27.
- [8] PALMER, SUN Z B. A modeling and the observational study of the relationship between sea surface temperature in the north-west Atlantic and the atmosphere circulation[J]. *Quart J Meteo Soc*, 1985, **111**: 947-975.
- [9] PICHER, E J, BLACKMON M L, BATESG T, et al. The effects of North Pacific sea surface temperature anomalies on the January climate of a general circulation model[J]. *J Atmos Sci*, 1988, **45**(2): 173-188.
- [10] LAU N C, NATH M J. A model study of the relative roles of tropical and extratropical SST anomalies in the variability of global atmosphere-ocean system[J]. *J climate*, 1994, **7**(8): 1184-1207.
- [11] 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制[J]. *大气科学*, 1988 (特刊): 95-107.

- [12] 林学椿. 北太平洋海表持续加热对夏季中国降水及大气环流的影响[J]. 热带气象学报, 1999, 15(2): 258-266.
- [13] 朱乾根, 徐建军. ENSO及其年代际异常对中国东部气候异常影响的观测分析[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(6): 615-623.
- [14] 杨 英, 孙照渤. 中纬度北太平洋 SST 异常与大气环流的关系[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18(3): 192-199
- [15] 于润玲, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季降水与北半球环流及北太平洋海温关系的初步分析[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(6): 577-586.
- [16] KIEHL J T, HACK J J, BONAN G B, et al. Description of NCAR Community Climate Model(CCM3)[R]. NCAR Technical Note NCAR/TN-420+STR Sept, Boulder Colorado: Climate and Global Dynamics Division, National Center for Atmospheric Research, 1996.
- [17] KIEHL J T, HACK J J, BONAN G B, et al. The national center for atmospheric research community climate model:CCM3[J]. J Climate, 1998, 11(5): 1131-1149.
- [18] HURRELL J W, HACK J J, BOVILLE B A, et al. The dynamical simulation of the NCAR community climate model version3(CCM3)[J]. J Climate, 1998, 11(5): 1207-1236.
- [19] TSUTSUI J, KASAHARA A. Simulated tropical cyclones using the national center for atmospheric research community climate model[J]. J Geophys Res, 1996, 101(5): 15, 013-15,032.
- [20] BOVILLE, B A, HURRELL J W. A comparison of atmospheric circulation simulated by the CCM3 and the CSM1[J]. J Climate, 1998, 11(5):1327-1341.
- [21] DIEDHIU A, JANICOT S, VILTARD A, et al. Easterly wave regimes and associated convection over West Africa and tropical Atlantic; results from the NCEP/NCAR and ECMWF reanalyses[J]. Clim Dyn, 1999, 15: 795-822.
- [22] 陈烈庭, 吴仁广. 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, 1998, 22(6): 718-726.

## THE EFFECTS OF PACIFIC SSTA ON SUMMER PRECIPITATION OVER EASTERN CHINA II ——Numerical Simulations

YU Zhen-shou, SUN Zhao-bo, ZENG Gang

(Nanjing University of Information Science & Technology, Key Laboratory of Meteorological  
Disaster and Environmental Variation, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on the observational analysis, seven numerical experiments are designed to study the impacts of Pacific SSTA on summer precipitation over Eastern China and relevant physical mechanism by NCAR CCM3. The numerical simulation results show: preceding winter SSTA in the kuroshio region leads to summer precipitation anomaly over Yangtze river valley by modifying atmospheric general circulation over Eastern Asia and middle-high latitude; Western Pacific high is notably affected by preceding spring SSTA over the middle and east of Equator Pacific; SSTA of the center region of middle latitude in the corresponding period causes the summer rainfall anomaly over eastern China so as to trigger the atmospheric Eurasia-Pacific teleconnection pattern.

**Key words:** Pacific; SSTA; Eastern China; summer precipitation; numerical simulations