

程肖侠,方建刚,雷向杰. 陕西盛夏极端降水频次及其与全球海温的遥相关研究[J]. 干旱气象,2014,32(1):38-45, [CHENG Xiaoxia, FANG Jiangang, LEI Xiangjie. Analysis on the Frequency of Extreme Precipitation in Midsummer in Shaanxi and Its Teleconnection with Global Sea Surface Temperature[J]. Journal of Arid Meteorology , 2014 , 32(1):38-45], doi:10.11755/j. issn. 1006 - 7639(2014) - 01 - 0038

陕西盛夏极端降水频次及其 与全球海温的遥相关研究

程肖侠,方建刚,雷向杰

(陕西省气候中心,陕西 西安 710015)

摘要: 基于陕西省78个测站1961~2011年盛夏逐日降水量资料以及NOAA全球 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 海温场资料,分析了陕西盛夏极端降水事件气候特征及其与海温场的遥相关关系。结果表明:(1)盛夏,陕西南部、关中西部及陕北南部是极端降水事件高发区;(2)近年来盛夏极端降水事件呈上升趋势,1976年后显著上升;(3)极端降水事件与前期海温场具有较好的遥相关关系,与同期(同月)海温场相关性不显著;(4)上年秋季、冬季赤道中东太平洋和上年秋季阿拉伯海海温异常偏暖,赤道中东太平洋南北两侧海温偏冷,以及前期2月印度洋和中国近海海温异常偏暖,关中东部及陕南中东部局地7月极端降水偏多,反之亦然;上年秋季印度洋和赤道东太平洋、上年冬季及当年春季印度洋西部海温异常偏暖,关中中西部地区8月极端降水偏多,反之亦然。

关键词: 陕西;极端降水;海温;遥相关;概念模型

文章编号: 1006-7639(2014)-01-0038-08 doi:10.11755/j. issn. 1006 - 7639(2014) - 01 - 0038

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

引言

极端降水是一种灾害性很强的气候事件,近年来,因极端降水事件造成重大经济损失的现象在世界各地愈演愈烈^[1-2],其诱发的洪涝、滑坡、泥石流等灾害对自然和社会的冲击远大于气候平均变化带来的影响,有关极端降水的研究也越来越受到各界学者的关注^[3-4]。陕西是北方多暴雨的地区之一^[5],暴雨等极端降水事件引发的洪涝占各灾种总记录的比例最高(达29%),造成的年均经济损失最重,超过91.012万元,死亡人数最多,年均83人,是陕西主要气象灾害之一^[6]。随着西北地区大部降水量的显著增加^[7],极端降水的变化特征^[8]及其准确预测越来越成为社会各界关注的焦点,准确掌握其预测信息,及时做好防汛防洪等防灾减灾工作,减少强降水引发的次生灾害造成的人员伤亡和经济损失是目前气象和防汛部门的重点工作之一。

众所周知,海温是影响短期气候预测重要的外强迫因子^[9-10],大尺度海气耦合相互作用是影响气候

形成及变化的重要影响因素。赵强等^[11]研究表明当前期秋、冬赤道中东太平洋海温偏高,副高偏强、偏西,陕西夏季降水偏多;魏峰等^[12]指出西北地区7~9月上旬降水场的分布与同期、前期冬、春季北太平洋海温分布型之间有较好的对应关系。已有研究^[13-15]表明,赤道太平洋、印度洋以及南海等海区海洋热状况的改变对中国气候有明显的影响。罗伯良等^[13]认为春季印度洋、赤道中东太平洋和黑潮海温是湖南主汛期旱涝变化的重要短期气候预测信号;沈玉敏等^[14]分析了辽宁春季透雨与海温的相关关系;吴国雄等^[15]利用历史观测数据研究表明赤道印度洋与东太平洋SST年际变化有显著正相关,表明全球各海区之间海温变化并非完全独立。目前,陕西短期气候预测业务中海温影响陕西气候的关键海区主要参考现有研究成果中影响中国气候的关键海区,专门针对陕西省短期气候预测业务中海温与气候之间的研究工作相对匮乏,尤其是极端降水事件与海温的遥相关研究工作少见,所以本文试图研究全球海温与陕西极端

收稿日期:2013-08-05;改回日期:2013-10-17

基金项目:陕西省气象局科技创新基金项目(2012M-5)和中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-04-07)共同资助

作者简介:程肖侠(1980-),女,工程师,主要从事气候预测与气候变化研究工作. E-mail:shuixiaoyue@hotmail.com

降水事件的遥相关关系,该研究是短期气候预测业务重要的一项基础工作,为陕西省极端降水短期气候预测提供有力的理论支撑。

1 资料与方法

本文使用陕西省78个测站1961~2011年盛夏(7~8月)逐日降水资料以及同年NOAA全球逐月 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 海温格点资料。

采用百分位阈值方法确定78个测站的极端降水事件阈值,获取各测站的极端降水序列,具体方法是:把1981~2010年逐年非0日降水量序列的第95个百分位值的30 a均值定义为极端降水事件的阈值,当某站某日降水量超过极端降水事件阈值时,就称之为极端降水事件。参照Bonsal方法,若某个气象要素有n个值,将其按升序排列 x_1, x_2, \dots, x_m ,某个值 $\leq x_m$ 的概率为^[16]:

$$P = (m - 0.31)/(n + 0.38) \quad (1)$$

式(1)中,m为 x_m 的序号,n为气象要素值的个数,如果有30个值,那么第95个百分位上的值为排序后的 x_{29} ($P=94.4\%$)和 x_{30} ($P=97.7\%$)的线性插值。

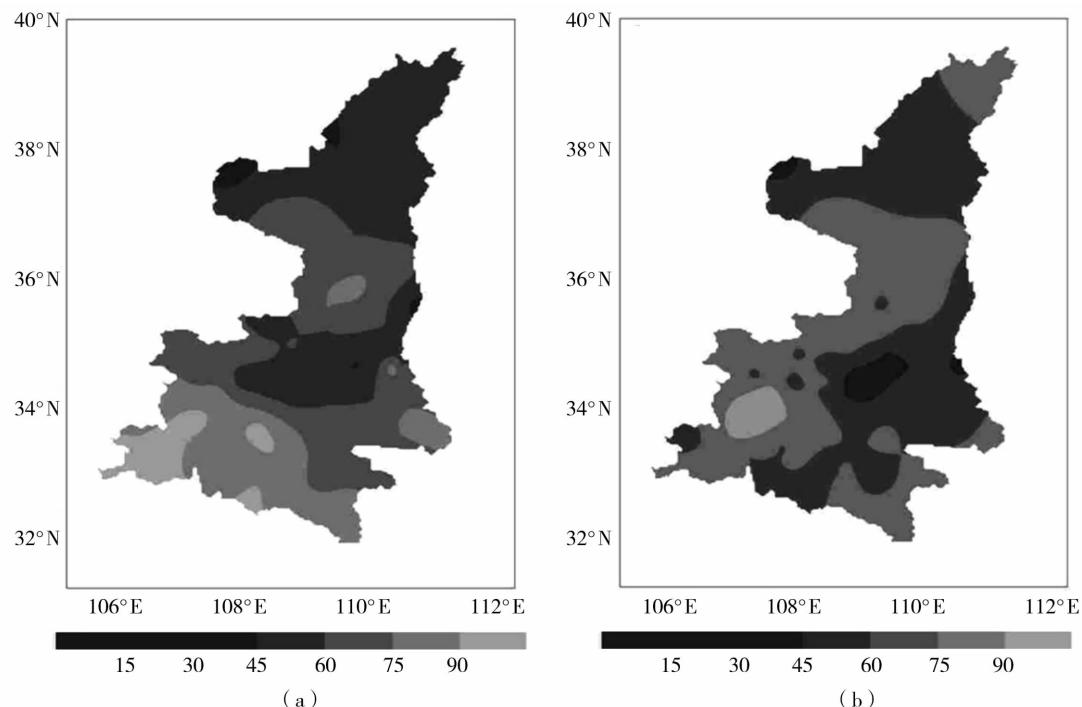


图1 1961~2011年盛夏7月(a)、8月(b)极端降水频次空间分布(单位:次)

Fig. 1 Spatial distributions for the frequencies of extreme precipitation in July (a) and August (b) during 1961–2011 in Shaanxi Province

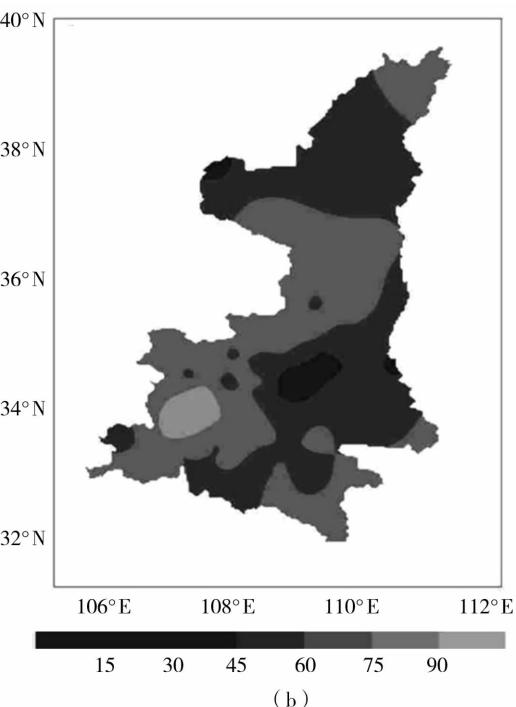
1961~2011年极端降水频次趋势系数表明(图2),7月陕北西部局地、关中西部局地以及陕南东部

运用趋势分析、Mann-Kendall等方法,研究陕西盛夏极端降水频次的时空分布特征。

采用奇异值分解方法(SVD)^[17],分别对7月、8月极端降水事件与前期及同期海温场进行SVD分析,获取影响陕西盛夏极端降水频次的海温关键区以及关键影响时段。针对7月而言,前期定义为上年秋季和冬季、当年春季以及上年8月和当年6月,同期表示当年7月;针对8月而言,前期定义为上年秋季、冬季、当年春季以及当年6月和7月,同期表示当年8月。

2 陕西盛夏极端降水频次时空特征

1961~2011年近50 a内,陕西各站7月共出现极端降水事件的累计频次为39~105次,8月为36~50次。7月,陕南、关中西部、陕北南部是极端降水多发区,50 a累计频次为60~100次,陕北北部、关中中部和中东部偏北区域是低发区,累计频次多在45~60次(图1a);8月,关中西部、陕北南部以及陕南大部是极端降水多发区,累计频次多在60~75次,最大累计频次低于7月,关中中东部、陕南东部局地以及陕北北部大部是低发区,为45~60次(图1b)。



极端降水频次呈增加趋势,其中陕南东南部增加趋势显著,增加幅度为0.18~0.36 d/10 a,其余地区

呈减少趋势;8月,陕北北部大部、关中东部局地极端降水频次减少,其余地区均增加,关中、陕南大部增加趋势为 $0.1\sim0.26\text{ d}/10\text{ a}$ 。

极端降水频次年际变化及其Mann-Kendall统计量显示,1961~2011年陕西盛夏极端降水频次整体呈上升趋势,但上升趋势不显著,近50 a来线性增长幅度为 $0.07\text{ d}/10\text{ a}$,且年代际特征明显,其中20世纪70、80年代及进入21世纪以来极端降水频次偏高(图3a)。结合UF和UB2条曲线

看(图3b),盛夏极端降水频次在1976年后发生1次突变,出现转折性突增现象,Mann-Kendall统计检验表明这种转折性增加趋势在20世纪80年代后期达到99%显著性检验,之后极端降水频次变化较平稳,至2005年又出现1次突变性增加趋势,但较1976年增加趋势相对较弱。随着极端降水频次增加,盛夏极端降水量也呈增加趋势,两者之间有显著的正相关关系,相关系数为0.47,通过99%显著性检验。

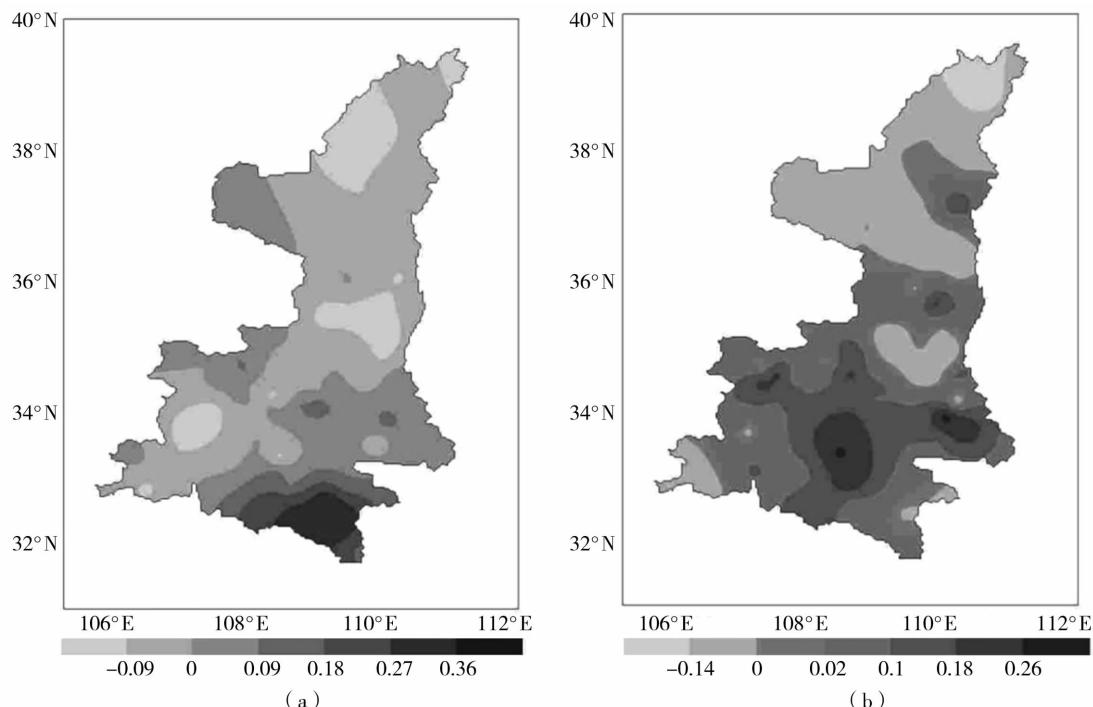


图2 1961~2011年盛夏7月(a)、8月(b)极端降水频次变化趋势分布(单位: $\text{d}/10\text{ a}$)

Fig. 2 The change trends for the frequencies of extreme precipitation in July (a) and August (b) during 1961–2011 in Shaanxi Province (Unit: $\text{d}/10\text{ a}$)

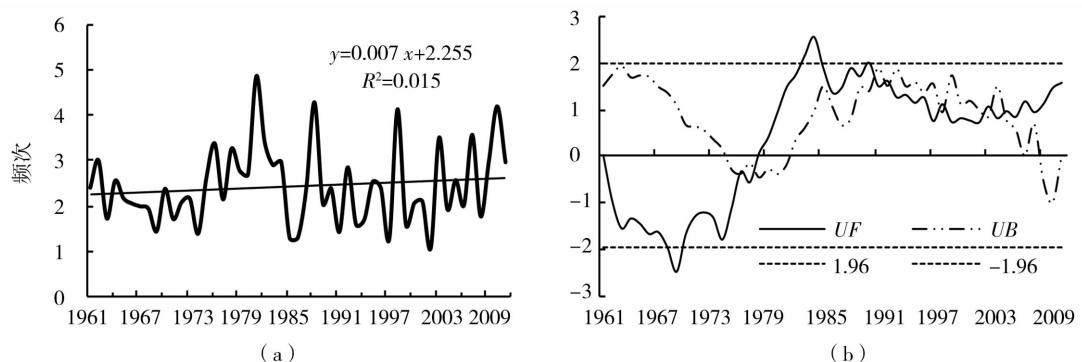


图3 1961~2011年盛夏极端降水频次的年际变化(a)和Mann-Kendall统计量(b)

Fig. 3 Annual change (a) and Mann-Kendall test (b) of the frequency for extreme precipitation in midsummer from 1961 to 2011

3 极端降水与全球海温的遥相关关系

3.1 海温关键期的选取

盛夏7、8月极端降水频次与前期及同期SSTA场SVD分析结果表明,第二模态方差贡献率均<15%,所以本文只讨论SVD第一模态特征。

盛夏各月极端降水与同期及前期海温SVD遥相关分析第一模态方差贡献率及相关系数见表1。可以看出,7月极端降水与上年秋、冬季各月海温场的SVD第一模态方差贡献率均在45%以上,相关系数均达到0.6以上,通过99%的显著性检验;春季5

月至夏季8月各月SVD第一模态方差贡献率在32%~41%,大部分月份低于40%。可见,上年秋、冬季海温场与7月极端降水场的关系相对最显著,并且第一模态表征了2个要素场耦合关系的绝大部分信息。所以,上年秋季和冬季海温场是影响当年7月极端降水场的主要时段。除当年夏季外,8月份极端降水场与上年秋冬季和当年春季各月海温场的SVD第一模态方差贡献率均在40%以上,且相关系数达到0.5(通过99%显著性检验),因此,选取上年秋季、冬季及当年春季海温场为影响当年8月极端降水场的主要影响时段。

表1 极端降水与海温第一模态的平方协方差贡献率及相关系数

Tab. 1 Covariance contributions of the first SVD mode and the correlation coefficients between the frequencies of extreme precipitation and SSTA

季节	当年春季				夏季				上年秋季				上年冬季	
	月份	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
7月	方差贡献率/%	47.85	43.28	35.97	0.32	0.34	0.41	46.74	47.71	45.35	46.76	49.01	50.37	
	相关系数	0.62	0.64	0.65	0.59	0.66	0.65	0.66	0.64	0.63	0.61	0.62	0.66	
8月	方差贡献率/%	43.96	44.03	41.24	0.37	0.40	0.39	42.1	41.96	43.15	43.43	40.76	43.78	
	相关系数	0.52	0.52	0.53	0.52	0.55	0.54	0.53	0.55	0.56	0.55	0.55	0.55	

注:针对7月而言,夏季各月分别是当年6、7月和上年8月,针对8月而言,夏季是当年夏季

3.2 海温关键区的选取

7月,陕西极端降水事件与上年秋季各月全球

海温场之间SVD第一耦合模态相关分布(图4上)表明,陕西7月极端降水事件场除陕北北部呈现负

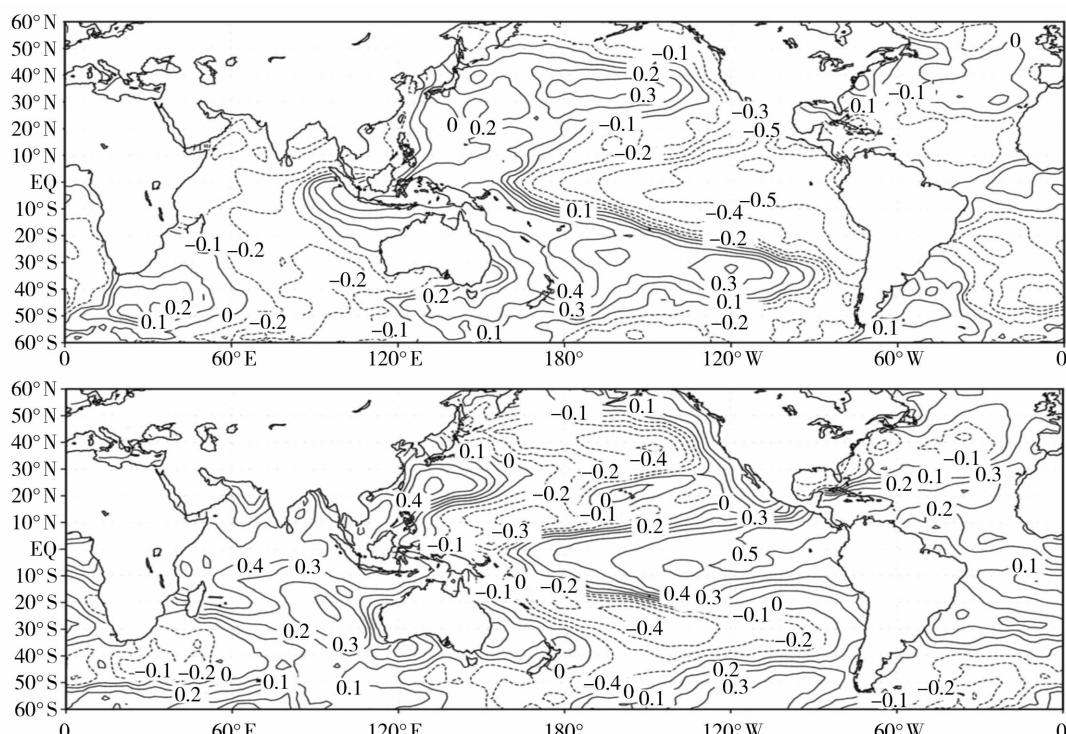


图4 10月(上)、2月(下)海温场与7月极端降水场的SVD第一模态相关分布

Fig. 4 The first SVD mode between SST in October (the top), February (the bottom) and extreme precipitation in July

相关外,其余地区均呈现一致的正相关分布,相关最显著的区域位于关中中东部、陕南中东部地区(相关系数 >0.3)。上年秋季各月(以10月为例)全球SSTA场由北至南基本呈现明显的“负—正—负”分布特征,赤道中东太平洋为显著的正异常区域,相关系数 >0.6 ,其北侧及西南侧海域为显著负相关区域,相关系数 >0.4 ;此外,阿拉伯海海域为明显正异常区域。结合其时间系数演变曲线可看出(图略),2个场之间变化趋势非常一致,模态相关达0.6,表明上年秋季赤道中东太平洋、阿拉伯海海温处于异常偏暖(冷)状态,其北侧、尤其是其西南侧海域海温处于异常偏冷(暖)分布时,陕西关中中东部、陕南中东部地区极端降水事件具有偏多(少)倾向。可见,上年秋季太平洋海温及阿拉伯海海温异常对预测当年盛夏7月陕西关中中东部及陕南中东部地区极端降水事件具有相对明确的指示意义。

7月陕西极端降水事件与上年冬季各月海温场之间SVD第一耦合模态相关分布(图4下)可见,极端降水相关场分布的显著相关区域亦为关中中东部及陕南中东部地区,海温场分布与上年秋季和7月极端降水相关场分布一致,赤道中东太平洋为显著正相关区域,其南北两侧存在明显的负相关区域。另外需要注意的是,同年2月海温场与7月极端降水场的SVD相关分布除太平洋海温表现较明显的相关外,赤道印度洋海温以及中国近海海温也表现出明显的正相关。这表明上年冬季赤道中东太平洋海温处于异常偏暖(冷)状态,其南北两侧海温偏冷(暖),2月印度洋海温与中国近海海温异常偏暖(冷),陕西关中中东部、陕南中东部地区极端降水事件具有偏多(少)倾向。

盛夏8月,陕西极端降水事件与上年秋、冬季以及当年春季海温场之间SVD第一耦合模态相关分布(图5)表明,极端降水场基本呈现一致正相关分布,显著相关区域在关中中西部地区,相关系数达0.4。上年秋季海温(以10月为例)影响8月极端降水的主要海域为太平洋和印度洋,赤道东太平洋存在1个显著正相关区,南北太平洋相关场分布相对凌乱;印度洋为一致正相关区,其中印度洋中部为显著正相关区域。上年冬季及当年春季海温(以1月为例)影响8月极端降水的主要海域均为印度洋,印度洋为一致正相关区,其中冬季、当年春季显著正相关区均在印度洋西部,地理位置分别为 $10^{\circ}\text{N} \sim 20^{\circ}\text{S}, 40^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{E}$ 和 $20^{\circ}\text{N} \sim 10^{\circ}\text{S}, 48^{\circ} \sim 74^{\circ}\text{E}$ 。结

合各月时间系数演变曲线可看出,2个场之间变化趋势非常一致,模态相关系数均达到0.5以上,达到99.9%的显著水平。这表明如果上年秋季赤道东太平洋海温处于异常偏暖(冷)状态,上年冬季和当年春季印度洋西部海温异常偏暖(冷),陕西关中中西部地区极端降水事件具有偏多(少)倾向。可见,上年秋季太平洋赤道东部、冬季及当年春季印度洋西部海温异常对预测来年盛夏8月陕西关中中西部地区极端降水事件具有相对明确的指示意义。

3.3 极端降水与海温遥相关关系验证

陕西盛夏7月和8月极端降水事件与不同时段全球海温之间SVD的遥相关分析结果揭示了二者存在显著的遥相关关系,从而为极端降水事件的短期气候预测提供一定的理论支持。为进一步验证二者之间遥相关关系的合理性,对第一模态时间系数进行标准化处理,根据世界气象组织规定^[15],距平达到 1.3σ 的事件为异常事件,结合本地实际情况,本研究以 1.0σ 为标准,选取1975、1978、1982、1983、1988、1998、2007、2010年为7月极端降水偏多年,1963、1971、1974、1976、1985、2002年为极端偏少年。从上年秋季及当年2月极端降水偏多年与偏少年对应的海温差值图上看出(图6),上年秋季赤道中东太平洋为一明显正值区域,其北侧及西南侧为负值区域;当年2月除太平洋海温差值场分布与上年秋季类似外,印度洋及中国近海表现出明显的正值中心。这表明如果上年秋季、冬季太平洋海温呈明显的“负—正—负”相间分布,赤道中东太平洋海温为暖异常,以及当年2月印度洋、中国近海海域海温表现为暖异常,则陕西关中中东部地区以及陕南东部地区极端降水偏多,反之亦然。

选取1976、1981、1988、1992、1998、2003、2010年为8月极端降水偏多年,1966、1967、1977、1978、1986、1997年为极端偏少年。从上年秋季、冬季极端降水偏多年与偏少年海温差值图(图7)上看出,秋季赤道东太平洋有显著正值区,印度洋也主要表现为正值区域,冬季赤道东太平洋及印度洋亦存在明显正值区。这表明如果上年秋季及冬季、当年春季赤道东太平洋及印度洋海温为暖异常,则陕西关中中西部地区极端降水偏多,反之亦然。

以上分析结果与SVD奇异值分解方法得到的结果一致,从而验证了利用SVD方法分析全球海温场与陕西极端降水遥相关关系结果的可靠性。

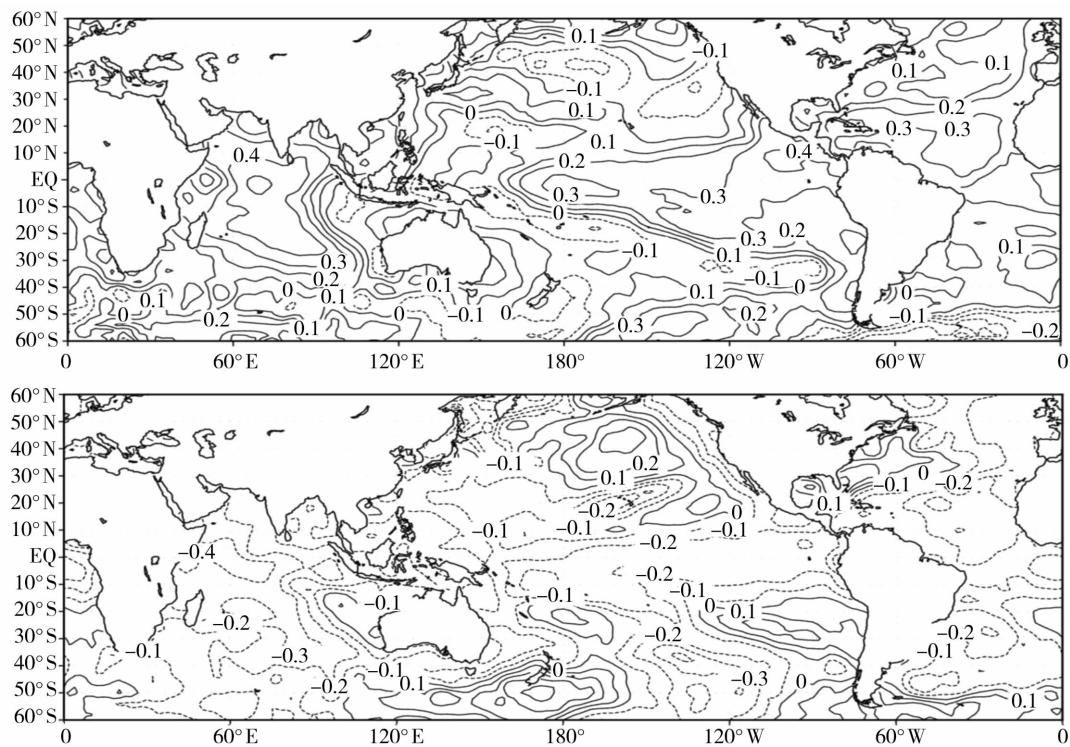


图 5 10月(上)、1月(下)海温场与8月极端降水场SVD的第一模态相关分布

Fig. 5 The first SVD mode between SST in October (the top)

and January (the bottom) and extreme precipitation in August

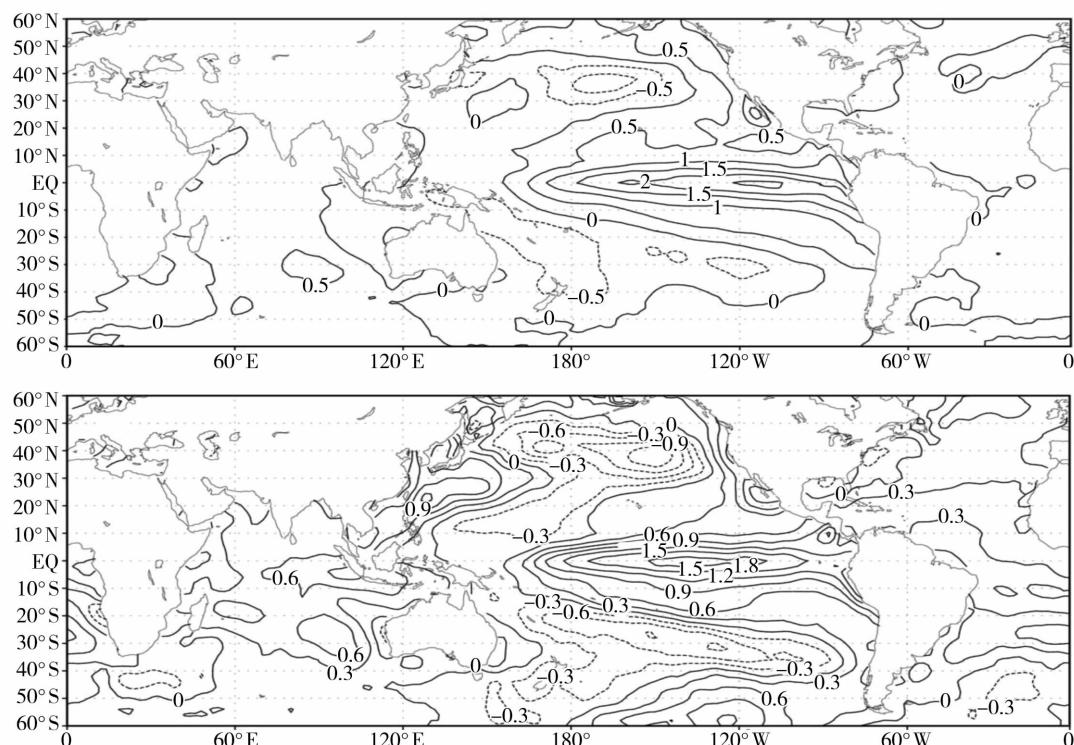


图 6 7月极端降水高低值年前秋(上)、前期2月(下)的海温场差值

Fig. 6 Differences of SST in last autumn (the top) and February (the bottom)

between that in more and less extreme precipitation years in July

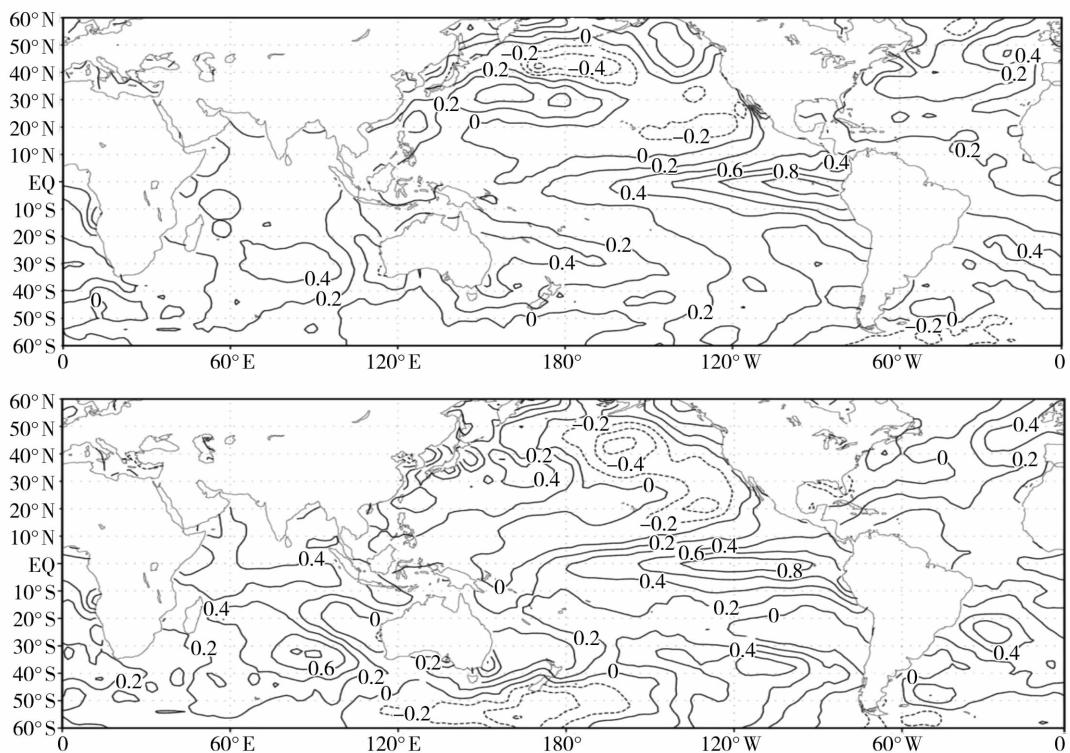


图 7 8月极端降水高低值年前秋(上)、前冬(下)海温场差值
Fig. 7 Differences of SST in last autumn (the top) and winter (the bottom) between
that in more and less extreme precipitation years in August

4 结 论

(1) 陕西盛夏 7 月极端降水与上年秋季、冬季海温场具有较好的遥相关关系, 8 月极端降水与上年秋季及冬季、当年春季海温场具有较好的遥相关关系。影响陕西盛夏极端降水的海温场主要分布在太平洋和印度洋, 受海温影响的主要降水区 7 月为关中中东部及陕南中东部地区, 8 月为关中中西部地区。

(2) 太平洋海表温度异常以及赤道中东太平洋及其北侧、西南侧是影响陕西盛夏 7 月极端降水的主要区域。此外, 当年 2 月印度洋和中国近海海温异常是影响 7 月极端降水的另一个关键区。当上年秋、冬季赤道中东太平洋海温异常偏暖, 其南北两侧海温异常偏冷, 以及当年 2 月印度洋、中国近海海温异常偏暖, 则陕西关中中东部、陕南中东部地区极端降水偏多, 反之亦然。

(3) 印度洋海表温度是影响陕西盛夏 8 月极端降水的关键区。上年秋季印度洋、赤道东太平洋海温异常偏暖, 以及上年冬季、当年春季印度洋西部海温异常偏暖, 陕西关中中西部地区 8 月极端降水偏多, 反之亦然。

(4) 盛夏极端降水与海温之间的遥相关分析对

短期气候预测中陕西盛夏极端降水事件的趋势预测具有一定指示意义, 其预测效果有待进一步验证和订正。

参 考 文 献:

- [1] Changnon S A, Pielke R A, Changnon D, et al. Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000, 81 (3): 437 – 442.
- [2] Easterling D R, Evans J L, Groisman P YA, et al. Observed variability and trends in extreme climate events; a brief review [J]. Bull of the American Meteorological Society, 2000, 81 (3): 417 – 425.
- [3] 黄涛, 刘治国, 邓振墉. 青藏高原东北侧强降水变化特征及其气候重现期计算 [J]. 干旱气象, 2009, 27 (4): 314 – 319.
- [4] 杨金虎, 江志红, 杨启国, 等. 中国西北汛期极端降水事件分析 [J]. 中国沙漠, 2007, 27 (2): 320 – 325.
- [5] 张弘, 侯建忠, 乔娟. 陕西暴雨若干特征的综合分析 [J]. 灾害学, 2011, 26 (1): 70 – 74.
- [6] 蔡新玲, 雷向杰, 王娜, 等. 陕西省气象灾害灾情特征及年景评估 [J]. 陕西气象, 2011 (4): 17 – 20.
- [7] 杨绚, 李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征 [J]. 干旱气象, 2008, 26 (2): 17 – 24.
- [8] 张小明, 杨金虎, 高伟东, 等. 甘肃省近 50 a 极端强降水量的气候特征 [J]. 干旱气象, 2008, 26 (2): 48 – 52.
- [9] Rasmusson E M, Wallace J M. Meteorological aspects of El Nino/Southern Oscillation [J]. Science, 1983, 222: 1195 – 1202.

- [10] Yulaeva K, Wallace J M. The signature of ENSO in global temperature and precipitation field derived from the micro - wave sounding unit [J]. *H Climate*, 1994, 7: 1719 – 1736.
- [11] 赵强,严华生,张谨文.影响陕西夏季旱涝的北半球前期大气环流特征[J].*干旱气象*,2012,30(4):555 – 562.
- [12] 魏锋,王劲松.中国西北地区7–9月上旬降水与北太平洋海温异常的关系[J].*干旱气象*,2010,28(4):396 – 400.
- [13] 罗伯良,张超.湖南主汛期旱涝与大气环流及春季海温的关系[J].*高原气象*,2010,29(5):1322 – 1330.
- [14] 沈玉敏,胡春丽,李菲,等.辽宁春季透雨的环流背景及与海温相关分析[J].*气象与环境学报*,2012,28(4):28 – 32.
- [15] 吴国雄,孟文.赤道印度洋 – 太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和ENSO事件 I. 资料分析[J].*大气科学*,1998,2(4):470 – 480.
- [16] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A, et al. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada [J]. *J. Climate*, 2001, 5(14):1959 – 1976.
- [17] 魏锋,丁裕国,杨金虎,等.中国西北地区雨季降水与500 hPa高度场的SVD分析[J].*干旱气象*,2005,23(4):17 – 23.

Analysis on the Frequency of Extreme Precipitation in Midsummer in Shaanxi and Its Teleconnection with Global Sea Surface Temperature

CHENG Xiaoxia, FANG Jiangang, LEI Xiangjie

(*Shaanxi Climate Center, Xi'an 710015, China*)

Abstract: Based on the daily precipitation data at 78 metrological stations in Shaanxi and the $2^\circ \times 2^\circ$ sea surface temperature (SST) from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) during 1961 – 2011, the characteristics of extreme precipitation events in midsummer (July and August) and its teleconnections with global SST were analyzed by using trend analysis, Mann – Kendall test and singular value decomposition (SVD), respectively. The results show that: (1) The frequency of extreme precipitation was higher in the south part of Shaanxi, western Guanzhong and the south part of northern Shaanxi in midsummer. The accumulated frequencies of extreme precipitation in July and August reached 39 – 105 and 36 – 50 in Shaanxi during 1961 – 2011, respectively. In recent years, the frequency of annual extreme rainfall in midsummer displayed an increasing trend, but the trend was not so significant. (2) In the past 50 years, the linear increasing rate was approximately 0.07 day per 10 years, and the decadal variability of the frequency for extreme precipitation was remarkable with higher values in the 1970s, 1980s and 2000s. In addition, An obvious mutation was detected around the year 1976. (3) There was obvious teleconnection between the frequency of extreme precipitation and the SST in the previous period, but was not significant in the same period. For changes of the extreme precipitation in July, the anomalies of the SST in the previous fall and winter are the most primary factors, while for that in August, the SST in spring also plays an important role. (4) When the SST was abnormally higher in the equatorial middle – eastern Pacific in the previous fall and winter and the Arabian Sea in the previous fall and was abnormally lower in the north and south of the equatorial middle – eastern Pacific in the previous fall and winter, and was abnormally higher in the Indian Ocean and offshore of China in the current February, the extreme precipitation was greater than normal in the middle – eastern of Guanzhong and the south part of Shaanxi in July and vice versa. In August, when the SST was abnormally warmer in the Indian Ocean and the equatorial eastern Pacific in the previous fall and in western Indian Ocean in the previous winter and current spring, there would be more precipitation in the middle – western of Guanzhong.

Key words: Shaanxi; extreme precipitation; SST; teleconnection; conceptual model