

陶亦为,孙照渤,李维京,等. 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[J]. 气象,2011,37(8):919-928.

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^{*1}

陶亦为^{1,2} 孙照渤¹ 李维京² 李伟平² 左金清^{2,3}

1 南京信息工程大学大气科学学院,南京 210044

2 国家气候中心,北京 100081

3 兰州大学大气科学学院,兰州 730000

提 要: 文章利用 1979—2005 年 Niño3 区海温时间序列资料和中国雪深时间序列资料,分析了 Niño3 区海温与青藏高原积雪之间的关系,两者对我国夏季降水的影响以及两者共同作用下对我国夏季降水的影响。分析结果表明:当前期冬春季 Niño3 区 SST 为强暖(强冷)事件与高原积雪显著偏多(显著偏少)共同作用的配置下,我国东部夏季雨带往往偏南(偏北)。从月时间尺度方面,揭示了前期冬春季 ENSO 和冬春季青藏高原积雪对我国长江以南地区降水异常的影响在夏季各月是不一致的,前期冬春季逐月 Niño3 区 SST 和冬春季逐月高原积雪对长江以南地区 6 月的降水都为正相关,而对 8 月的降水都为反相关,并且春季逐月 Niño3 区 SST 和冬春季逐月高原积雪对长江以南地区 7 月的降水也都为正相关,另外,春季 Niño3 区 SST 和春季高原积雪对长江以南地区 6 月和 7 月降水更为重要。

关键词: 冬春积雪, 青藏高原, ENSO, 夏季降水, SST

Relationships Between ENSO and Qinghai-Tibetan Plateau Snow Depth and Their Influences on Summer Rainfall Anomalies in China

TAO Yiwei^{1,2} SUN Zhaobo¹ LI Weijing² LI Weiping² ZUO Jinqing^{2,3}

1 College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 National Climate Centre, Beijing 100081

3 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

Abstract: Based on the sea surface temperature (SST) in Niño3 region and snow depth from 1979 to 2005, relationships between ENSO and Qinghai-Tibetan Plateau (QXP) snow depth and their influences on summer rainfall in China were investigated, respectively. In addition, the joint influence of ENSO and QXP snow on summer rainfall in China was also analyzed.

The results showed that the summer rainbelt in eastern China often moved southward (northward) only when a strong warm (strong cold) ENSO event and a heavy (light) QXP snow occurred simultaneously during previous winter and spring. Moreover, the monthly Niño3 SST and QXP snow during previous winter and spring both had a positive correlation with the June rainfall over southward of the Yangtze River, while they both had a negative correlation with August rainfall over southward of the Yangtze River. Furthermore, the monthly Niño3 SST during previous spring and the QXP snow during previous winter and spring both had a positive correlation with the July rainfall over southward of the Yangtze River. Moreover, the Niño3 SST and QXP snow during spring had a more important impact on June and July rainfall anomalies over southward of the Yangtze River. It clearly indicated that the impacts of previous ENSO and QXP snow on monthly rainfall anomalies over

* 国家科技支撑计划(2007BAC29B04)资助

2010 年 6 月 12 日收稿; 2011 年 5 月 15 日收修定稿

第一作者:陶亦为,主要从事短期气候预测研究. Email:taoyiwei@hotmail.com

southward of the Yangtze River are different for each summer month.

Key words: winter and spring snow depth, Qinghai-Tibetan Plateau (QXP), ENSO, summer rainfall, SST (sea surface temperature)

引 言

中国是个自然灾害频发的国家,而其中由夏季降水丰欠产生的洪涝与干旱气象灾害占有所有自然灾害中的比例很大,所以研究我国夏季降水的发生、发展和影响有着重要意义。影响我国夏季降水的因素比较复杂,赵振国等^[1]曾把影响中国汛期旱涝的因素归纳为海温异常现象(El Nino Southern Oscillation, ENSO)、青藏高原热状况、亚洲季风、中纬度阻塞高压和西太平洋副热带高压这 5 个最重要的因子。肖子牛^[2]在总结我国短期气候监测预测业务进展也指出,气候预测主要以物理统计方法为主,分析影响中国气候异常的各种物理因素及其前兆信号,以分析海温、雪盖、季风、阻高、副高等因子对中国汛期旱涝的影响为基础做气候预测。然而各个因子的复杂影响使得对我国夏季降水的季节预测一直是个难题。尤其是前期青藏高原积雪异常引起的下垫面热力变化对夏季环流系统和天气气候都有显著的影响。刘晓冬^[3]提出积雪以其高反射率、热传导性差、融化过程吸收大量热量等特性通过改变下垫面热状况和大气冷热源从而影响大气的各种热力和动力过程。近年来很多气象科学工作者对青藏高原冬春季积雪对我国夏季降水也有比较深入的研究。朱玉祥等^[4]研究表明在年代际尺度上,青藏高原大气热源和冬春积雪与中国东部降水型的年代际变化(南涝北旱)有很好的相关。韦志刚等^[5]研究指出高原冬春多(少)雪年高原和我国东部地区气温偏低(高)、陆海温差的偏小(大)会延迟(促进)东亚夏季风的到来,一定程度上减弱(增强)了东亚季风的强度,因而西太平洋副高偏南(北),造成我国夏季雨带的变化。宋文玲等^[6]统计分析结果指出冬季青藏高原积雪异常偏多时,夏季雨带位置偏南,长江流域容易发生洪涝灾害。

ENSO 事件是另一个对我国汛期降水季节预测的重要参考因子。朱益民等^[7]指出 ENSO 是热带太平洋地区海气系统年际气候变率的最强信号,它不仅对区域气候而且对全球气候异常都有明显的影响。许多气象工作者都研究发现 ENSO 事件对我国东部夏季降水有着重要影响,汪靖等^[8]研究结果

表明 ENSO 事件是影响江淮入梅早晚较强的前兆信号。前期冬春季出现 ENSO 暖位相时有利于入梅开始偏晚, ENSO 冷位相出现时入梅往往偏早。赵振国^[9]研究指出我国夏季雨带的位置与 ENSO 事件发生有着较好的关系,在厄尔尼诺当年我国夏季主要雨带偏南,在拉尼娜当年我国夏季主要雨带偏北。程炳岩等^[10]研究指出, Niño3 区 SST 与川渝地区降水存在较好的相关关系,在 1960—1986 年呈正相关关系, 1987—2006 年为负相关关系。

综上所述,我国学者对于青藏高原积雪与 ENSO 对我国夏季降水的异常影响分别进行了大量研究工作,但两因子之间的关系如何? 这两个因子的共同作用对我国夏季降水有什么样的影响? 对夏季各月降水影响又是怎样? 本文是在前人研究工作的基础上,首先系统研究了 ENSO 与高原积雪的关系,并重点探讨了两者共同作用下对我国夏季降水异常的影响,此外还初步分析了高原积雪与 ENSO 在相同配置的共同作用下影响我国夏季降水异常的机理。

1 资料和方法

本文所用资料主要包括:(1)美国国家环境预报中心(NCEP)的再分析资料,时间跨度为 1978 年 12 月至 2005 年 12 月,包括高空各等压面 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度格点的高度、纬向风及垂直速度 w 等要素;(2)国家气候中心提供的 1979—2005 年覆盖全中国的 160 个主要站点的夏季逐月降水资料;(3)由美国气候预测中心(CPC)提供 Niño3 区海表面温度(SST)指数资料;(4)青藏高原地区积雪资料数据来源于国家自然科学基金委员会“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc. westgis. ac. cn),时间为 1978 年 11 月至 2005 年 12 月。该积雪资料^[11]是利用美国国家冰雪数据中心(NSIDC)处理的 1978 年以来逐日被动微波遥感 SMMR(1978—1987 年)和 SSM/I(1987—2005 年)卫星资料进行反演得到的,在反演计算过程中利用了我国地面台站观测积雪深度的实测数据进行订正,并且这套资料分辨率较高,能更好地反映高原积雪的变化信息。

对于我国夏季雨带的划分参考了孙林海等^[12]对我国东部季风区夏季降水的分类,降水型分为 2 类 4 型,分别为第 1 类代表南北多中间少的降水分布形态,分别为 1a 和 1d 类雨型,1a 主要雨带在黄河流域至华北一带,1d 主要雨带在华南、江南一带;第 2 类代表南北少中间多的降水分布形态,分别为 2b 和 2c 类雨型,2b 主要雨带位于黄河与长江之间,2c 主要雨带位于长江流域一带,可以说 1a 与 2b 雨型主要雨带偏北,1d 与 2c 雨型主要雨带偏南。

本文研究中采用的方法主要有 Mann-Kendall 突变检验法、相关分析和合成分析等方法。为了讨论 ENSO 与青藏高原积雪之间的关系及对我国东

部夏季降水的影响,主要利用 1978/1979—2005 年逐日的中国雪深长时间序列数据集,计算得到 12 月至次年 5 月青藏高原主体范围(27.5°~37.5°N、80°~100°E)区域平均后经过标准化的指数,定义为青藏高原积雪深度指数(以下简称积雪指数),并分别得到冬季(12 月至翌年 2 月)和春季(3—5 月)积雪指数。此外,对 1978/1979—2005 年 9 月至次年 5 月的 Niño3 区 SST 指数进行标准化处理,定义为 Niño3 区海温距平指数(以下简称 SSTA 指数),并分别得到秋季、冬季和春季 SSTA 指数。为了清楚地表达 ENSO 与青藏高原积雪的异常程度,分别对 SSTA 指数和积雪指数的异常程度进行了定义(表 1)。

表 1 SSTA 指数与积雪指数异常程度的定义

Table 1 The definition of anomalous extent of SSTA and snow depth

指数	<-1	<-0.5	-1~-0.5	-0.5~0	0~0.5	0.5~1	>0.5	>1
SSTA	强冷事件	偏冷	略偏冷	正常偏冷	正常偏暖	略偏暖	偏暖	强暖事件
积雪	显著偏少	偏少	略偏少	正常偏少	正常偏多	略偏多	偏多	显著偏多

2 结果与讨论

2.1 ENSO 与青藏高原积雪的关系

2.1.1 ENSO 与青藏高原积雪的年代际关系

Mann-Kendall 突变检验法(M-K 方法)是一种非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,而且计算简单,可以明确突变的开始时间^[13]。积雪指数经 M-K 突变检验(图 1),UF 与 UB 两条曲线在 1993 年相交,青藏高原积雪深度在 1993 年发生突变,1993 年以前积雪偏少,在 1993 年以后高原积雪呈整体增加趋势。Min Ho Kwon 等^[14]研究也指出在 20 世纪

90 年代中期亚洲夏季环流存在突变,亚洲夏季环流的突变是否与高原积雪有关,这还需要进一步研究。

图 2 分别是 1979—2005 年冬春季积雪指数的

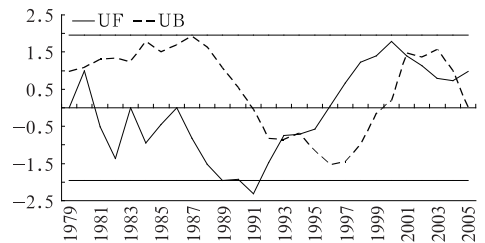


图 1 1979—2005 年积雪指数 M-K 突变检验水平实线为 $\alpha=0.05$ 显著性水平临界值

Fig. 1 The M-K abrupt test of snow depth index during 1979—2005

The solid lines indicate the 0.05 significance level

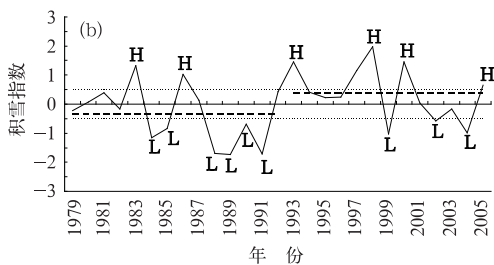
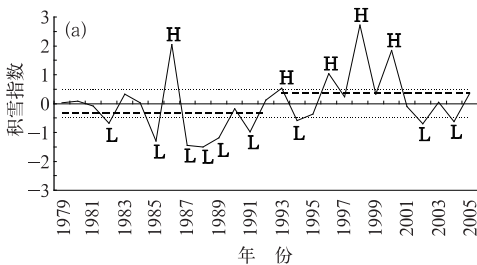


图 2 1979—2005 年冬季(a)和春季(b)积雪指数的 annual 演变曲线 H 表示积雪偏多年, L 表示积雪偏少年

Fig. 2 Annual variations of the snow depth index in (a) winter and (b) spring during 1979—2005

H and L indicate the years with heavy and light snow, respectively

年际演变曲线,由图 2a 可见,1986、1993、1996、1998、2000 年为冬季积雪偏多,其中 1993 年以后(包括 1993 年)有 4 次,1982、1985、1987、1988、1989、1991、1994、2002 和 2004 年为冬季积雪偏少,其中 1993 年以前有 6 次。由图 2b 可见,1983、1986、1993、1998、2000、2005 年为春季积雪偏多,其中 1993 年以后(包括 1993 年)有 4 次,1984、1985、1988、1989、1990、1991、1999、2002 和 2004 年为春季积雪偏少,其中 1993 年以前有 6 次。另外图 2 中长虚线分别为 1993 年以前高原积雪距平平均和 1993 以后高原积雪距平平均,可以看出冬春季高原积雪在 1993 年以前积雪偏少,在 1993 年以后积雪开始增多,从 1979—2005 年冬春季青藏高原积雪呈整体增加的年代际变化趋势。

图 3 是 1979—2005 年冬春季 SSTA 指数与积

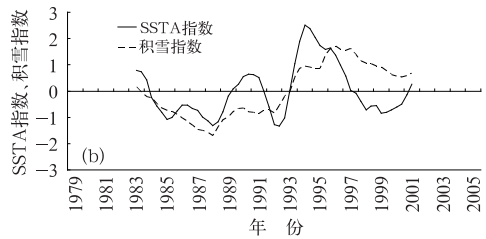
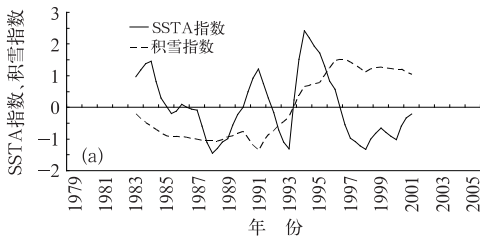


图 3 1979—2005 年冬季(a)和春季(b)SSTA 指数与积雪指数 9 年滑动的演变曲线
Fig. 3 Time series of 9-year running mean of the SSTA and snow depth indices in (a) winter and (b) spring during 1979—2005

2.1.2 ENSO 与青藏高原积雪的年际变化关系

图 4 是 1979—2005 年冬春季 SSTA 指数与积雪指数的年际演变曲线,为了更清楚地表明 SSTA 指数和积雪指数之间的年际关系特征,对于 Niño3 区 SST 偏暖(偏冷)的年份定义为 H(L),并标在同期积雪指数曲线上。在冬季 Niño3 区 SST 偏暖的 6 年里,1998 年高原积雪偏多,1983、1992 和 2003 年

为正常偏多,而 1987 年冬季高原积雪显著偏少,1995 年为正常偏少;冬季 Niño3 区 SST 偏冷的 9 年里,在 1985 和 1989 年这两年冬季高原积雪偏少,1994 和 2001 年为正常偏少,而 1986、1996 和 2000 年高原冬季积雪却显著偏多,1997 和 1999 年为正常偏多(图 4a)。可以看出冬季 Niño3 区 SST 冷暖位相与冬季高原积雪异常的对应关系并不好。在春

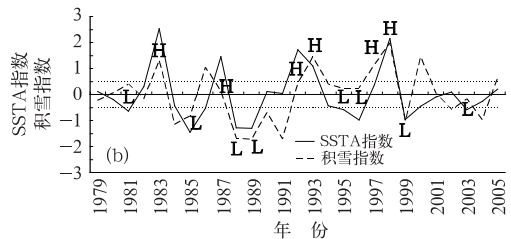
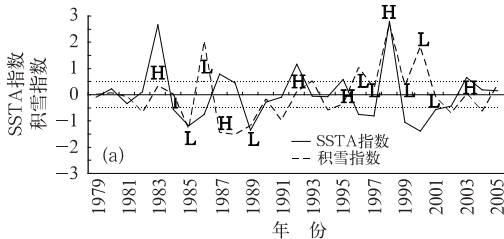


图 4 1979—2005 年冬季(a)和春季(b)SSTA 指数与积雪指数的年际演变曲线
H 表示 SST 偏暖年,L 表示 SST 偏冷年

Fig. 4 Annual variations of the SSTA and snow depth indices in (a) winter and (b) spring during 1979—2005

H and L indicate the years with warm and cold SST, respectively

季 Niño3 区 SST 偏暖的 6 年里, 1983、1992、1993、1997 和 1998 年这 5 年春季高原积雪都偏多, 1987 年高原积雪为正常偏多; 在春季 Niño3 区 SST 偏冷的 8 年里, 1985、1988、1989 和 1999 年这 4 年春季高原积雪都偏少, 2003 年为正常偏少, 而 1981、1995 和 1996 年积雪为正常偏多(图 4b)。春季 Niño3 区 SST 冷暖位相与春季高原积雪异常的对应关系比较好, 并且当春季 Niño3 区 SST 偏暖时春季积雪指数都为正值, 春季高原积雪往往都偏多。

2.1.3 ENSO 与青藏高原积雪冬季和春季的年际变化关系

图 5 是 1978/1979—2005 年冬春季逐月 SSTA 指数和积雪指数年际演变曲线。由图 5a 可见,

Niño3 区 SST 异常的持续性比较好, 一般冬季 Niño3 区 SST 偏暖(偏冷), 春季 Niño3 区 SST 也偏暖(偏冷), 对于冬季 Niño3 区 SST 为强暖状态和强冷状态这种异常的持续性会更好, 如 1983、1992 和 1998 年冬季 Niño3 区 SST 为强暖状态, 春季 SST 也为强暖状态; 1985、1989 和 1999 年冬季 Niño3 区 SST 强冷状态, 春季 SST 也为强冷状态或略偏暖。由图 5b 可见, 青藏高原积雪异常的持续性并不好, 冬季高原积雪偏多(偏少), 春季高原积雪不一定偏多(偏少)。但对于前期冬季高原积雪显著偏多的年份后期春季高原积雪也偏多, 具有一定的异常持续性。如 1986、1998 和 2000 年冬季 12—2 月积雪指数都显著偏多, 春季 3—5 月积雪也都偏多。

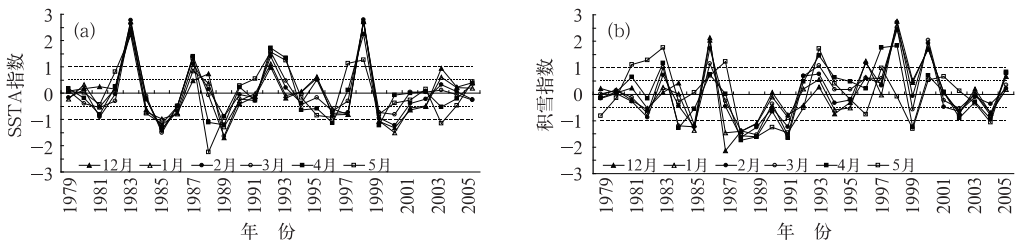


图 5 1978/1979—2005 年冬春季逐月 SSTA 指数(a)和积雪指数(b)年际演变曲线

Fig. 5 Annual variations of the monthly (a) SSTA and (b) snow depth indices in winter and spring during 1979—2005

为了讨论前期和同期的 SSTA 指数与积雪指数的关系, 分别计算 1978/1979—2005 年前期秋季和同期冬、春季 SSTA 指数与积雪指数之间的相关系数(表 2)。由表 2 可见, 冬季积雪指数与前期秋季和同期冬季 SSTA 指数相关并不好; 而春季积雪指数与前期冬季和同期春季的 SSTA 指数相关比较好, 尤其是与同期春季 SSTA 指数相关系数可以通过 0.01 显著性检验。

表 2 1978/1979—2005 年前期秋季和同期冬、春季 SSTA 指数与积雪指数之间的相关系数
Table 2 Correlations between SSTA and snow depth indices during 1978/1979—2005

季节	SSTA 指数		
	秋季	冬季	春季
冬季	0.170	0.175	
春季	0.321	0.381	0.588

注: 粗斜体表示通过 0.05 显著性水平检验
Bold italic indicates passing through the test at 0.05 significance level

2.1.4 ENSO 与青藏高原积雪的月时间尺度关系

为了进一步说明在月时间尺度上 ENSO 与青

高原积雪两者之间的关系, 分别用 1978/1979—2005 年 9 月至次年 5 月前期秋季和同期冬、春季逐月的 SSTA 指数与积雪指数逐月计算两者之间的相关系数(表 3)。从表 3 可看出, 冬季 12 月至次年 2 月积雪指数与前期和同期的 SSTA 指数相关并不好, 所有组合都没有通过 0.05 显著性水平检验, 说明冬季高原积雪与前期和同期 Niño3 区 SST 是相对独立的两个因子。春季 3 和 4 月积雪指数与前期冬季的 SSTA 指数相关较好, 部分可以通过 0.05 的显著性水平检验, 3、4 和 5 月的积雪指数分别与前一个月和同期的 SSTA 指数有比较好的相关性, 尤其是 3、4 和 5 月积雪指数与同期的 3、4 和 5 月 SSTA 指数之间的相关系数很高, 都可以通过 0.01 的显著性水平检验。

综上所述, 无论是从季节时间尺度还是从月时间尺度来看, 冬季积雪指数与前期和同期的 SSTA 指数相关性并不好, 可以认为冬季青藏高原积雪与 Niño3 区 SST 是两个相对独立的因子; 而对于春季积雪指数, 它与前期冬季和同期春季 SSTA 指数有着比较好的相关性, 尤其是与同期春季 SSTA 指数

表 3 同表 2, 但为月指数

Table 3 Same as Table 2, but for monthly indices

月份	SSTA 指数								
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
12 月	0.092	0.090	0.091	0.095					
1 月	0.141	0.166	0.170	0.169	0.147				
2 月	0.190	0.269	0.291	0.282	0.280	0.332			
3 月	0.236	0.351	0.382	0.378	0.365	0.395	0.498		
4 月	0.216	0.332	0.381	0.385	0.369	0.352	0.455	0.565	
5 月	0.073	0.150	0.177	0.210	0.202	0.194	0.320	0.475	0.543

注:粗斜体表示通过 0.05 显著性水平检验

Bold italic indicates passing through the test at 0.05 significance level

之间,具有很好的相关性。

2.2 ENSO 与青藏高原积雪异常的共同作用对我国夏季雨带的影响

2.2.1 ENSO 与我国夏季雨带的关系

表 4 是 1979—2005 年冬春季 SSTA 指数和积雪指数与夏季雨带的分布统计,由表 4 可见,当冬春季 Niño3 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 Niño3 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 Niño3 区 SST 为强暖事件(强冷事件)时,夏季雨带一般偏南(偏北)。

下面从月时间尺度来看前期 ENSO 对我国东部地区夏季雨带的影响,分别对长江以南地区($20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$)范围内 32 个站点的夏季 6、7 和 8 月降水做平均,定义为南方降水指数,计算前期

冬春季逐月 SSTA 指数与夏季逐月南方降水指数之间的相关系数(表 5),由表 5 可见,前期冬春季逐月 SSTA 指数与 6 月南方降水指数之间为正相关,其中 3 和 4 月的相关比较好;前期冬季 SSTA 指数与 7 月南方降水指数之间为负相关,春季 SSTA 指数与 7 月南方降水指数之间为正相关,其中在 5 月 SSTA 指数与 7 月南方降水指数之间的相关关系要比其他月的相对要好;前期冬春季 SSTA 指数与 8 月南方降水指数之间都为负相关,其中 2、3 和 4 月 SSTA 指数与 8 月南方降水指数之间相关比较好。可以推论得到,冬春季 Niño3 区 SST 偏暖(偏冷),长江以南地区 6 月降水偏多(偏少),并且 Niño3 区春季 SST 对长江以南地区 6 月与 7 月的降水的影响要比冬季明显,而冬春季 Niño3 区 SST 偏暖(偏冷),长江以南地区 8 月降水偏少(偏多)。

表 4 1979—2005 年冬春季 SSTA 指数和积雪指数与夏季雨带的分布统计

Table 4 Occurrences of rainfall regime according to anomalies of Niño3 SSTA and QXP snow depth indices during 1979—2005

指数	夏季雨带偏北比例				夏季雨带偏南比例	
	<-1	-1~-0.5	-0.5~0	0~0.5	0.5~1	>1
冬季 SSTA	3/4	1/5	2/7	1/5	1/3	2/3
春季 SSTA	3/3	3/6	3/6	4/7	/	4/5
冬季积雪	3/4	2/5	2/4	4/9	1/1	3/4
春季积雪	3/4	2/5	3/3	5/8	0/1	5/6

表 5 1978/1979—2005 年冬春季逐月 SSTA 指数与夏季南方降水之间的相关系数

Table 5 Correlations between monthly SSTA index and rainfall over southern China during 1978/1979—2005

月份	SSTA 指数					
	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
6 月	0.366	0.351	0.362	0.392	0.419	0.328
7 月	-0.182	-0.117	-0.054	0.081	0.146	0.346
8 月	-0.371	-0.365	-0.402	-0.387	-0.432	-0.336

注:粗斜体为通过 0.05 显著性水平检验

Bold italic indicates passing through the test at 0.05 significance level

2.2.2 青藏高原积雪与我国夏季雨带的关系

上面已经讨论过冬春季青藏高原积雪在 1993 年以前积雪偏少, 在 1993 年以后高原积雪呈整体增加趋势, 对比我国夏季雨带的分布, 在 1993 年以前的 14 年里偏北类雨型总共有 9 年, 占 64%, 1993 年以后的 13 年里偏南类雨型总共有 8 年, 占 62%, 可以看出随着青藏高原积雪的增加, 我国夏季雨带逐

渐偏南。另外, 从表 4 可以看出, 当冬春季高原积雪为正常偏多(正常偏少)的年份或者略偏多(略偏少)的年份, 夏季雨带与高原积雪对应关系也并不显著, 主要雨带偏北和偏南的概率相当, 当冬春季高原积雪显著偏多(显著偏少)的年份, 夏季雨带一般偏南(偏北)。

表 6 同表 5, 但为积雪指数与夏季南方降水指数之间的相关系数

Table 6 The same as Table 5, but for correlations between QXP snow depth index and rainfall over southern China

月份	积雪指数					
	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
6 月	0.399	0.417	0.431	0.559	0.589	0.340
7 月	0.013	0.125	0.219	0.244	0.354	0.266
8 月	-0.112	-0.134	-0.208	-0.173	-0.190	-0.180

注: 粗斜体为通过 0.05 显著性水平检验

Bold italic indicates passing through the test at 0.05 significance level

另外, 从月时间尺度来看, 计算前期冬春季逐月积雪指数与夏季逐月南方降水指数之间的相关系数(表 6), 由表 6 可见, 前期冬春季逐月积雪指数与 6 和 7 月南方降水指数都为正相关, 其中 12 月至次年 4 月的积雪指数与 6 月南方降水指数之间的相关关系比较好, 特别是春季 3 和 4 月积雪指数与 6 月南方降水指数之间的相关系数可以通过 0.01 的显著性检验。此外, 3、4 和 5 月积雪指数与 7 月南方降水指数相关性与冬季相比相对较好。前期冬春季逐月积雪指数与 8 月南方降水指数之间都为负相关。说明前期高原冬春季积雪偏多(偏少), 长江以南地区 6 和 7 月降水偏多(偏少), 而对于 8 月则是相反的, 此外还可以看到高原春季积雪对长江以南地区 6 和 7 月降水影响要强于冬季。

2.2.3 ENSO 与青藏高原积雪异常的共同作用对我国夏季雨带的影响

图 6 是 1979—2005 年冬春季 SSTA 指数与积雪指数的散点分布图。图 6a 是冬季 SSTA 指数与积雪指数散点分布, 第一象限夏季偏南雨型年占 3/6, 其中只有 1998 年一年为冬季 Niño3 区 SST 强暖事件与高原积雪显著偏多的配置, 夏季主要雨带偏南, 其余为冬季 SST 略偏暖或正常偏暖与高原积雪略偏多或正常偏多的年份, 夏季雨带偏南偏北的概率相当; 第三象限夏季偏北雨型年占了 3/8, 其中有 1985 和 1989 年两年为冬季 Niño3 区 SST 强冷事件与高原积雪显著偏少的配置, 夏季主要雨带都偏北, 其余为冬季 Niño3 区 SST 略偏冷或正常偏冷

与高原积雪略偏少或正常偏少的年份, 夏季雨带偏南年占 5/6。图 6b 是春季 SSTA 指数与积雪指数散点分布, 第一象限偏南雨型年占 5/7, 其中 1983、1993 和 1998 年三年为春季 Niño3 区 SST 强暖事件与高原积雪显著偏多的配置, 这三年夏季主要雨带都偏南, 其余为春季 Niño3 区 SST 略偏暖或正常偏暖与高原积雪略偏多或正常偏多的年份, 夏季雨带偏南偏北的概率相当; 第三象限偏北雨型占了 6/7, 其中有 1988 和 1989 年两年为春季 Niño3 区 SST 强冷事件与春季高原积雪显著偏少的配置, 并且夏季主要雨带都偏北, 其余为春季 Niño3 区 SST 略偏冷或正常偏冷与高原积雪略偏少或正常偏少的年份, 大部分年份夏季雨带偏北。此外, 从图 6 还可以看到, 对于在第二象限(第四象限)也就是前期冬春季 Niño3 区 SST 偏暖或正常偏暖(偏冷或正常偏冷)与高原积雪偏少或正常偏少(偏多或正常偏多)的配置下我国夏季雨带的分布并不好确定, 我国夏季雨带可能偏北也可能偏南。

综上所述, 当 Niño3 区 SST 与青藏高原积雪共同作用时, 前期冬春季 SST 略偏暖或正常偏暖(略偏冷或正常偏冷)与积雪略偏多或正常偏多(略偏少或正常偏少)的配置下, 夏季雨带往往具有不确定性, 主要雨带偏北和偏南的概率相当; 当前期冬春季 SST 偏暖或正常偏暖(偏冷或正常偏冷)与积雪偏少或正常偏少(偏多或正常偏多)的配置下, 夏季雨带的分布也并不好确定。只有当前期冬春季 Niño3 区 SST 为强暖(强冷)事件与高原积雪显著偏多(显

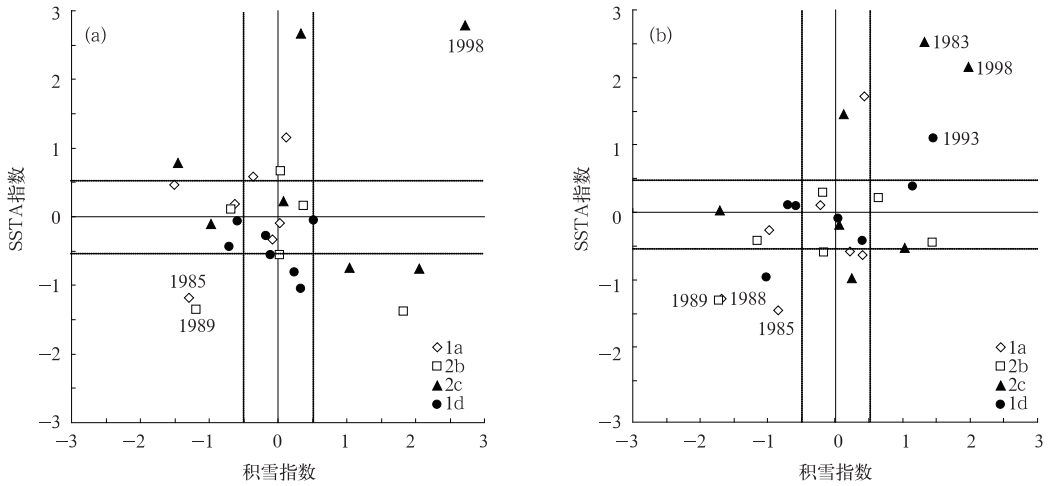


图 6 1979—2005 年冬季(a)和春季(b)SSTA 指数与积雪指数的散点分布图

其中菱形为 1a 雨型,正方形为 2b 雨型,三角形为 2c 雨型,圆形为 1d 雨型

Fig. 6 Scatterplots of SSTA and snow depth indices in (a) winter and (b) spring during 1979—2005

diamond-type indicates rainfall regime 1a, square 2b, triangle 2c, and round 1d

著偏少)的配置下,我国东部夏季雨带往往偏南(偏北)。

2.3 青藏高原积雪与 ENSO 影响夏季降水机理的初步分析

前面已经讨论过春季 Niño3 区 SST 与高原积雪对长江以南地区 6 和 7 月降水影响更为重要,并且前期春季 Niño3 区 SST 强暖(强冷)事件与高原积雪显著偏多(显著偏少)的配置下,我国东部夏季雨带往往偏南(偏北)。根据再分析资料,对前期春季 Niño3 区 SST 强暖事件与高原积雪显著偏多配置(简称共同强正异常年)的 1983、1993 和 1998 年 3 年进行合成,对前期春季 Niño3 区 SST 强冷事件

与高原积雪显著偏少配置(简称共同强负异常年)的 1985(春季高原积雪接近于显著偏少)、1988 和 1989 年 3 年进行合成,分析前期春季 Niño3 区 SST 强暖(强冷)事件与高原积雪显著偏多(显著偏少)配置下的夏季对流层中低层的环流背景。图 7 是 1979—2005 年春季 Niño3 区 SSTA 与青藏高原积雪共同作用下夏季 500 hPa 高度场的合成。由图 7a 可见,共同强正异常年对应的夏季 500 hPa 环流场合成,副热带高压偏西,其中 587 dagpm 等高线西伸至 110°E 左右的陆地上。廖荃荪等^[15]指出西太平洋副热带高压强度和位置的变化是影响我国夏季雨带分布最重要的因素之一,对我国东部夏季降水的影响很大。在这种西太平洋副热带高压西伸的环流形势

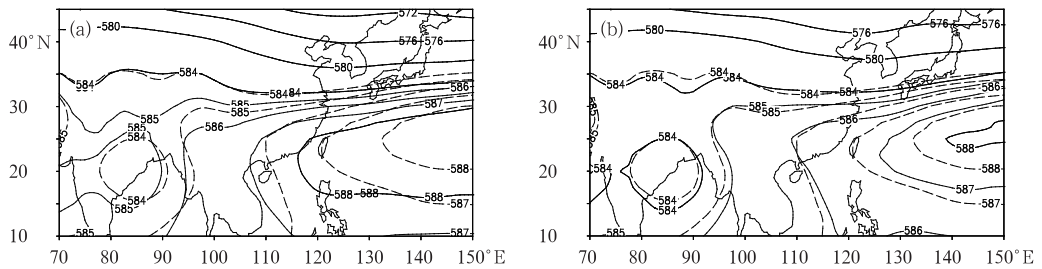


图 7 春季 Niño3 区 SST 与青藏高原积雪共同作用下夏季 500 hPa 高度场的合成(单位:dagpm)

(a) SSTA 和积雪均为强正异常,(b)SSTA 和积雪均为强负异常

虚线为 1979—2005 年的气候平均

Fig. 7 Composites of summer 500 hPa geopotential height by different phase coupling of the Niño3 SST and QXP snow depth in spring (unit:dagpm), (a)strong warm SST and heavy snow, (b)strong cold SST and light snow

Dashed line indicates the climate mean during 1979—2005

下,沿副热带高压西侧的偏南气流可以从海面上带来充沛的水汽,有利于夏季南方地区降水,使我国夏季雨带偏南。由图 7b 可见,共同强负异常年对应的夏季 500 hPa 环流场合成,副热带高压偏东,587 dagpm 等高线东退至 125°E 左右的海洋上,这种环流形势不利于从海上来水汽向南方地区输送,使我国夏季南方降水偏少。

下面分别取高原主体的北边界 (37.5°N) 和南边界 (27.5°N),并且用共同强正异常年相减共同强负异常年,讨论春季 Niño3 区 SST 强暖(强冷)事件与高原积雪显著偏多(显著偏少)的配置下夏季垂直纬圈环流特征。图 8 是春季 Niño3 区 SST 与青藏高原积雪共同作用下夏季沿 37.5°N 的垂直纬圈环流。由图 8 可见,沿 37.5°N 纬圈在高原西部和东部为相对下沉运动,高原中部为相对上升运动,在 $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 的我国北方地区从 300~800 hPa 共同强正异常年相对于共同强负异常年存在深厚的相对下沉运动,这不利于我国北方地区降水,可见共同强正异常年夏季北方偏干少雨。夏季沿 27.5°N 垂直纬圈环流(图略),高原整体为相对下沉运动,在东部 $100^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 的我国长江以南地区从 300~700 hPa 为深厚的相对上升运动,这种形势有利于我国长江以南地区降水,共同强正异常年我国南方降水偏多,雨带偏南。可以看出,共同强正异常年在我国北方为下沉运动,使我国北方夏季干旱少雨,在我国南方则为上升运动,有利于降水,使我国南方夏季多雨,共同强负异常年则与之相反。

3 结 论

本文利用 1979—2005 年 Niño3 区海温时间序列资料和中国雪深时间序列资料,分析研究了 ENSO 与高原积雪的关系,以及两者共同作用下对我国夏季降水的异常影响;还初步分析了高原积雪与 ENSO 影响我国夏季降水异常的机理。得到的主要结论如下。

(1) 青藏高原积雪深度在 1993 年发生突变,1979—2005 年青藏高原冬春季积雪呈现整体增加的年代际变化趋势。对比冬春季 SSTA 指数与积雪指数年代际关系,可以看出春季 SSTA 指数与积雪指数年代际变化具有一致性。

(2) Niño3 区 SST 异常持续性比较好;青藏高原积雪异常持续性并不好,但前期冬季积雪显著偏多时,春季高原积雪也往往偏多。另外,无论是从季节时间尺度还是从月时间尺度来看,冬季积雪指数与前期和同期的 SSTA 指数相关性不好;而对于春季积雪指数,它与前期冬季和同期春季 SSTA 指数有着比较好的相关性,尤其与同期春季 SSTA 指数相关最好,春季 Niño3 区 SST 偏暖时春季高原积雪往往都偏多。

(3) 前期冬春季逐月 Niño3 区 SST 和高原积雪与长江以南地区 6 月的降水都为正相关,与 8 月降水都为反相关,另外,春季逐月 Niño3 区海温和冬春季逐月高原积雪与长江以南地区 7 月也为正相关。说明 ENSO 与青藏高原冬春季积雪对我国长江以南地区夏季降水异常的影响在各个月份是不一致的。

(4) 当冬春季 Niño3 区 SST 为强暖事件(强冷事件)的年份,夏季雨带一般偏南(偏北);当冬春季高原积雪显著偏多(显著偏少)的年份,夏季雨带也一般偏南(偏北)。说明在强 ENSO 事件或强高原积雪异常的背景下,前期 ENSO 或者高原积雪异常对我国夏季雨带影响是很显著。尤其是两种强异常叠加一起时,即前期冬春季 Niño3 区 SST 为强暖(强冷)事件与高原积雪显著偏多(显著偏少)共同作用的配置下,夏季雨带往往偏南(偏北)。说明只有当冬春季达到强 ENSO 事件和高原积雪显著异常的共同作用下,对我国夏季雨带的影响最为显著。

(5) 当前期春季 Niño3 区 SST 强暖事件与高原积雪显著偏多的配置下,我国北方地区为下沉运

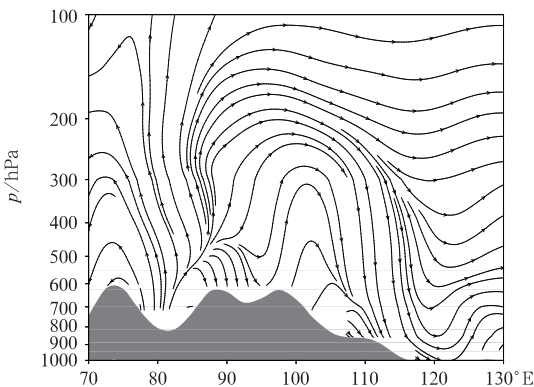


图 8 春季 Niño3 区 SST 与青藏高原积雪共同作用下夏季沿 37.5°N 的垂直纬圈环流
共同强正异常年减去共同强负异常年

Fig. 8 Difference of the vertical-zonal circulation along 37.5°N between years with warm SST and heavy snow and with cold SST and light snow

动,使我国北方地区夏季干旱少雨,在我国南方地区为上升运动,并且副热带高压偏西,有利于向我国南方地区输送水汽,使夏季雨带偏南;当前期春季 Niño3 区 SST 强冷事件与高原积雪显著偏少的配置下,我国北方为上升运动,我国南方地区为下沉运动,并且副热带高压偏东,使夏季雨带偏北。

参考文献

- [1] 赵振国,等.影响中国汛期降水和长江流域旱涝的主要物理因素的综合分析[C]//1998年特大暴雨(洪涝)学术研讨会论文摘要汇编.北京:中国气象学会,1999.
- [2] 肖子牛.我国短期气候监测预测业务进展[J].气象,2010,36(7):21-25.
- [3] 刘晓东.冰雪变化对大气环流和天气气候的影响[J].地球科学进展,1989,4(6):53-56.
- [4] 朱玉祥,丁一汇,徐怀刚.青藏高原大气热源和冬春积雪与中国东部降水的年代际变化关系[J].气象学报,2007,65(6):946-958.
- [5] 韦志刚,陈文,黄荣辉.青藏高原冬春积雪异常影响中国夏季降水的数值模拟[J].高原山地气象研究,2008,28(1):1-7.
- [6] 宋文玲,袁景凤,陈兴芳.冬季高原积雪异常与1998年长江洪水关系的分析[J].气象,2000,26(2):11-14.
- [7] 朱益民,杨修群,陈晓颖,等. ENSO 与中国夏季年际气候异常关系的年代际变化[J].热带气象学报,2007,23(2):105-116.
- [8] 汪靖,何金海,刘宣飞,等.江淮入梅异常的强信号及其对入梅的影响[J].气象,2008,34(6):35-40.
- [9] 赵振国.中国夏季旱涝及环境场[M].北京:气象出版社,1999:8-9.
- [10] 程炳岩,郭渠,孙卫国.川渝地区降水变化与 Niño3 区 SST 的关系及其稳定性分析[J].气象,2010,36(3):27-33.
- [11] Che Tao, Li Xin, Jin Rui, et al. Snow depth derived from passive microwave remote-sensing data in China[J]. Annals of Glaciology,2008,49:145-154.
- [12] 孙林海,赵振国,许力,等.中国东部季风区夏季雨型的划分及其环流成因分析[J].应用气象学报,2005,16(增刊):56-62.
- [13] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:63-66.
- [14] Min Ho Kwon, Jong-Ghap Jhun, Kyung-Ja Ha. Decadal change in east Asian summer monsoon circulation in the mid-1990s[J]. Geophysical Research Letters,2007,34:1-6.
- [15] 廖荃荪,赵振国.7—8月西太平洋副热带高压的南北位置异常变化及其对我国天气的影响[M]//章基嘉,黄荣辉.长期天气预报和日地关系研究.北京:海洋出版社,1992:131-139.