

华北夏季旱涝的前期环流异常及其与北太平洋海温的关系*

朱平盛 张苏平

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

文章分析了华北地区夏季旱涝的前期春季大气环流和北太平洋海温异常(SSTA)分布特征, 探讨 SSTA 与异常环流的关系, 并用 OSU-AGCM 进行黑潮地区热源异常强迫的数值试验. 结果表明, 当春季北极低涡明显减弱, 欧亚大陆中高纬度地区纬向环流加强, 西太平洋副高位置偏北偏西, 且存在负 PNA 型异常环流时, 华北地区夏季多雨涝; 反之则少雨干旱. 此时, 西北太平洋和赤道东太平洋 SST 分别存在较大的正、负异常, 它们与春季环流异常密切相关, 黑潮区 SSTA 对北半球副热带及其以北的大气环流产生显著影响, 正的 SSTA 是造成华北夏涝年的前期春季异常环流形势的重要因素.

关键词: 夏季旱涝 异常环流 副热带高压 海温异常

引 言

受季风气候的影响, 华北地区降水的季节分布不均, 夏季(6~8月)是该地区降水最为集中且降水量年际变化较大的季节, 旱涝灾害频繁发生. 梁平德^[1, 2]、赵汉光^[3]等曾分析了夏季风变化、春季青藏高原热源加热作用对华北夏季降水的影响, 以及华北雨季强弱同期北太平洋海温场特征, 陈晓光等^[4]对河套华北地区旱涝与上年秋季大气环流和大西洋海温异常的关系进行了研究. 关于太平洋海温异常对大气环流和我国夏季降水影响的研究^[5~8]表明, 大气对低纬度地区 SSTA 响应强烈, 我国及东亚短期气候异常与赤道太平洋 SSTA 密切相关.

在上述诸研究的基础上, 本文首先分析华北夏季旱涝的前期春季大气环流和北太平洋 SST 异常特征, 然后计算 SSTA 与环流的相关场, 最后用 OSU-AGCM 作黑潮区海温异常的数值试验. 分析影响华北夏季旱涝的前期物理因子, 为降水和旱涝长期预报提供依据, 并初步探讨春季北太平洋海温异常对大气环流的影响.

1 华北地区夏季旱涝的前期环流异常

从我国 1951~1994 年 160 个站的月降水量资料中选取了华北地区 14 个站(呼和浩

* 本文由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”资助。
1996-11-11 收到, 1997-01-28 收到修改稿。

特、张家口、承德、北京、天津、石家庄、太原、长治、邢台、安阳、郑州、德州、济南、菏泽), 计算其 6~8 月降水量距平百分率的区域平均 η , 以 $|\eta| \geq 25\%$ 作为夏季旱涝标准。44 年中有 5 个涝年(1954, 1956, 1959, 1963, 1973 年)和 6 个旱年(1965, 1968, 1972, 1980, 1983, 1986 年)。

春季是大气环流冬夏转换和地(海)气系统变化活跃的季节。我们计算旱涝年春季(3~5 月)的 500 hPa 合成高度场, 研究华北夏季旱涝前期的异常环流。图 1 是旱涝年 4 月份 500 hPa 高度合成差值场(涝年平均减旱年平均)。其主要特征有: ① 北极地区(75°N 以北)为大的正值区; ② 欧亚大陆的中高纬度地区存在两个大范围的负值区, 中心分别位于欧洲和西伯利亚, 乌拉尔山至新地岛为较大的正值区。因此, 欧洲和贝加尔湖地区的长波脊, 以及乌拉尔山附近的长波槽均减弱, 欧亚大陆中高纬度地区上空盛行纬向西风环流, 但东亚大槽有所加深; ③ 亚洲副热带为大范围的正异常区, 青藏高原上空的正值中心达 39 gpm; ④ 北太平洋至北美大陆呈现负 PNA 型异常环流, 但阿留申群岛上空正异常区的中心位于白令海峡附近, 较 Wallace 和 Gutzler^[9]分析的冬季异常中心, 以及施能和鲁建军^[10]分析的春季异常中心均明显偏北; 另外, 北美西北部和东南部的两个异常中心与 Wallace 定义的冬季 PNA 型遥相关中心位置相同, 这与施能等^[10]分析的 4 月份 PNA 型东段消失, 且北太平洋上的中心分裂为两个的常年状况有较大差异。

计算旱涝年 4 月份欧亚地区西风环流指数(纬向与经向环流指数之比)和西太平洋副热带高压特征指数, 结果列于表 1。结合旱涝年 500 hPa 合成高度场(图略)分析表明, 华北夏涝年的前期 4 月, 欧亚中高纬度地区呈高指数的纬向环流, 此时, 北极低涡减弱收缩, 纬向西风环流加强; 西太平洋副高偏北且明显西伸, 脊线位置较常年偏北 3 个纬度, 西伸脊点到达青藏高原东部。反之, 则经向环流加强; 西太平洋副高位置偏东, 西伸脊点位于我国南海附近, 脊线接近常年或稍偏南。这与图 1 的特征①~③相吻合。需要指出: 夏季旱涝年的 4 月份, 西太平洋副高强度和面积并无明显差异。

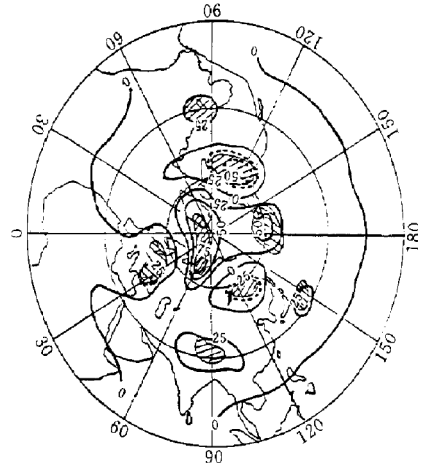


图 1 旱涝年 4 月 500 hPa 高度场合成差异图(单位: gpm, 斜线部分为差异显著性信度 $\alpha \leq 0.05$ 的区域)

Fig. 1 500 hPa departure difference of Apr. for drought/flood years (unit: gpm, shaded area: significance level $\alpha \leq 0.05$)

表 1 华北夏季旱涝年 4 月环流特征统计

Table 1 Statistics of circulation characteristics of summer Apr. for drought/flood years of North China

| | I | HHL | HP | HS | HR |
|------|------|-----|-----|----|----|
| 涝年平均 | 2.38 | 16 | 98 | 10 | 15 |
| 旱年平均 | 1.84 | 12 | 118 | 10 | 16 |
| 常年平均 | 2.08 | 13 | 113 | 10 | 15 |

为了讨论上述异常环流特征的可靠性，我们对旱、涝年的 4 月份平均环流场进行差异显著性检验，统计量：

$$t = \frac{\overline{H_1} - \overline{H_2}}{\sqrt{n_1\sigma_1 + n_2\sigma_2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} (n_1 + n_2 + 2)}$$

式中 $\overline{H_1}$ 、 σ_1 和 $\overline{H_2}$ 、 σ_2 分别为涝年和旱年的平均高度和均方差， n_1 、 n_2 为旱涝年的年数。由图 1 可见，几个高度差异中心的显著性信度均超过了 0.05，其中位于乌拉尔山、青藏高原和白令海峡的正值中心，以及西伯利亚和北美西北部的负值中心信度达到 0.01。这说明图 1 的异常环流特征对于华北地区夏季旱涝年是可靠的。计算分析北半球 4 月份 500 hPa 高度场与华北地区夏季降水距平区域平均的相关系数(见图 2)，发现其分布形势与图 1 几乎相同，高相关中心与高度差异中心的位置也基本一致，且相关显著性信度均在 0.10 以上。因此，上述环流差异不仅反映了华北地区夏季旱涝前期春季的异常环流特征，而且对于该地区夏季降水的多年变化具有普遍意义。

2 夏季旱涝前期北太平洋海温异常及其与环流的关系

2.1 北太平洋 SST 异常分布特征

我们计算了 1951~1994 年北太平洋 286 个格点(5°×5°)的月平均 SST 与华北夏季降水量区域平均的不同时滞相关。结果表明，华北夏季降水量与当年 3、4 月份北太平洋 SST 场的相关性最高，信度 $\alpha \leq 0.05$ 的格点数分别为 40 和 43 个， $\alpha \leq 0.01$ 的格点数分别为 15 和 8 个。为了克服 SST 场自身在时间上的持续性和空间上的相关性所产生的与降水间相关显著性估计偏高的问题，根据文献[11]中气象要素相关场显著性检验的统计模拟方法，计算出 44 年 286 个格点的月平均 SST 场，当相关信度 $\alpha \leq 0.05$ 的格点数大于等于 26 和信度 $\alpha \leq 0.01$ 的格点数大于等于 17 时，该场在信度为 0.05 和 0.01 时是一个显著相关场。由此判定，春季 3、4 月份北太平洋海温场与华北夏季旱涝的相关显著性信度超过 0.05。因此，我们主要分析了旱涝年这两个月北太平洋 SST 的异常分布特征，发现旱、涝年 3~4 月份北太平洋 SST 距平场的分布明显不同。在夏涝年，西北太平洋和赤道中、西太平洋 SST 持续为正距平，其它海域以负距平为主；夏旱年则相反，西北

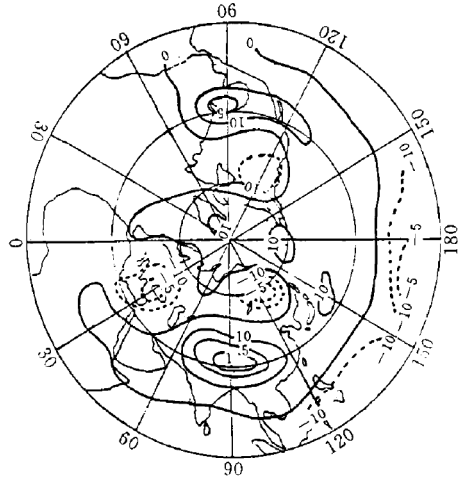


图 2 华北 6~8 月降水量与当年 4 月 500 hPa 高度场相关分布(实线：正相关，虚线：负相关，图中数值为 $\alpha \times 100$)

Fig. 2 The correlation distribution between rainfall from June to Aug. in North China and 500 hPa field in Apr. (solid line: positive correlation, dashed line: negative correlation, the values: $\alpha \times 100$)

太平洋和赤道中、西太平洋持续为负距平, 其它海域以正距平为主. 这一异常分布特征从旱涝年 3~4 月北太平洋 SST 合成差值场(见图 3)可以清楚地反映出来. 图 3 中, 在日本本州岛以东黑潮暖流区存在较大的正值, 最大为 2.8 °C, 在赤道东太平洋则为绝对值较大的负值区, 中心数值达 -4.2 °C. 差异显著性信度均超过了 0.05.

2.2 北太平洋海温异常与华北夏季旱涝前期异常环流的关系

为叙述方便, 以下称日本本州岛以东的黑潮暖流区(30°~40°N, 135°~155°E)为 I 区, 赤道东太平洋(0°~10°S, 110°~80°W)为 II 区. 图 4 是 4 月 500 hPa 月平均高度场与 I 区和 II 区 3、4 月 SST 距平之和面积平均的相关场. 将图 4 a 与图 1 比较可以看出, 两者的分布形势非常相似, 而且几个正负中心的位置几乎重合. 除北美西北部的负相关中

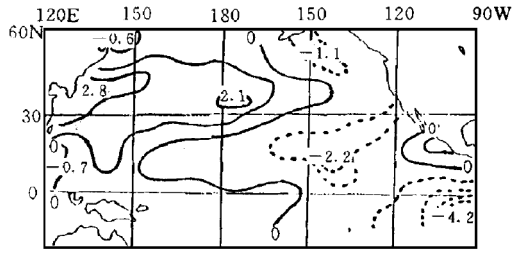


图 3 旱涝年 3~4 月 SST 距平合成差值分布 (间隔: 1°C)

Fig. 3 SSTA anomalous difference from Mar. to Apr. for drought/flood years (interval: 1°C)

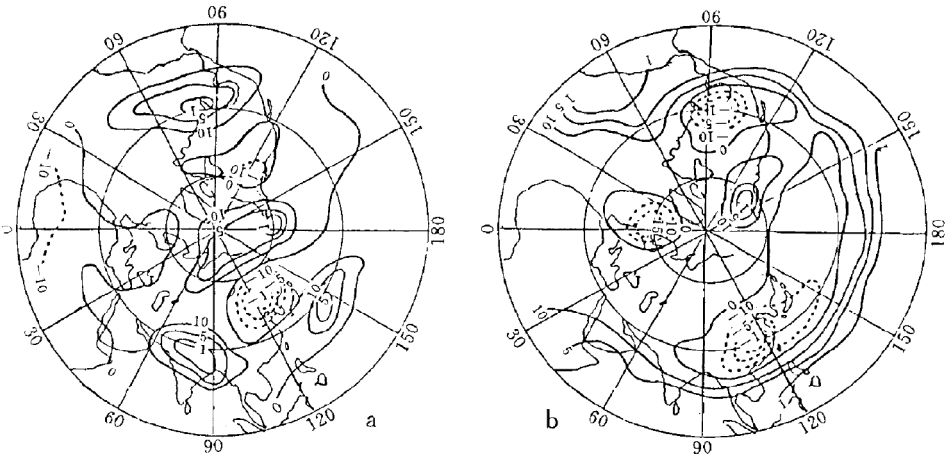


图 4 3~4 月(a) I 区 (b) II 区 SSTA 面积平均与 4 月 500 hPa 高度场相关分布

Fig. 4 The correlation distribution between SSTA area mean from Mar. to Apr. in (a) area I (b) II and 500 hPa fields in Apr.

心外, 亚洲大陆以东至北美的几个相关中心的信度均超过了 0.01. 这说明, I 区 SSTA 与亚洲到北美地区的大气环流异常密切相关, 3~4 月持续正的 SSTA 对应华北地区夏涝年的前期春季 500 hPa 环流形势. II 区 SSTA 与 500 hPa 高度场的相关(见图 4 b), 在赤道北侧(10°~20°N)几乎均为信度超过 0.05 的正相关区; 东亚至北美的副热带地区呈负相关, 其中, 在中国东部及其近海和美国东南部有两个负相关中心($\alpha \leq 0.01$); 北美西

北部有一个信度超过 0.01 的正相关中心. 表明, 当 3~4 月赤道东太平洋 SST 异常增高时, 我国东部和西北太平洋地区 500 hPa 高度场降低, 西太平洋副高东移南退, 北美大陆西北和东南部高度场变化与图 1 中负 PNA 型异常环流的东段相反. 可见, 这与华北地区夏早年前期春季的异常环流特征相符.

3 春季北太平洋海温异常对大气环流影响的数值试验

黑潮是海洋供应大气热能最多的地区, Jacobs 计算得出^[12], 其平均感热通量密度超过 $90 \times 4.1868 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 感热最大值达 $300 \times 4.1868 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[12]. 为了进一步研究春季北太平洋海温异常对大气环流的影响, 我们利用一个简化的两层大气环流模式 OSU-AGCM 模拟黑潮区海温异常时的大气异常环流. 模式顶取 200 hPa, 水平分辨率 $5^\circ \times 4^\circ$, 时间步长为 6 分钟. 取实际地形和海陆分布, SST 和海冰由观测的月平均资料线性内插而得. 模式包含了下垫面加热和大地形强迫等. 模式中的动力方程及物理过程参数化方法参见文献^[13].

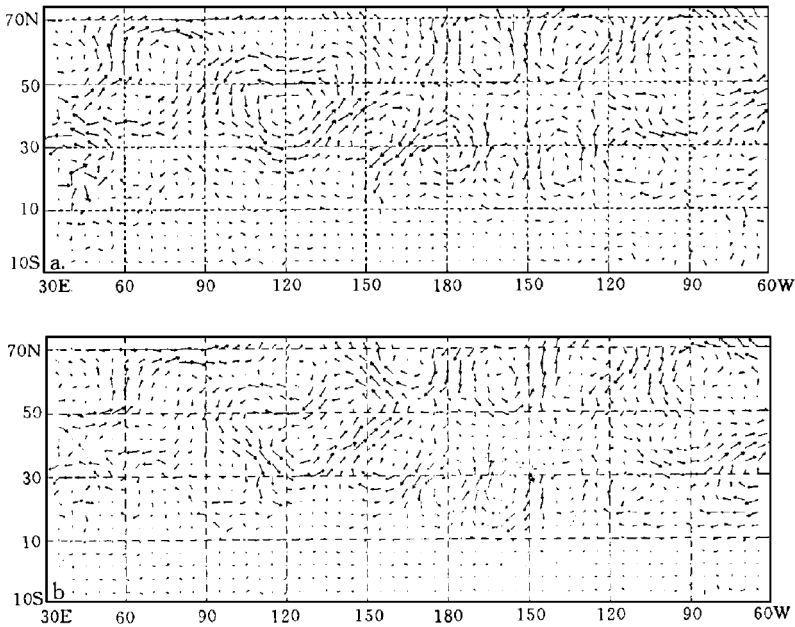


图 5 (a) 400 hPa (b)800 hPa 模拟风矢距平图

Fig. 5 The simulated wind vector departure over (a) 400 hPa and (b) 800 hPa

3.1 试验方案

本文设计了两个试验方案: ① 将华北地区 5 个夏涝年的 3、4 月份 I 区 SSTA 的区域平均(+1.4℃)在初始时刻叠加到该海域 SST 场上, 以反映夏涝年前期春季黑潮区 SST 的实际异常状况. ② 以 3 月多年平均 SST 场为下边界强迫做控制试验. 两试验均

从3月1日开始积分60天,取后30天预报结果的日平均差值反映SSTA对大气环流的影响.

3.2 试验结果

图5给出了试验所得400 hPa和800 hPa的水平风矢差分布.由图可见,两层的形势非常相似,说明大气环流异常变化具有明显的正压性.水平流场在 15°N 以南的低纬度地区变化很小,两个大范围的气旋性差值环流分别位于亚洲东北部和北美北部,说明春季黑潮区海温升高将造成季内上述两地区大气的气旋性环流加强,高度降低.这与图1中西伯利亚和北美西北部的两个高度负异常区在中心位置和范围上都相吻合.图5中两个大范围的反气旋性差值环流区,一个在乌拉尔山东部并与青藏高原上的反气旋环流相连,另一个在美国东南部及其东部近海一带,说明该地区的反气旋性环流加强,高度升高.这与图1中乌拉尔山和青藏高原以及北美东南部的高度正异常中心相吻合.从海平面气压差值场(见图6)可以看出,气压变化与400 hPa和800 hPa两层的流场变化存在较好的对应关系,低纬度地区气压场变化较小,在副热带及其以北,气旋性环流加强的地区海平面气压升高,反之亦然.

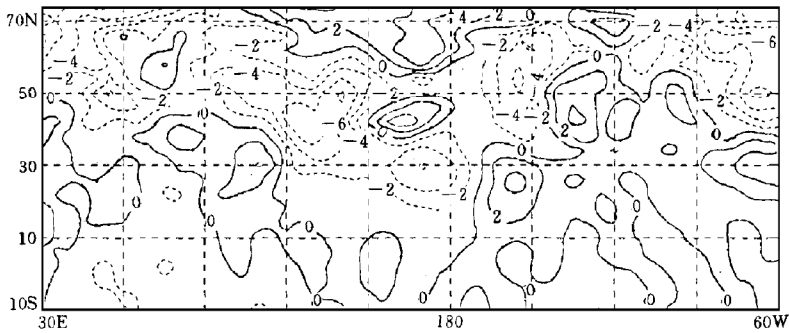


图6 模拟海平面气压差值场(间隔:2 hPa)

Fig. 6 The simulated difference of sea surface air pressure (interval: 2 hPa)

数值试验结果表明,春季黑潮区SSTA对季内北半球副热带及其以北的大气环流有显著影响,而且所产生的异常变化从地面至对流层上层具有明显的正压性,正的SSTA造成华北夏涝年的前期春季异常环流形势.

4 结论与讨论

(1) 春季北半球大气环流异常与华北地区夏季旱涝及降水量密切相关.当北极低涡减弱,欧亚大陆纬向环流加强,青藏高原高度场偏高,西太平洋副高偏北西伸,出现负PNA型异常环流时,华北地区夏季将多雨偏涝,反之,则干旱少雨.

(2) 华北夏涝年的前期春季大气异常环流所呈现的负PNA型,比常年春季的形式变化较大.其不同之处首先是,北太平洋上的异常中心较常年位置明显北移,位于白令海峡附近,而且中心未发生分裂.其次,北美西北部和东南部的两个中心依然存在,位

置与冬季相同。

(3) 华北地区夏季旱涝与当年 3、4 月份北太平洋海温场显著相关。3~4 月西北太平洋 SST 大范围持续正距平, 赤道东太平洋持续负距平, 则华北地区夏季多雨, 反之将干旱少雨。日本本州岛以东黑潮暖流区和赤道东太平洋的 SSTA 与春季 500 hPa 异常环流有较好的关系, 前者正的 SSTA 对应着华北夏涝年前期春季的异常环流, 后者正的 SSTA 所对应的异常环流与华北夏旱年前期春季的异常环流相近。

(4) 数值试验结果表明, 春季黑潮区 SST 升高将造成季内出现华北地区夏涝年的前期异常环流形势。本文从统计分析和数值模拟两方面研究, 说明春季大气异常环流与该海域 SSTA 不仅存在着“遥相关”, 而且存在“遥响应”, 而这种响应主要表现在北半球副热带及其以北地区。

参 考 文 献

- 1 梁平德. 我国东部盛行风场与夏季华北降水量的长期预报. 气象学报, 1986, **44**(1): 91~95.
- 2 梁平德. 印度夏季风与我国华北夏季降水量. 气象学报, 1988, **46**(1): 75~80.
- 3 赵汉光. 华北的雨季. 气象, 1995, **20**(6): 3~8.
- 4 陈晓光, 徐祥德, 朱乾根. 河套华北地区旱涝的前期环流异常与大西洋海温的关系及其数值试验. 气象学报, 1996, **54**(1): 102~106.
- 5 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响. 大气科学, 1977, **1**(1): 1~12.
- 6 Huang Ronghui, Wu Yingfang. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. Proceedings in Japan-U. S. Workshop on the ENSO Phenomenon. Nov. 3~7, 1987, Tokyo University.
- 7 林学椿, 于淑秋. 厄尔尼诺与我国汛期降水. 气象学报, 1993, **51**(4): 434~441.
- 8 杨芳林, 袁重光. 夏季赤道东太平洋海温异常对全球及东亚短期气候变化影响的数值试验. 大气科学, 1995, **19**(5): 535~543.
- 9 Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnection in geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**(4): 784~812.
- 10 施 能, 鲁建军. 北半球 4 月份 500 hPa 月平均场遥相关型及其与我国降水异常的关系. 南京气象学院学报, 1995, **18**(3): 324~329.
- 11 王绍武, 胡增臻. 气象要素相关场显著性检验的统计模拟方法. 见: 王绍武, 黄朝迎等著. 长江黄河旱涝灾害发生规律及其经济影响的诊断研究. 北京: 气象出版社, 1996. 215~221.
- 12 章基嘉, 葛 玲. 中长期天气预报基础. 北京: 气象出版社, 1983. 260.
- 13 Ghan S J, Lingaas J W. A documentation of the OSU two level atmospheric general circulation model. Climatic Research Institute, Oregon State University Report, 1982. No. 35.

ATMOSPHERIC CIRCULATION ANOMALY PRIOR TO DROUGHT/ FLOOD OF SUMMER IN NORTH CHINA AND ITS RELATIONS TO NORTH PACIFIC SST

Zhu Pingsheng Zhang Suping

(*Shandong Meteorological Institute, Jinan 250031*)

Abstract

The atmospheric circulation anomaly and North Pacific SSTA in spring prior to drought/flood of summer in North China are analysed and the relationships between SSTA and atmospheric circulation anomaly are discussed. Then numerical simulation forced by heat source anomaly in Kuroshio current area is made by using OSU-AGCM. The results show that rainy summers in North China would occur if arctic low vortices weaken significantly and zonal circulations strengthen in middle-high latitudes in Eurasian continent and West Pacific subtropical high lies northerly and westerly, and remarkable negative PNA-pattern exists in springs. Otherwise, there would be dry summers in North China. At the same period positive and negative SST departures exist in the Western North Pacific and in equatorial East Pacific, respectively, which is closely related to atmospheric circulation anomaly in springs. SSTA in Kuroshio current area has great influence upon subtropical atmospheric circulations as well as those of its northside in the Northern Hemisphere. Positive SSTA in Kuroshio current area is an important factor for the anomalous atmospheric circulation pattern prior to flood of summer in North China.

Key words: Drought/flood of summer Anomalous atmospheric circulation Subtropical high Sea-surface temperature anomaly (SSTA)