

常军,王永光,赵宇. 2013. Nino3 区海温的变化对黄河流域夏季降水的影响. 气象, 39(9):1133-1138.

Nino3 区海温的变化对黄河流域夏季降水的影响^{*}

常 军^{1,2} 王永光³ 赵 宇⁴

- 1 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 郑州 450003
- 2 河南省气候中心, 郑州 450003
- 3 国家气候中心, 北京 100081
- 4 南京信息工程大学, 南京 210044

提 要: 利用 1961—2011 年 NCEP/NCAR 再分析资料和黄河流域 45 站降水资料, 定义了 4 月和上年 10 月的 Nino3 区海温差(ΔI_{SST3})指数, 分析 ΔI_{SST3} 指数与夏季海温的关系以及大气环流和夏季黄河流域降水与 ΔI_{SST3} 指数的相关情况, 得到如下结果: (1) ΔI_{SST3} 升高(降低)时, 夏季赤道中东太平洋海温易偏暖(冷), 而我国南海到菲律宾半岛海区易偏冷(暖)。 (2) 500 hPa 高度场上, ΔI_{SST3} 与 $100^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{W}$ 范围的热带和副热带地区高度呈显著的负相关关系; ΔI_{SST3} 正负异常差值场显示, ΔI_{SST3} 升高(降低)时, 夏季热带和太平洋副热带地区的 500 hPa 高度偏低(高), 赤道北侧 850 hPa 西风(东风)距平异常, 西太平洋副热带高压明显偏弱(强), 我国东部沿海大陆盛行偏北(南)气流, 暖湿气流不活跃(活跃), 季风偏弱(强), 而中高纬度上, 蒙古北部气旋(反气旋)发展, 致使河套地区处在反气旋性(气旋性)环流中。 (3) ΔI_{SST3} 指数与黄河流域夏季降水呈显著的负相关关系, 相关系数为-0.51, 当 ΔI_{SST3} 正异常时, 黄河流域夏季降水易偏少; ΔI_{SST3} 负异常时, 黄河流域夏季降水易偏多, 且负异常对黄河流域夏季降水的影响更显著。

关键词: Nino3 区, 海温升降变化指数, 大气环流, 夏季降水

中图分类号: P461 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.09.007

Impact of Variation of Sea Surface Temperature in Nino3 District on Summer Precipitation over Yellow River Basin

CHANG Jun^{1,2} WANG Yongguang³ ZHAO Yu⁴

- 1 Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and Applied Technique, CMA, Zhengzhou 450003
- 2 Henan Climate Centre, Zhengzhou 450003
- 3 National Climate Centre, Beijing 100081
- 4 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: With the NCEP/NCAR reanalysis data during 1961—2011 and the precipitation data from 45 stations in the Yellow River Basin, Nino3 SST difference index (ΔI_{SST3}) from the previous October to current April is defined and the relationship between ΔI_{SST3} and summer sea surface temperature, and the correlations of atmospheric circulation and summer precipitation in Yellow River Basin with the ΔI_{SST3} index are analyzed. The results show that: (1) When ΔI_{SST3} increases (decreases), the following summer's sea surface temperature of the central and eastern equatorial Pacific tends to be warm (cool) while that of the area from South China Sea to Philippines Peninsula sea region tends to be cool (warm). (2) The ΔI_{SST3} also shows a significant negative correlation with the subtropical area within $100^{\circ}\text{E}-80^{\circ}\text{W}$ at the 500 hPa height field. The positive and negative abnormal difference field of ΔI_{SST3} shows that when the ΔI_{SST3} increases (decreases), the height at 500 hPa over the tropical and subtropical Pacific regions in summer is

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB428401)和短期气候预测创新团队共同资助
2012 年 6 月 19 日收稿; 2013 年 1 月 24 日收修定稿
第一作者: 常军, 主要从事短期气候预测和气候变化工作. Email: changjun29@163.com

lower (higher); the 850 hPa westerly (easterly) to the north of the equator appears to be abnormal; the Western Pacific subtropical high is significantly weak (strong); northerly (southerly) airflow prevails in coastal areas of eastern China; warm and humid airflow is inactive (active); the monsoon is weaker (stronger). However, the Mongolia cyclone (anticyclone) in the middle and high latitudes is further developing. As a result, the anticyclonic (cyclonic) circulation covers the Hetao Region. (3) The ΔI_{SST3} and the summer precipitation over the Yellow River Basin share a significant negative correlation with a coefficient of -0.51 . When the ΔI_{SST3} is positively abnormal, the summer precipitation in the Yellow River Basin is likely to decline; When the ΔI_{SST3} presents negative anomaly, precipitation of the Yellow River basin in summer tends to exceed the normal, and the negative anomaly has more significant influence on the summer precipitation of the Yellow River Basin.

Key words: Nino3 District, index of sea surface temperature variation, atmospheric circulation, summer rainfall

引 言

ENSO 对我国气候异常的影响一直为我国气象工作者所关注,例如:董婕等(2000)认为 El Nino 和 La Nina 事件与中国温度、降水有一定关系,与秋季降水关系最好。施能(1991)认为南方涛动强度与来年夏季黄河长江中下游降水关系呈北正南负的相关,与当年秋季降水北正南负相关更明显。陈桂英(2000)认为 El Nino 和 La Nina 发生以后,其不同发展阶段,大气环流、西太平洋副热带高压(以下简称副高)和东亚季风有不同的响应,中国夏季降水和旱涝有不同的分布型。张志华等(2008)以正 SSTa 首先出现的区域及其传播特征作为分类的依据,将 El Nino 事件分成 3 种类型,认为西部型发展年,黄河中上游流域降水偏少;在衰减年则相反,黄河中上游流域降水异常偏多;东部型发展年和衰减年的夏季降水没有明显的反位相关系,发展年我国主要以少雨为特征,而多雨区主要集中在黄淮流域;驻波型发展年黄河夏季大部偏少,衰减年北部多。励申申等(2000)根据 ENSO 事件发生时间研究与降水的关系,认为秋冬季增暖的厄尔尼诺事件对应次年夏季江淮流域降水偏多,春夏季开始发展的 ENSO 事件对应当年夏季江淮流域降水偏少。赵振国(1996)研究认为 EL Nino 开始年的春夏季,我国东部地区大范围少雨,秋季到次年夏季,大部分月份降水大都为南多北少的分布型,尤其是在开始年秋季南多北少最典型。赖比星(2005)认为 El Nino 事件的发生,导致黄河流域降水的减少和蒸发的增加,从而造成该流域径流减少。叶笃正等(1990)认为,

ENSO 处于发展阶段,该年我国江淮流域夏季降水偏多,而黄河流域、华北及江南等地降水偏少,出现干旱;当处于衰减阶段时正好相反。陶诗言等(1998)认为 El Nino 事件发生后的冬季,亚洲中高纬度地区盛行纬向环流,东亚上空的东亚大槽强度比常年偏弱。陶亦为等(2011)认为,当冬春季 Nino3 区 SST 为正常偏暖(正常偏冷)的年份或者略偏暖(略偏冷)的年份,夏季雨带与 Nino3 区 SST 异常对应关系不显著,主要雨带偏北和偏南的概率相当;当冬春季 Nino3 区 SST 为强暖事件(强冷事件)时,夏季雨带一般偏南(偏北)。吴正华等(1999)通过 ENSO 事件对北京汛期旱涝的影响分析,认为 ENSO 北京汛期降水影响是复杂的,ENSO 事件的冷暖性质、强度、持续长度和起始时间的不同,都会对北京汛期旱涝产生不同的影响。从前人的研究可以看出,ENSO 事件的性质和发展状态与降水的关系非常复杂,研究结论都以定性描述为主,据国家气候中心统计,1961 年以来共发生 24 次 ENSO 事件,其中 12 次 El Nino 事件,12 次 La Nina 事件,若按 ENSO 事件的性质、发生的季节或发展状态再划分,每一种类型所占的样本更少,况且没有达到 ENSO 事件的年份占多数。以上主要是侧重 ENSO 事件与降水的同期统计关系及机理方面的研究。本文试图用一个指标来描述前期海温的发展状态,并与后期预测对象建立一个定量的统计关系,以期为每年的汛期预测提供参考。

1 资料和方法

本文采用的资料包括:(1)1961—2011 年黄河

流域 45 站降水资料,来自黄河流域气象中心气候业务所用,黄河流域夏季降水就是本文 45 个站的夏季平均降水量;(2)NCEP/NCAR 再分析资料中的月平均高度、风场资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$;(3)全球月平均海温资料,水平分辨率为 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$;(4)国家气候中心 74 项环流特征量指数。气候平均值 1971—2000 年, t 检验方法具体见黄嘉佑(2004)和马开玉等(2004)文献中介绍。

考虑到 Nino3 区涵盖了赤道东太平洋的大部海域,其海温变化在 El Nino 和 La Nina 事件中具有很好的代表性,因为 El Nino(La Nina)事件往往在年末到次年年初达到盛期,Nino3 区海温从秋季到春季的变化可以间接地反映暖事件或冷事件发展或减弱的趋势,这里以 10 月代表秋季,4 月代表春季,用 4 月减上年 10 月的 Nino3 区海温作为海温变化指数,记为 $\Delta I_{\text{SST3}}=I_4-I_{-10}$,并标准化处理,取 1 倍标准差作为正负异常标准,得到 10 个正异常年(1963、1965、1972、1974、1976、1989、1993、2000、2008、2011 年)和 11 个负异常年(1964、1966、1970、1973、1977、1978、1988、1995、1998、2003、2007 年)。

2 前期 Nino3 区海温变化指数和夏季海温的关系

ΔI_{SST3} 指数与随后的夏季赤道中东太平洋海温有显著的正相关关系(图 1),这个区域的相关系数大都通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,正中心为 0.6 左右,而与我国南海到菲律宾半岛海区为显著负相关,负中心为 -0.5 左右,也就是说从上年秋季到次年春季 Nino3 海温升高(降低)时,未来夏季赤道中

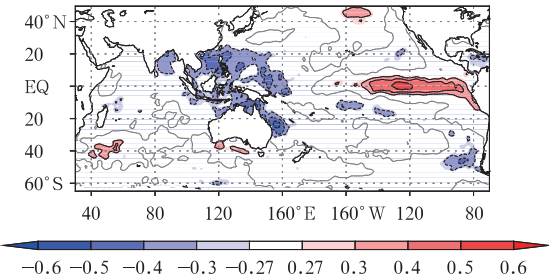


图 1 ΔI_{SST3} 指数与海温场相关场
[实(虚)线正(负)值,阴影区为通过显著性水平检验区域]
Fig.1 The correlation between the ΔI_{SST3} index and sea surface temperature field
[Solid (dashed) lines represent positive (negative) value, shaded areas represent the areas having passed the significance level test]

东太平洋海温易偏暖(冷),我国南海到菲律宾半岛海区易偏冷(暖)。虽然 ΔI_{SST3} 正(负)异常不等于 El Nino(La Nina),但将 1961 年以来发生的历次 El Nino(La Nina)事件进行对比分析,发现 Nino3 区海温的升高或降低与 ENSO 循环有着密切的联系,显著升高与 El Nino 发展或 La Nina 的衰减有很好的对应,而显著降低则与 El Nino 衰减或 La Nina 发展关系密切,即 ΔI_{SST3} 正异常易发展成 El Nino, ΔI_{SST3} 负异常易发展成 La Nina。

3 ΔI_{SST3} 指数与夏季大气环流的关系

为了揭示 ΔI_{SST3} 指数的异常与夏季大气环流的关系,用定义的 ΔI_{SST3} 指数与夏季 500 hPa 高度场求相关(图 2), ΔI_{SST3} 指数与北半球 500 hPa 高度场 $100^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{W}$ 范围的副热带地区呈显著的负相关关系,负中心达 -0.5 左右,也就是说 Nino3 海温从上年秋季到次年春季升高,未来夏季 500 hPa 高度场副热带地区高度易偏低,副高偏弱、偏南,夏季风也偏弱,而降低时结论相反。

下面再对 ΔI_{SST3} 指数 10 个正异常年和 11 个负异常年的夏季 500 hPa 高度场、850 hPa 风场的差值场进行分析(图 3),并进行显著性检验(这里用 ΔI_{SST3} 正异常年减负异常年),来进一步揭示黄河流域夏季降水差异的环流成因。

图 3a 中显示,500 hPa 高度差值场上,在我国大陆、热带和副热带太平洋地区高度场为负,鄂霍茨克海地区高度场为正,说明正异常年,在我国大陆、热带和副热带太平洋地区高度场偏低,鄂霍茨克海地区高度场偏高;负异常年则相反。正负差异最显

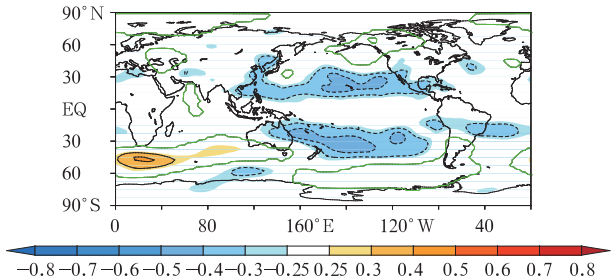


图 2 ΔI_{SST3} 指数与 500 hPa 高度相关场
[实(虚)线正(负)值,阴影区为通过显著性水平检验区域]
Fig.2 The correlation field of ΔI_{SST3} index and 500 hPa height
[Solid (dashed) lines stand for positive (negative) value, shaded areas stand for the areas having passed the significance level test]

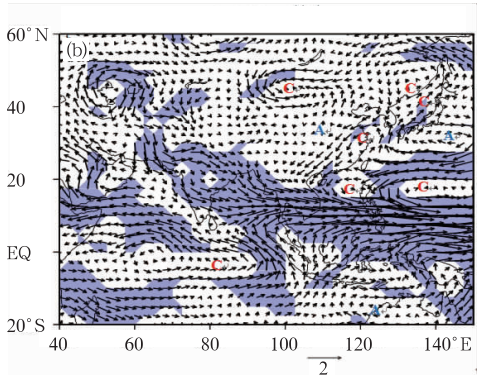
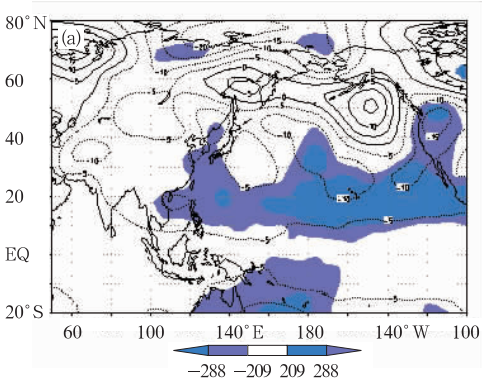


图 3 500 hPa 高度场(a)和 850 hPa 风场(b) I_{SST3} 正-负异常差值场
[实(虚)线正(负)值,阴影区表示通过 0.05 显著性水平检验]
Fig. 3 The difference field of I_{SST3} positive-negative anomalies
(a) 500 hPa height field and (b) 850 hPa wind field
[Solid (dashed) lines represent positive (negative) value, and shaded areas show the areas having passed the 0.05 significance level test]

著的地区在副热带太平洋地区,表明从上年秋季到次年春季 Nino3 海温显著升温可导致次年夏季副热带太平洋地区的 500 hPa 高度场偏低,西太平洋副热带高压偏弱、偏东、偏南,与图 2 的结果一致。

图 3b 中显示,850 hPa 风差值场上,110°~120°E 附近有一支西南气流向北输送,并与高原南侧来的偏西气流汇合,在 6°~15°N 一带形成一支异常的西风距平,经海上扰动分别在菲律宾半岛西北部和热带西太平洋地区形成两个异常的气旋性环流,而在西北太平洋激发一个反气旋性环流,我国东部沿海上海附近生成一个气旋性环流,使得我国东部大陆出现异常东北风距平。另外,中高纬度大陆上形成一个明显的蒙古气旋,黄河流域处于蒙古气旋南侧的反气旋环流中。这种环流形势的配置反映东亚夏季风偏弱,西南暖湿气流很难到达黄河流域,恰好与张志华等(2008)总结的西部型 El Nino 事件的发展年的 850 hPa 风场形势相似,此形势有利于黄河流域降水偏少,而负异常年则相反。

4 黄河流域夏季降水与 ΔI_{SST3} 指数的关系

经计算,黄河流域夏季降水与 ΔI_{SST3} 指数呈显著的负相关关系(图 4),相关系数达-0.51,通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验,这表明 ΔI_{SST3} 升高时,黄河流域夏季降水将减少,降低时,黄河流域夏季降水将增加。

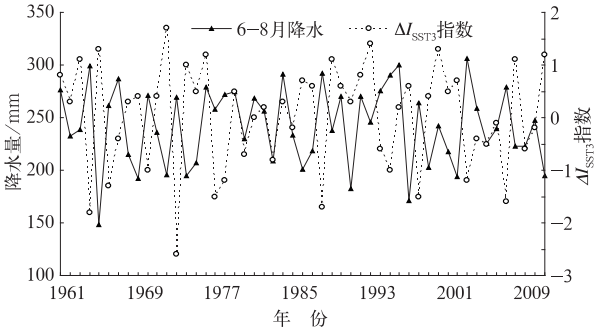


图 4 黄河流域夏季降水与 ΔI_{SST3} 指数历史演变
Fig. 4 Variations of summer precipitation in Yellow River Basin and ΔI_{SST3} index

再从 ΔI_{SST3} 与夏季黄河流域降水相关的空间分布来看(图 5),除黄河源头呈正相关外,其他区域均呈负相关,中游相关最好,大部分区域都通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。

将 ΔI_{SST3} 指数与副高强度、面积、西伸脊点、北界位置这 4 个序列求相关,其相关系数分别为:-0.33、-0.35、0.37、-0.13,其中, ΔI_{SST3} 指数与副高面积、西伸脊点的相关通过了 0.01 的显著性水平检验,与副高强度的相关也通过了 0.05 的显著性水平检验,与北界位置的关系不显著。也就是说 ΔI_{SST3} 表现为升温时,夏季副高易偏弱、偏小、偏西,降温时则相反。

按照前面定义的 ΔI_{SST3} 正负异常标准,分别分析正负异常年黄河流域夏季降水和副高是否存在显著差异。表 1 给出了 ΔI_{SST3} 异常对夏季副高指数和

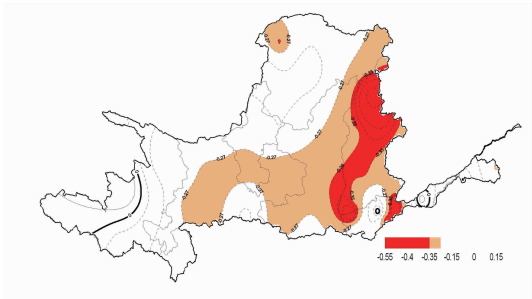


图 5 ΔI_{SST3} 指数与黄河流域夏季降水的相关系数

[实(虚)线正(负)值,阴影区为通过 0.05(浅)和 0.01(深)显著性水平检验]

Fig. 5 The correlation coefficient of the summer precipitation of Yellow River Basin with ΔI_{SST3} index

[Solid (dashed) line stands for positive (negative) value, and shaded area for the areas having passed 0.05 (light) and 0.01 (dark) significance level tests]

黄河流域降水的影响,从表 1 可以看出,10 个正异常年中,黄河流域平均夏季降水距平为-24.8 mm,负距平的年份有 8 年,夏季副高以偏弱、偏东为主,10 次 ΔI_{SST3} 正异常年份的降水合成图上(图略)除黄河源头降水为正距平外,其他大部分区域都为负距平,负距平中心在上游的甘肃和宁夏境内以及河套东北部地区。

ΔI_{SST3} 负异常的 11 年中,黄河流域平均夏季降水距平为 33.7 mm,距平全部为正,夏季副高以偏强、偏西为主,11 次 ΔI_{SST3} 负异常年份夏季降水合成图(图略)上除黄河源头降水为负距平外,其他大部分区域都为正距平。

经对 ΔI_{SST3} 正负异常年夏季降水及副高特征量与其多年平均值差异的显著性检验(表 1),虽然正负异常年之间 t_1 、 t_2 符号完全相反,但只有负异常年的夏季降水通过了显著性水平检验,副高特征量和正异常年降水均没有通过显著性水平检验,表明负异常年对黄河流域夏季降水影响显著,正异常年对降水的影响相对不明显,而正负异常年对夏季副高特征量的影响均没有达到显著性检验的水平。

在 ΔI_{SST3} 正负异常年降水差值场(正减负)的空间分布上(图 6),可以看出,最显著的地区位于黄河流域上游甘肃和宁夏境内、河套东北部以及陕西、山西、河南三省交界处,与前面相关性分布检验比较略有差异。

表 1 ΔI_{SST3} 正(负)异常年对夏季副高指数和黄河流域降水的影响统计检验
Table 1 Statistical tests for the influence of ΔI_{SST3} positive (negative) abnormal years on summer subtropical high index and precipitation in Yellow River Basin

年份	ΔI_{SST3}	降水距平	副高强度距平	西伸脊点距平
1963	1.1	-5.9	0	-4
1965	1.3	-96.2	-17	-5
1972	1.7	-49.2	-22	13
1974	1	-50.3	-31	19
1976	1.2	34.4	-18	8
1989	1.1	-6.9	-8	4
1993	1.4	1.4	28	-17
2000	1.3	-2.7	-26	11
2008	1.1	-22.2	2	0
2011	1.2	-50.2	6	3
<hr/>				
1964	-1.8	54.5	-17	-13
1966	-1.3	16.6	9	-15
1970	-1	26.7	4	5
1973	-2.6	24.9	-9	-4
1977	-1.5	12.9	-17	1
1978	-1.2	27.4	-19	8
1988	-1.7	47.3	16	-9
1995	-1	45.5	57	-20
1998	-1.5	19.5	46	-24
2003	-1.2	61.5	39	-20
2007	-1.6	34.2	22	-4
<hr/>				
\bar{x}_1 (n_1 平均值)		-24.8	-8.6	3.2
\bar{x}_1 (n_2 平均值)		33.7	11.9	-8.6
S_1^2 (n_1 方差)		1372.5	320.3	107.5
S_2^2 (n_2 方差)		262.3	718.3	115.3
μ (51 年平均)		240.9	3.1	-2.4
t_1		-1.71	-1.96	1.61
t_2		7.31*	1.04	-1.85

注: * 为通过 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验, $t_{1\alpha=0.05}=2.26$, $t_{1\alpha=0.01}=3.25$; $t_{2\alpha=0.05}=2.23$, $t_{2\alpha=0.01}=3.17$ 。

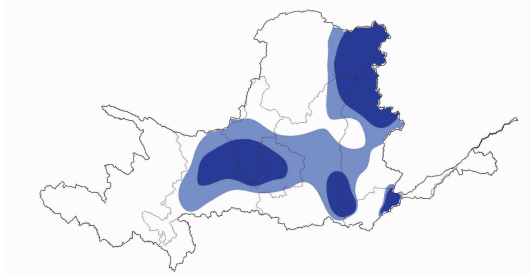


图 6 正负异常年差值场检验
[阴影区为通过 $\alpha=0.05$ (浅)和 $\alpha=0.01$ (深)统计 t 检验]

Fig. 6 The difference field test of the positive and negative abnormal years
[Areas having passed 0.05 (light) and 0.01 (dark) statistical t test are shaded]

5 结 论

通过分析前期 Nino3 区海温的升降变化,探讨其对后期海温和大气环流以及降水的影响,得到如下结论:

(1) 夏季海温对 ΔI_{SST3} 指数的升降有较好的响应, ΔI_{SST3} 显著升温(降温),夏季赤道中东太平洋海温易偏暖(冷),我国南海到菲律宾半岛海区易偏冷(暖)。说明 Nino3 区海温的升降与 ENSO 循环有着密切的联系,显著增温与 El Nino 发展或 La Nina 的衰减有很好的对应,即 ΔI_{SST3} 正异常易发展成 El Nino,而显著降温则与 El Nino 衰减或 La Nina 发展关系密切,即 ΔI_{SST3} 负异常易发展成 La Nina。

(2) ΔI_{SST3} 升温(降温)时,500 hPa 高度场上,夏季热带和太平洋副热带地区的高度场偏低(高);850 hPa 风场差值场上,在赤道北侧西风(东风)距平异常。也就是说 ΔI_{SST3} 升温(降温)时,西太平洋副热带高压偏弱(强),我国东部盛行偏北(南)气流,暖湿气流不活跃(活跃),季风偏弱(强),大陆上蒙古北部气旋(反气旋)发展,河套地区处在反气旋性(气旋性)环流中。

(3) ΔI_{SST3} 指数与夏季黄河流域降水呈显著的负相关关系, ΔI_{SST3} 正异常时,夏季黄河流域降水易偏少;负异常时,夏季黄河流域降水易偏多。 ΔI_{SST3} 指数可以作为夏季黄河流域降水的先兆信号之一,特别是负异常对夏季降水的影响更显著,对预测的

指示意义更大。

(4) 由于影响黄河流域夏季降水的因素比较复杂,今后还要加强其他外强迫信号对流域降水影响的研究,进一步提高预测准确率。

参考文献

- 陈桂英. 2000. 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. 应用气象学报, 11(2): 155-163.
- 董婕, 刘丽敏. 2000. 赤道东太平洋海温与中国温度、降水的关系. 气象, 26(2): 25-28.
- 黄嘉佑. 2004. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 20-22.
- 赖比星. 2005. 黄河断流与 El Nino 事件的遥相关. 气象科学, 25(6): 595-606.
- 励申申, 寿绍文. 2000. 赤道东太平洋海温与我国江淮流域夏季旱涝的成因分析. 应用气象学报, 11(3): 331-338.
- 马开玉, 张耀存, 陈星. 2004. 现代应用统计学. 北京: 气象出版社, 76-85.
- 施能. 1991. 黄河长江中下游季月降水场区划旱涝特征及其与的若干关系. 气象科学, 11(2): 186-189.
- 陶诗言, 张庆云. 1998. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应. 大气科学, 22(4): 399-407.
- 陶亦为, 孙照渤, 李维京, 等. 2011. ENSO 与青藏高原积雪的关系及其对我国夏季降水异常的影响. 气象, 37(8): 919-928.
- 吴正华, 储锁龙. 1999. 百余年的 ENSO 事件与北京汛期旱涝的统计关系. 气象, 25(9): 3-6.
- 叶笃正, 黄荣辉. 1990. 旱涝气候研究进展. 北京: 气象出版社, 37-38.
- 张志华, 黄刚. 2008. 不同类型 El Nino 事件及其与我国夏季气候异常的关系. 南京气象学院学报, 31(6): 783-788.
- 赵振国. 1996. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响. 大气科学, 20(4): 422-428.