

周浩,程炳岩,罗孳孳. 重庆春播期间降水特征及其与北太平洋海温的关系[J]. 气象,2011,37(9):1134-1139.

# 重庆春播期间降水特征及其与北太平洋海温的关系<sup>\*</sup>

周 浩 程炳岩 罗孳孳

重庆市气候中心,重庆 401147

**提 要:** 运用 NCEP/NCAR 全球高度场再分析资料、美国 NOAA 全球海温资料以及重庆 34 个站春播期间降水资料,对重庆春播期间降水特征及其与前期秋季海温场的关系进行分析。结果表明:重庆春播期间降水与前期秋季北太平洋暖流附近(20°~40°N,165°E~140°W)的海温有显著负相关关系,而与北太平洋阿拉斯加暖流附近(40°~60°N,165°E~140°W)的海温则有显著正相关关系,即南、北海温呈现相反的相关性。当前期秋季北太平洋副热带地区海温异常偏高,中高纬度地区海温异常偏低时,后期重庆春播期间降水将异常偏多;反之,北太平洋副热带地区海温异常偏低,中高纬度地区海温异常偏高时,重庆春播期间降水将异常偏少。针对秋季北太平洋南、北海温异常的反相分布特征定义了用于诊断和预测重庆春播期间降水的判别指数,该指数代表了北太平洋海温异常南北反相的分布特征。该前期判别指数具有重要的天气气候学意义和一定的指示和预测能力。其代表的北太平洋海温异常与西太平洋区域 500 hPa 高度场有密切联系,其可使大气环流场产生持续性的异常,大气环流的异常特征能一直持续到春播期间,将影响重庆春播期间降水变化。

**关键词:** 春播期间降水, 海温异常, 大气遥相关, 大气环流

## Analysis of the Characteristics of Spring Precipitation in Chongqing and the Related SSTA in North Pacific

ZHOU Hao CHENG Bingyan LUO Zizi

Chongqing Climate Center, Chongqing 401147

**Abstract:** Using the monthly mean reanalysis data of the NCEP/NCAR, and the data of monthly mean SST by NOAA during 1961 to 2008, and the precipitation in spring in Chongqing from 1961 to 2008, the relationship between the spring rainfall in Chongqing and the early autumn SST is analyzed. The result shows that a close negative/positive correlation exists between the spring rainfall in Chongqing and the early autumn SST in the neighborhood of the North Pacific drift (20°—40°N, 165°E—140°W)/Alaska current (40°—60°N, 165°E—140°W), respectively. When the early autumn SST of the subtropical North Pacific Ocean is anomalously high, and that of middle-high latitudes is anomalously low, then the spring rainfall in Chongqing is more. On the other hand, when the early autumn SST of the subtropical North Pacific Ocean is anomalously low, and that of middle-high latitudes is anomalously high, then the spring rainfall in Chongqing is less. A discriminate index for diagnosing and forecasting the spring rainfall is defined according to the correlation distribution characteristics. This index stands for the opposed anomalous SST conditions of the south and north areas in the North Pacific Ocean. It has important synoptic climatological significance, and can diagnose and forecast the spring rainfall in Chongqing. The index leads to the anomalies of eigenvalues of spring 500 hPa height all through, which makes the spring rainfall in Chongqing anomalous.

**Key words:** spring precipitation, SSTA (sea surface temperature anomaly), atmospheric teleconnection, atmospheric circulation

\* 重庆市气象局科技计划项目“zl-200814”、“zl-200902”联合资助

2010 年 5 月 27 日收稿; 2010 年 12 月 13 日收修定稿

第一作者: 周浩,主要从事气候诊断和预测研究. Email: zhouhao-cq@hotmail.com

## 引言

海温异常是造成我国气候异常最主要的因素之一。海洋具有很强的“记忆力”,海温异常也有很长的持续性,所以在气候变化中,特别是在短期气候和长期天气中起着重要作用。已有许多工作对海温异常与我国气候变化的关系进行了研究,表明太平洋赤道地区、黑潮区、暖池地区等各海区与中国东部及其长江中下游地区汛期降水有十分密切的联系<sup>[1-20]</sup>,其中大多数研究都着眼于中、东部或长江中下游地区,关于太平洋海温异常与西部地区降水关系的研究则相对较少<sup>[21-26]</sup>,其中有关海温与西部春播期间降水关系的研究就更少。然而,春播期是重庆农业生产的关键时期,期间降水严重影响着重庆地区水稻、玉米等农作物的播种育苗,对农业生产起着十分重要的作用。如前面所述,太平洋海温作为影响中国气候变化主要的因素之一,分析其与重庆春播期间降水的关系是可行且十分必要的,目前关于这方面的研究则较少,本文将利用重庆春播期间长序列降水资料对这一问题进行分析研究,希望找出海温与降水之间的物理联系及其机制。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

利用重庆34个常规气象观测站春播期间(3—4月)降水的观测资料,并以此计算得到重庆地区春播期间的区域降水指数。还使用到美国环境预报中心(NCEP)/美国国家大气研究中心(NCAR)第1版再分析月平均位势高度场资料,垂直方向分为17层(分别为1000、925、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20和10 hPa),网格点

密度为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,范围为 $0^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{N}$ , $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。NOAA Extended Reconstructed SST V2逐月海温资料,网格点密度为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。以上所用资料均为1961—2008年,其中春播期间取3—4月,秋季取9—11月。

### 1.2 方法

为了研究重庆春播期间降水的基本特征,本文采用线性趋势估计、Mann-Kendall 检验法和小波分析等数理统计方法。除此之外,本文选用区域降水指数作为研究对象分析重庆春播期间降水的气候特征,以下简称降水指数。区域降水指数用下式表示<sup>[27]</sup>:

$$r_c = \frac{r}{r_0} + \frac{n_0}{n}$$

式中 $r_c$ 表示区域降水指数, $r$ 为区域内所选站点的平均降水量, $r_0$ 为其多年平均值; $n_0$ 为区域内降水正距平的站点数, $n$ 为总站数。区域降水指数可以很好地表示区域降水的整体情况,第一项代表降水强度,第二项代表降水偏多的范围。

## 2 春播期间降水的基本特征

图1是重庆1961—2008年春播期间降水指数距平序列(图1a)及其Mann-Kendall统计量曲线(图1b)。如图1a可见,近48年来重庆春播期间降水呈微弱的减少趋势,但不十分明显。图中虚线为6阶拟合曲线,其反映出20世纪60年代前期重庆春播期间为少雨期,60年代中期开始一直持续到70年代末为显著的多雨期,然后是又一段长时间的少雨期,直达21世纪初才开始缓慢回升。图1b为春播期间区域降水指数的Mann-Kendall统计量曲线。从图中可见,1978年是一个明显的突变点,UF和UB曲线相交于此,随后UF曲线持续下降,表明

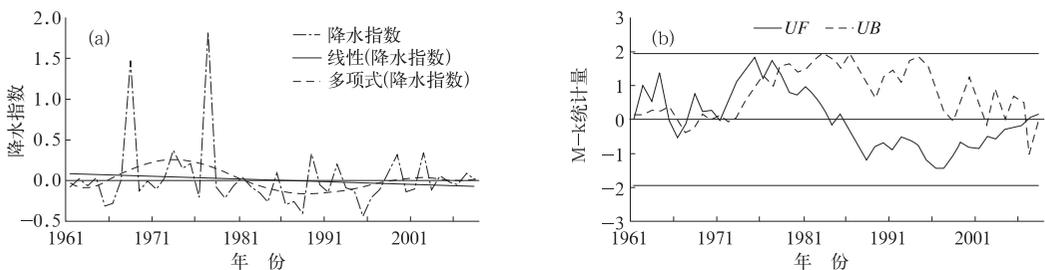


图1 1961—2008年重庆春播期间降水指数距平序列(a)及其Mann-Kendall统计量曲线(b)

图1b中两条直线为0.05显著性水平临界值

Fig. 1 Time series of Chongqing spring precipitation index (a) from 1961 to 2008, and its Mann-Kendall test (b) precipitation index

春播期间降水在该时期一直处于减少趋势。 $UF$  和  $UB$  两条曲线在 2006 年再次相交,之前  $UF$  曲线一直处于上升趋势。

图 2 是 1961—2008 年重庆春播期间降水指数的小波分析结果,其中图 2a 是小波变换系数实部分布图,图 2b 是小波变换系数模值分布图。从图 2 可知,近 48 年来重庆春播期间降水在多个特征时间尺度上的周期变化特征及其在时间域中的分布情况。图中数值反映的是不同尺度振荡的振幅大小。近

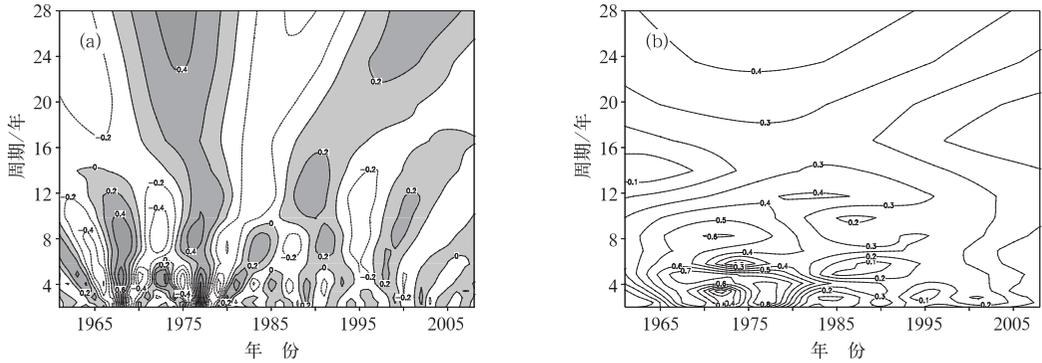


图 2 重庆春播期间降水指数小波分析图

(a) 小波实部, (b) 小波模

Fig. 2 Wavelet analysis of the time series of Chongqing spring precipitation index:

(a) real part, (b) mode

般 3~5 年就发生一次明显的变化。

上面详细分析了重庆春播期间降水的时间演变特征,降水的变化势必与对其有影响的大气环流、海温、积雪等因素的异常变化有密切联系。众所周知,这些因素对降水的影响作用是错落交织,十分复杂的,要想一步就搞清它们之间的关系也是很困难的。故本文选取海温作为研究对象,探讨其与重庆春播期间降水的关系,试图找到影响重庆春播期间降水异常的物理机制。

### 3 海温异常与降水的关系

分析前一年 5 月到同年 4 月的逐月全球海温与后期重庆春播期间降水指数的相关系数分布(图 3),发现降水指数与前一年 9—11 月北太平洋地区的海温存在南、北向的相关分布特征。这种相关特征有很好的持续性,从 9 月一直到 11 月。分布特征可以从秋季北太平洋海温与后期重庆春播期间降水指数之间的相关分布图中得到明显表现(图 3d)。如图 3d 可见,北太平洋暖流附近( $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$ )海区为显著负相关区,北太平洋阿拉斯加暖流附近( $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$ )海区为显著正相关区,即南、北两个海区的相关系数符号

正好相反,说明重庆春播期间降水异常年份前一年秋季北太平洋地区海温已出现显著异常。

48 年中,春播期间降水以 3~5 年和 8 年左右的年际振荡为主,年代际振荡则较弱。期间,20 世纪 80 年代中期以前 3~5 年和 8 年左右的周期振荡都十分明显,其中整个 70 年代最明显,振荡最强;20 世纪 80 年代后期到 90 年代末 3~5 年周期振荡已经衰弱,但 8 年左右的周期振荡仍很明显,振荡也很强;进入 21 世纪后各尺度的周期振荡都较弱,没有明显的主周期振荡。周期振荡的分布特点,说明重庆春播期间降水以年际变化周期为主(10 年以内),变化频率较快,一

正好相反,说明重庆春播期间降水异常年份前一年秋季北太平洋地区海温已出现显著异常。

针对重庆春播期间降水指数与前期秋季北太平洋地区海温的南、北向相关系数分布特征,选取北太平洋暖流附近( $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$ )海域的平均海温和北太平洋阿拉斯加暖流附近( $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$ )海域的海温之差定义重庆春播期间降水判别指数:

$$f = \text{nor}(sst_2 - sst_1) \quad (1)$$

其中,

$$\begin{cases} sst_1 = \text{ave}[sst(20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}, 165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W})] \\ sst_2 = \text{ave}[sst(40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}, 165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W})] \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $sst_1$  为秋季北太平洋暖流附近海区( $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$ )的平均海温,同理可知  $sst_2$  是秋季北太平洋阿拉斯加暖流附近海区( $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $165^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{W}$ )的平均海温。判别指数是由上述两个海区的平均海温之差,并做标准化处理后得到。判别指数与重庆春播期间降水指数以及与春播期间的降水距平百分率两种表征降水特征的资料之间的相关系数分别为  $-0.57$  和  $-0.53$ ,都达到  $0.05$  以上显著性水平检验。反映出该判别指数对重庆春播期间降水异常变化确有一定的表征和预测能力。

上述分析结果表明:前期秋季北太平洋海温异常可能导致后期重庆春播期间降水异常变化。通过分析代表海温异常的判别指数与对降水有直接作用的大气环流的关系,可进一步理解海温与降水的关系。

从判别指数与同期秋季 500 hPa 高度场的相关系数分布图中(图 4a)可以看出,北太平洋副热带地

区、中高纬度地区、北美西北部和美国东部的高相关区域组成“一十十”的形势,与 PNA 大气遥相关型的分布特征相似,区域相关区域中心的系数值都超过 0.01 的显著性水平检验。如图 4b 可见,重庆春播期间降水与前期秋季 500 hPa 高度场的高相关区与图 4a 的高相关区位置基本一致,且最大相关区均

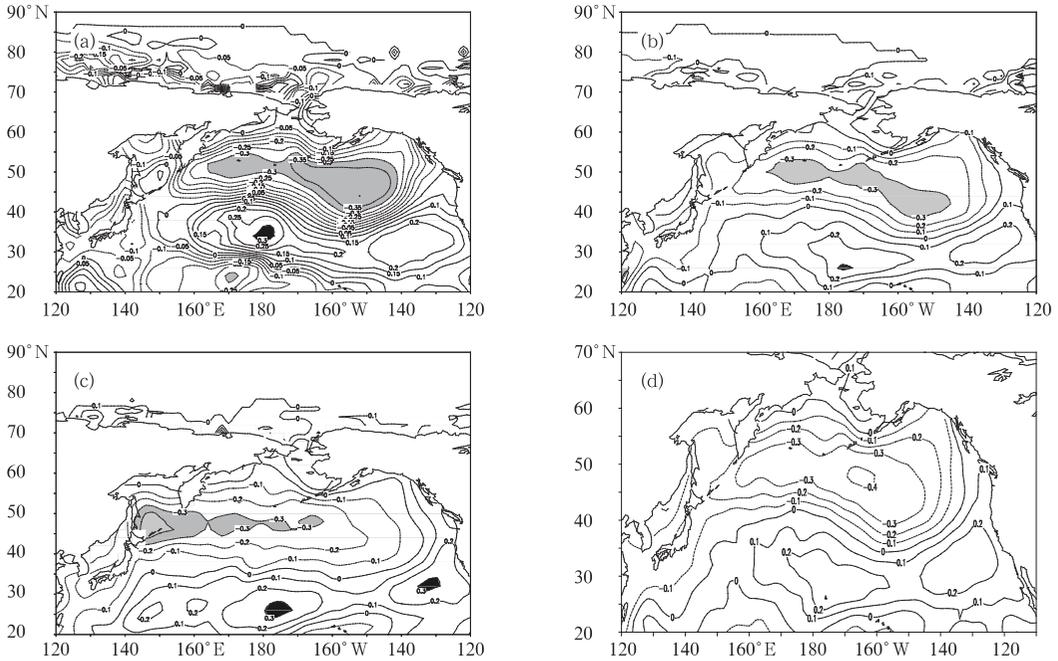


图 3 重庆春播期间降水指数与前期 9 月(a)、10 月(b)、11 月(c)、秋季(d)北太平洋海温的相关系数分布  
阴影部分是显著性水平超过 0.05 的区域

Fig. 3 The distribution of correlation coefficients between Chongqing spring precipitation index and North Pacific SST in the precedent September (a), October (b), November (c), and autumn (d)  
The correlation areas over the 0.05 significance level are shaded

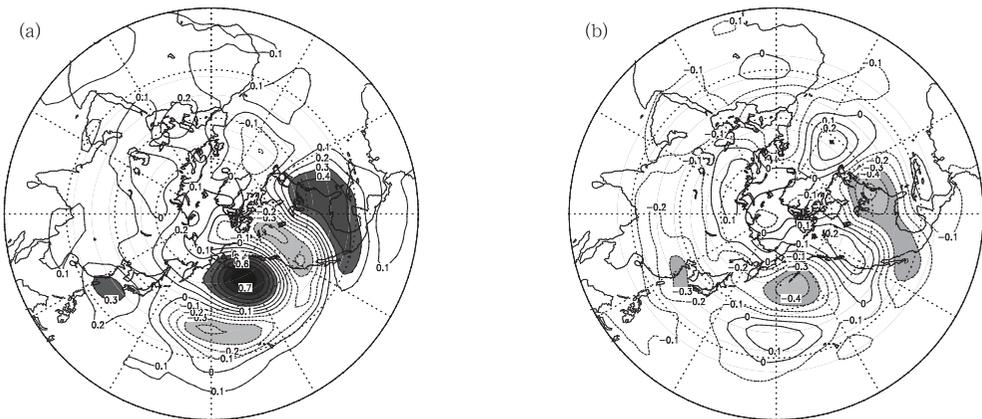


图 4 判别指数与同期秋季 500 hPa 高度场的相关分布图(a),重庆春播期间降水指数与前期秋季 500 hPa 高度场的相关分布图(b)  
阴影部分为通过 0.05 的显著性水平检验的区域

Fig. 4 The distribution of correlation coefficient (a) between the discriminate index and 500 hPa geopotential height, and the distribution of correlation coefficient (b) between Chongqing spring precipitation index and 500 hPa geopotential height in preceding autumn  
The correlation areas over the 0.05 significance level are shaded

位于北太平洋中高纬度海区上空,且正好在图 3d 中海温关键区上空。海温和大气的相互作用可使海温的持续性异常引起大气环流异常,并通过大气环流内部作用影响其他区域环流的异常。由此可见,海温异常信号可通过大气环流作用于重庆春播期间降水,即前期北太平洋海温异常造成其上空 500 hPa 高度场异常,环流异常一直持续到春季,就将影响重庆春播期间降水的变化。

从图 5 可以看出,判别指数(图 5a)和重庆春播期间降水(图 5b)同春播期间北半球 500 hPa 高度场都存在高相关区(图中阴影部分为通过 0.05 显著性水平检验的相关区域)。如图 5a 所示,重庆春播期间降水与同期 500hPa 高度场的负相关区主要位于欧亚大陆中高纬度地区,其中一部分向南延伸到蒙古和中国北方地区;正相关区主要位于大陆以东的北太平洋上。高相关区分布特征表明,春播期间降水偏多的年份,中高纬度地区高度场表现为负距平异常,位势高度降低,有利于蒙古低槽的形成和发展,同时使得乌拉尔山高脊位相略有西退,同时蒙古和中国北方地区的高度场也偏低说明冷空气正是沿

着这个路径经蒙古、中国北方南下,这对重庆降水有利;同时在大陆以东的北太平洋上空的高度场出现正距平,这使得北太平洋地区位势高度升高,阻碍上游蒙古低槽东移,使其停留在蒙古地区,从而有利于冷空气不断从北方南下影响重庆,致使降水增多。降水偏少的年份,中高纬度地区高度场距平的表现截然不同,最显著的表现是以贝加尔湖为中心的正距平区域,表明乌拉尔山脊偏强偏东。虽然乌拉尔山高脊偏强有利于北方冷空气南下,但其位置偏东,导致冷空气南下路径偏东,到达不了重庆。同降水偏多的年份不一样的是降水偏少时,大陆以东的北太平洋地区为高度场负值区,东亚大槽十分深厚且位置偏东,中高纬度大气环流经向度增大,环流系统维持时间相对较长,重庆地区以晴朗天气为主,降水较少。从图 5b 可见,西太平洋地区为负相关区,欧亚大陆北部为正相关区,高相关区主要位于西太平洋中部地区,表明该地区高度场的变化对重庆降水有显著影响。比较分析图 5a 和图 5b,西太平洋中部均是高相关区,同时该区域是影响重庆春播期间降水的关键区,关键区变化和降水有密切关系,判别

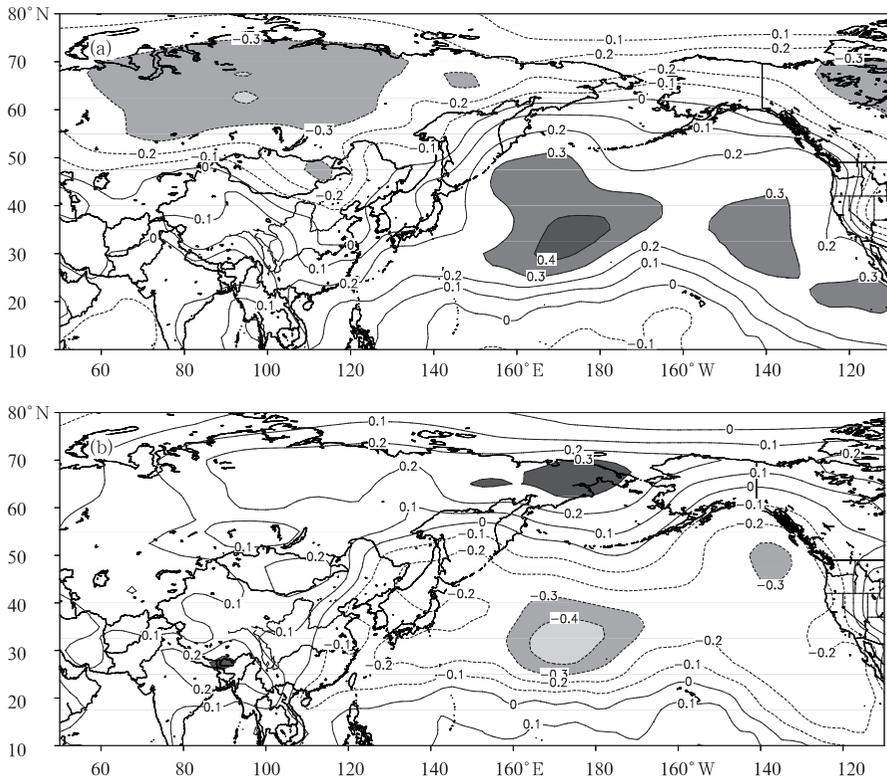


图 5 秋季判别指数(a)、重庆春播期间降水指数(b)分别与春播期间 500 hPa 高度场的相关分布  
阴影部分为通过 0.05 显著性水平检验的区域

Fig. 5 The distribution of correlation coefficient (a) between the discriminate index in autumn and 500 hPa geopotential height in spring, and the distribution of correlation coefficient (b) between Chongqing spring precipitation index and 500 hPa geopotential height in spring  
The correlation areas over the 0.05 significance level are shaded

指数和降水与大气环流的相关系数分布特征的相似性说明,秋季海温异常与春季西太平洋中部地区高度场变化的关系可以将秋季海温与春播降水联系起来。

综上所述:判别指数具有明确的气象物理意义,其代表的海温通过与大气的相互作用影响大尺度环流,进而与降水产生联系,上述分析已表明秋季太平洋海温可造成秋季 500 hPa 高度场大气环流异常,大气环流内部作用使异常变化的信号一直持续到春播期间,进而影响降水。

## 4 结 论

分析重庆春播期间降水的变化特征及其与前期秋季北太平洋海温的关系,得出如下主要结论:

(1) 1961—2008年,重庆春播期间降水呈减少趋势。近48年降水大致分为3个阶段:20世纪60年代前期为少雨期;60年代中期至70年代末为显著的多雨期;在1978年出现明显的突变,随后降水开始减少,到21世纪初才开始缓慢回升。另外,春播期间降水明显以年际变化特征为主。年际尺度(10年以下)的变化周期主要在20世纪80年代中期和20世纪80年代后期到90年代末两个时期,其中70年代最明显,振荡最强。进入21世纪后各尺度的周期振荡都较弱。年代际尺度(10年以上)的变化则不明显,周期性相对较弱。

(2) 秋季北太平洋南、北向的海温异常与后期重庆春播期间降水有密切的联系。当前期秋季北太平洋副热带地区海温异常偏高,同时中高纬度地区海温异常偏低时,后期春播期间降水将出现偏多的情况;反之,北太平洋副热带地区海温异常偏低,同时中高纬度地区海温异常偏高,春播期间降水将偏少。针对海温与降水的这种典型相关关系,定义了用于诊断和指示重庆春播期间降水异常的判别指数,该指数很好地代表了海温异常的变化特征。

(3) 通过分析发现,判别指数与同期西太平洋地区 500 hPa 高度场有密切关系,其能使大气环流场产生显著异常,随着环流场异常一直持续到春季,就将影响后期重庆春播期间的降水变化。所以,秋季海温的异常通过作用于大气环流场来影响后期重庆春播期间的降水,表明秋季海温异常与后期降水的密切关系有明确的物理意义,判别指数亦具有重要的天气气候学意义。

(4) 由于秋季判别指数与后期春播期间降水的高相关性及其指数有明确的物理意义,加之该指数的时效性,具有一定的预报意义,所以该指数可作为重庆春播期间降水的预报因子。

## 参考文献

- [1] 吕炯. 海温异常与水旱问题[J]. 气象学报, 1950, 21(1): 1-15.
- [2] 李麦村, 吴仪芳, 黄嘉佑. 中国东部季风降水与赤道东太平洋海温的关系[J]. 大气科学, 1987, 11(4): 365-371.
- [3] 陈烈庭. 东太平洋区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响[J]. 大气科学, 1977, 1(1): 1-12.
- [4] 中国科学院大气物理研究所. 海气相互作用与旱涝长期预报[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 40-77.
- [5] 李崇银, 龙振夏. 冬季黑潮增暖对我国东部汛期降水影响的数值模拟研究[C]//气候变化若干问题的研究. 北京: 科学出版社, 1992: 145-155.
- [6] 费亮, 王玉清. 赤道东太平洋海温与长江下游地区降水异常的相关分析[J]. 气象学报, 1993, 51(4): 442-447.
- [7] 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996: 237-242.
- [8] 赵振国. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响[J]. 大气科学, 1996, 20(4): 422-428.
- [9] 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(5): 718-726.
- [10] 谭桂容, 孙照渤, 赵振国. 我国东部夏季降水型与北半球大气环流和北太平洋海温的关系[J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(1): 1-7.
- [11] 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(3): 258-266.
- [12] 金祖辉, 陶诗言. 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, 1999, 23(6): 663-672.
- [13] 滕莺, 朱乾根. 影响中国东部夏季降水的前期海温关键区[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 55-62.
- [14] 励申申, 寿绍文. 赤道东太平洋海温与我国江淮流域夏季旱涝的成因分析[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 331-338.
- [15] 陈桂英. El Nino 和 La Nina 冬季增强型和减弱型及其对中国夏季旱涝的影响[J]. 应用气象学报, 2000, 11(2): 154-164.
- [16] 苗秋菊, 徐祥德. 长江中下游旱涝的环流型与赤道东太平洋海温遥相关波列特征[J]. 气象学报, 2002, 60(6): 687-697.
- [17] 李忠贤, 孙照渤. 1月份黑潮区域海温异常与我国夏季降水的关系[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(3): 374-380.
- [18] 龚振淞, 何敏. 长江流域夏季降水与全球海温关系的分析[J]. 气象, 2006, 32(1): 56-61.
- [19] 朱平盛, 张苏平. 北太平洋海温异常对我国降水影响的数值试验[J]. 气象, 2000, 26(5): 3-7.
- [20] 董婕, 刘丽敏. 赤道东太平洋海温与中国温度、降水的关系[J]. 气象, 2000, 26(2): 25-28.
- [21] 鲍媛媛, 康志明, 金荣花, 等. 川渝地区夏季旱涝与海温异常浅析[J]. 气象, 2007, 33(5): 89-93.
- [22] 唐佑明, 翟武全, 徐金洪. 我国西南地区夏季降水异常与太平洋海温季节演变的关系[J]. 海洋与湖泊, 1997, 28(1): 88-95.
- [23] 郭洁. 峨眉山夏季降水与主要影响因子的相关分析[J]. 气象, 2005, 31(5): 50-61.
- [24] 张培群, 贾小龙, 王永光. 2008年海洋和大气环流异常对中国气候的影响[J]. 气象, 2009, 35(4): 112-117.
- [25] 艾婉秀, 孙林海, 宋文玲. 2009年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响[J]. 气象, 2010, 36(4): 101-105.
- [26] 刘彩红, 米西德, 石顺吉, 等. 三江源夏季降水异常与大气环流异常的关系[J]. 气象, 2009, 35(7): 39-45.
- [27] 赵振国. 中国夏季旱涝及环流场[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 8-9.