

# 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

魏 锋<sup>1,2</sup>, 王劲松<sup>1</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省嘉峪关市气象局, 甘肃 嘉峪关 735100)

**摘 要:** 利用西北地区131个测站(1961~2000年)的7~9月上旬逐旬降水量和北太平洋海温资料, 用奇异值分解(SVD)技术, 分析了同期及前期北太平洋海温异常型对中国西北地区7~9月上旬降水场分布的影响。结果表明: 西北地区7~9月上旬降水场的分布与同期、前期冬季、春季北太平洋海温分布型之间有良好的对应关系, 这种对应关系可作为预测中国西北地区7~9月上旬降水的参考和依据。

**关键词:** 西北地区; 降水; 海温异常; SVD分析

**中图分类号:** P461

**文献标识码:** A

## 引 言

西北地区降水主要集中在7~9月上旬, 占全年降水的40%以上<sup>[1]</sup>。这一时段降水异常对年降水异常的贡献较大, 也是西北干旱地区有效利用水资源的重要时段。关于西北地区降水的特点及其影响因素, 有关学者进行了大量研究<sup>[2-5]</sup>, 其中, 张存杰等<sup>[6]</sup>分析了在全球气候变暖背景下, 西北地区秋季降水的时空变化特征和主要影响因素; 王宝灵等<sup>[7]</sup>对青藏高原东北侧汛期降水与500 hPa环流、El Niño进行了分析; 俞亚勋等<sup>[8]</sup>对该区域夏季干湿年环流异常进行了对比分析; 吴胜安<sup>[9]</sup>分析了中国夏季降水与太平洋SSTA之间的年代际变化关系。然而就北太平洋海温异常对西北地区降水集中期(7~9月上旬)的相互关系至今还很少研究。由于海洋和大气的相互作用, 海温的异常变化必将影响到大气环流的异常变化<sup>[10-11]</sup>, 进而影响到西北地区主要降水期的变化。因此, 分析北太平洋海温异常型分布特别是前期海温异常型分布与中国西北地区7~9月上旬降水场之间的关系, 可为预测中国西北地区夏季降水提供直接的参考和依据。

关于研究2个场耦合信号的分析方法, 目前已有多种, 例如典型相关分析(CCA), 联合主分量分析(CPCA)等。近年来, 一种由矩阵理论引入的SVD(Singular Value Decomposition)奇异值分解方法, 由于其具有坚实的数学基础, 计算简便且易进行物理解释而被认为是一种具有广阔应用前景的分析方法。丁裕国等也从理论上证明了SVD方法在场诊断分析中的普适性<sup>[12]</sup>。这种分析方法被国内外学者用来研究2个要素场的遥联问题, 并取得了显著效果<sup>[13-14]</sup>。

本文利用西北地区131个测站(1961~2000年)的7~9月上旬逐旬降水量和前期的北太平洋海温资料以及奇异值分解(SVD)技术, 分析了北太平洋海温异常型分布对中国西北地区7月上旬至9月上旬降水场的影响, 以期得到影响西北地区7~9月上旬降水的预测信号。

## 1 方法和资料

奇异值分解(SVD)是一个分析2个要素场之间相互关系的方法, 它可最大限度地从2个要素场中分离出多个相互独立的耦合模态, 从而揭示出2个

收稿日期: 2010-02-26; 改回日期: 2010-06-07

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”(2004DIB5J192-02), 甘肃省气象局项目“西北地区干旱指数研究”(2005-2)共同资助

作者简介: 魏锋(1967-), 男(汉), 甘肃通渭人, 高级工程师/硕士, 主要从事干旱气候研究和天气预报工作. E-mail: dxweifeng@126.com

气象要素场所存在的时域相关性和空间联系。关于SVD方法,已有相关文献作了详细介绍<sup>[15-16]</sup>,本文不再赘述。

降水资料选用西北地区均匀分布的131个测站1961~2000年7~9月上旬的降水总量。太平洋海表温度取1960~2000年10°S~50°N,120°E~80°W范围内(286个格点,5°×5°)的月平均值。

取西北地区7~9月上旬降水量为左场,分别以当年7~8月太平洋海温场(方案a)、前期春季(3,4,5月平均)(方案b)、前期冬季(12,1,2月平均)(方案c)太平洋海温场为右场,对海温场和降水场做距平标准化处理后,进行上述时滞耦合的SVD分析。

## 2 结果分析

表1给出了方案a,b,c前4对奇异向量的协方差贡献和相应耦合模态的相关系数。从表1可以看出,前4对空间分布型的累积方差可解释总方差的65%以上,每对奇异向量之间的相关系数明显超过0.01( $\alpha_{0.01} = 0.402$ )显著性水平,尤其是前3个。耦合模态占有比较大的协方差比重,均达60%以上,这说明前冬和前春以及夏季北太平洋SSTA与当年7~9月上旬西北地区降水异常之间具有较为密切的时空相关性,因此分析各方案前4对奇异向量对应的“型偶”,特别是第1、第2、第3对空间分布型即可描述西北7~9月上旬降水与不同时期太平洋海温场的耦合关系。

表1 前4对奇异向量的方差贡献及耦合模态的相关系数

Tab.1 The percentage of variance and accumulative variance of the totle variance and its correlation coefficient between precipitation fields of rainy season and SSTA

SVD 模态 和积累方差	方案 a		方案 b		方案 c	
	协方差 贡献/%	模态相 关系数	协方差 贡献/%	模态相 关系数	协方差 贡献/%	模态相 关系数
1	28.08	0.72	32.23	0.83	39.63	0.74
2	20.37	0.76	13.64	0.76	14.39	0.74
3	12.52	0.67	13.24	0.66	9.58	0.66
4	6.68	0.6	9.78	0.62	8.60	0.72
累计方差	67.66		68.89		68.89	

### 2.1 同期(7~8月)太平洋海温场与降水的耦合特征

图1为7~9月上旬降水场(左场)与同年7~8

月海温场(右场)经SVD分解的第1对空间分布。从图1a可以看出,左场在西北地区东部除陕南以外的地方均为负相关区,高相关区主要集中在甘肃中部到陕北的半干旱区,也就是青藏高原东北侧一带,相关系数达-0.59。在西北地区西部以正相关区为主,但相关系数明显偏小。右场(图1b)在西太平洋(黑潮区)为正相关,相关系数0.2左右,在中、东太平洋则为北负南正,且相关显著。正中心位置在赤道140~100°W范围,相关系数达0.5,负值区主要集中在140°~120°W,10°N~0°N的区域,相关系数在-0.4以上。综合2场的高相关区分析,当西太平洋(黑潮区)、赤道太平洋海温异常偏暖(偏冷),而赤道北部140°~120°W,10°N~20°N的区域异常偏暖(偏冷)时,青藏高原东北侧降水偏少(偏多)。

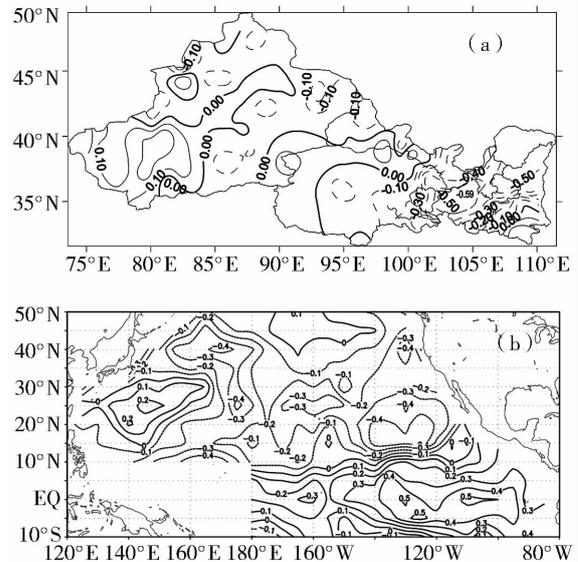


图1 方案a(同期7~8月)第1对异性相关系数图

(实线表示正值,虚线表示负值, a.西北地区7~9月上旬降水场,b.7~8月海温场)

Fig.1 The correlation coefficients between precipitation fields of rainy season and synchronism SSTA in July and August

图2给出左场第一时间系数和右场第一时间系数以及位于高原东北侧且左场相关系数在-0.4以上的25站区域平均7~9月上旬的降水距平百分率随时间演变图。可以看出,左右场时间系数之间的变化步调是非常一致的,而高原东北侧降水距平百

分率与左右场时间系数呈反步调变化,当时间系数处于峰值时(为正),对应高原东北侧降水的偏少年,为1963年,1965年,1969年,1972年,1974年,1980年,1982年,1987年,1989年,1991年。当时间系数处于谷底时(负值),对应高原东北侧降水的偏丰年,为1964年,1967年,1970年,1973年,1976年,1979年,1981年,1995年。当右场第一时间系数为峰值时,海温场的典型分布型态为赤道太平洋及黑潮区为正距平,其它海区为负距平,而这正是厄尔尼诺年海温场的典型分布;当右场第一时间系数处于谷底时(负值),海温场的分布型相反,是拉尼娜年海温场的典型分布型态。因此,当7~8月北太平洋海温场呈厄尔尼诺年典型分布时,青藏高原东北侧半干旱区降水为偏少年份。当7~8月北太平洋海温场呈拉尼娜年典型分布时,青藏高原东北侧半干旱区7~9月上旬降水为偏多年份。这个结论与李耀辉等<sup>[17]</sup>人的研究结论基本一致。

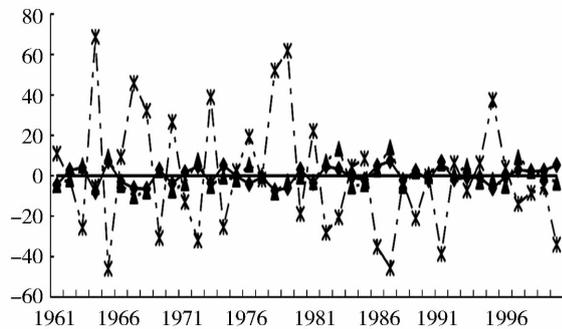


图2 方案a第1耦合模式的时间系数分布  
(实线:西北地区7~9月上旬降水场;虚线:7~8月北太平洋海温场;点划线:高原东北侧7~9月上旬区域平均降水距平百分率)

Fig. 2 The time coefficients of the first modes

从降水与 SST 场 SVD 的第 2 模态的异场相关(图略)可知,左场表现为西北正,东南负,相关显著区分别在北疆北部、青海东部,相关系数达 0.49 和 -0.41,右场相关系数分布特点是以 30°N 为界,北负,南正,最大正值在 0.5 以上,最小负值也达 -0.3。说明西北地区 7~9 月上旬降水的西北、东南相反趋势的异常与北太平洋海温南、北相反趋势的异常有密切关系。

第 3 模态的异场相关系数(图略)左场除青海省东、西部小范围的正值外,西北地区大部分为负值区,相关中心在陕南,相关系数达 -0.49,而右场除

副热带太平洋区小片正值区外,大部分为负值,表明,7~8月北太平洋海表温度的大面积升高,易造成中国西北大部分地区7~9月上旬降水的减少。

2.2 前期(3~5月)太平洋海温场与降水的耦合特征

图3为降水场与同年前期3~5月海温场经SVD分解得到的第一对空间分布型。从图3a可以看出,左场即降水场相关系数在西北地区南、北相反,从北疆到河西走廊为明显负相关区,南疆经青海、甘肃中南部到宁夏、陕西为正相关区,高相关中心分别在北疆北部和青海湖一带,相关系数分别为-0.65、+0.45。北太平洋海表温度总体上表现为2个正、负相反的强相关中心。较强正相关区大致在西风漂流区,中心位置在40°N,160°W附近,相关系数0.5以上,高负相关区位于Nino3区,即5°N~10°S,160~120°W范围,相关系数高达-0.8。由表1知,方案b第一对奇异向量所对应时间系数之间的相关系数高为0.83,可见这2个场有着密切的相关关系。由此可知,春季3~5月西风漂流区海表温度异常偏暖(偏冷),而Nino3区海表温度异常偏冷(暖),则北疆到河西走廊西部降水偏少(偏多),西北其它地区降水相对偏多(偏少),其中,北疆、青海东部是对这种遥相关型反应最为敏感的地区。这是同年3~5月太平洋海表温度与我国西

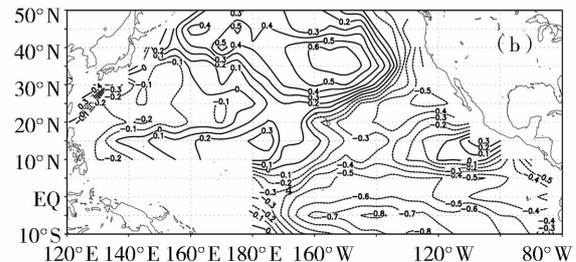
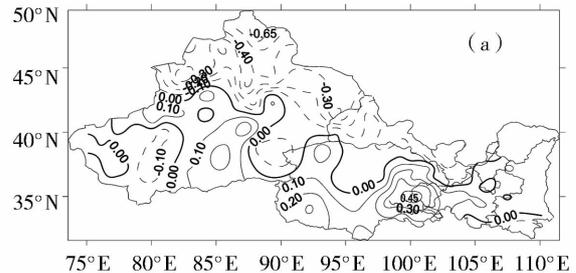


图3 前期3~5月第一对异性相关系数图  
(实线表示正值,虚线表示负值,a.西北7~9月上旬降水降水场,b.7~8月海温场)

Fig. 3 The correlation coefficients between precipitation fields of rainy season and prophase SSTA in March to May

北地区7~9月上旬降水的主要遥相关型。

从降水场与前期3~5月SST场SVD的第2模态的异场相关(图略)可知,左场表现在甘肃中部黄土高原到陕北黄土高原有较为显著的正相关区,正值中心达到0.6,其它地区相关系数较小,右场相关系数分布特点是西北与东南角为负值区,中间为正值区,最大正值中心在日本岛东南部的洋面上,中心值为+0.4,而最大负值中心在巴拿马以西的洋面上,负值中心值达-0.6。说明西北地区黄土高原7~9月上旬降水的异常与与北太平洋春季海温东、西相反趋势的异常有密切关系。

第3模态的异场相关系数(图略)左场在天山、青海省东部以及陕南存在负值中心,但相关系数均未超过-0.4,其它地区相关系数的绝对值更小,相应右场在副热带180°E以西太平洋区为负值区,其它大部分地区为正值区,高值中心分别位于(150°E,20°N)、(140°W,45°N)。

### 2.3 前期(12~2月)太平洋海温场与降水的耦合特征

图4为降水场与前期12~2月海温场经SVD分解得到的第一对空间分布。从图4a可以看出,降水场与前期12~2月海温场经SVD分解得到的第一对空间分布的左、右场基本类似于与前期3~5月海温场经SVD分解得到的第一对空间分布,但相关系数略小于后者。左场从北疆到甘肃大部及其以东地区为负相关区,南疆到青海为正相关区,高相关中心分别在北疆北部和青海湖一带,相关系数分别为-0.55、+0.37。北太平洋海表温度总体上为西北正、东南负。正、负中心位置分别在(35°N,160°W)和(0°N,160°W),相关系数±0.5左右。第一对奇异向量所对应时间系数之间的相关系数为0.73,表明这2个场相关显著。这也是前期12~2月太平洋海表温度与我国西北地区7~9月上旬降水的主要遥相关型。

第2模态的异性相关系数(图略)左场表现为东正、西负,新疆和青海省为大范围负值区,陕、甘、宁3省为正值区,最大显著相关中心在天山中部,相关系数达-0.55。相应右场分布与第一模态右场相反,即西负、东正,但赤道地区相关系数绝对值明显偏小于第一模态。较明显相关区在(150°E,30°N),相关系数-0.4左右。表明西北地区降水的东、西反向变化与太平洋海温场的东、西反向变化有关。

第3模态的异性相关(图略)左场在青海有较

明显负值区,但右场相关系数普遍偏小,表明第3模态分辨能力下降,已基本分析不出左右场之间的显著遥相关区。

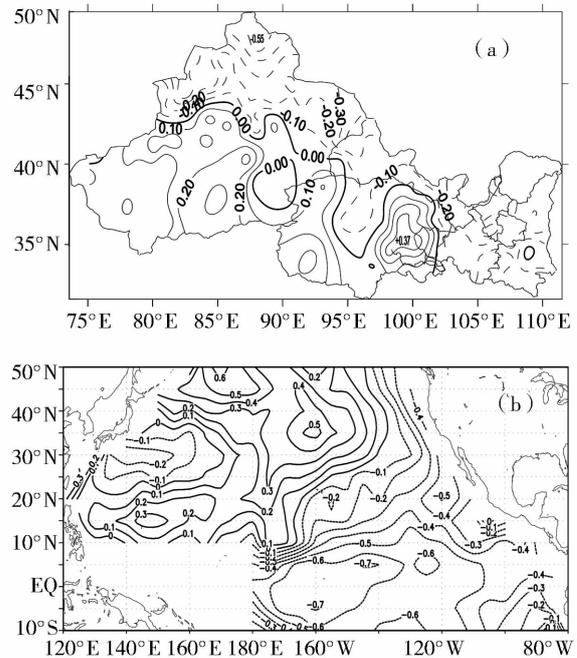


图4 前期12~2月第一对异性相关系数图  
(实线表示正值,虚线表示负值,a.西北7~9月上旬降水,b.7~8月海温场)

Fig. 4 The correlation coefficients between precipitation fields of rainy season and prophase SSTA in December to February

## 3 小结

(1)西北地区7~9月上旬降水场与前期冬季和春季以及7~8月北太平洋海温场之间的耦合关系较为明显,但这种耦合关系并非表现为整体一致的变化,而表现为不同形态场的耦合。

(2)方案a的第1对空间分布揭示出:西北地区之青藏高原东北侧一带7~9月上旬降水对特定的7~8月北太平洋海温场反应最为敏感,当同年7~8月北太平洋海温场呈厄尔尼诺年型分布时,西北地区之青藏高原东北侧一带降水偏少,呈拉尼娜年型分布时,降水偏多,结合这一带区域平均降水实况分析,发现第一对时间系数的峰值几乎囊括了所有的降水偏少年,而谷值区囊括了所有的降水偏多年。第2对空间型说明西北地区7~9月上旬降水的东、西反向变化与同年7~8月太平洋海温场的

南、北反向变化有关。第3对空间型则表明当7~8月北太平洋海表温度大面积升高时,易造成中国西北大部分地区7~9月上旬降水的减少。

(3)方案b第1对空间分布型表明当春季3~5月西风漂流区(中心位置在 $40^{\circ}\text{N}$ ,  $160^{\circ}\text{W}$ )海表温度异常偏暖(偏冷),而Nino3区(中心位置在 $5^{\circ}\text{N}$ ~ $10^{\circ}\text{S}$ ,  $160^{\circ}\text{W}$ ~ $120^{\circ}\text{W}$ )海表温度异常偏冷(暖),则北疆到河西走廊西部7~9月上旬降水偏少(偏多),西北其它地区降水相对偏多(偏少),其中,北疆、青海东部是对这种遥相关型反应最为敏感的地区。第2对空间分布型说明当日本岛东南部的洋面海温偏暖(偏冷)且巴拿马以西的洋面偏冷(偏暖)时,则西北地区黄土高原7~9月上旬降水偏多(偏少)。

(4)降水场与前期12~2月海温场的主要耦合特征为:当12~2月北太平洋西北部海表温度(中心位置 $35^{\circ}\text{N}$ ,  $160^{\circ}\text{W}$ )偏暖(偏冷),西南部(中心位置 $0^{\circ}\text{N}$ ,  $160^{\circ}\text{W}$ )偏冷(偏暖)时,北疆到甘肃、宁夏、陕西一带降水偏少(偏多),南疆、青海大部降水偏多(偏少),其中北疆和青海东部表现最为敏感。

#### 参考文献:

- [1] 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):17-24.
- [2] 赵红岩,薛万孝,祝小妮.应用“地气图”预测西北旱涝的初步研究[J].干旱气象,2003,21(4):37-42.
- [3] 王遂缠,李栋梁,王谦谦.青藏高原东北侧夏季降水的气候特征分析[J].干旱气象,2005,23(2):13-19.
- [4] 何金海,刘芸芸,常越.西北地区夏季降水异常及其水汽输送和环流特征分析[J].干旱气象,2005,23(1):10-17.
- [5] 董安祥,白虎志,雷小斌.中国西北地区干旱气候学的新进展及其主要科学问题[J].干旱气象,2006,24(4):57-61.
- [6] 张存杰,高学杰,赵红岩.全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J].冰川冻土,2003,25(2):157-165.
- [7] 王宝灵,谢金南,吴国雄,等.青藏高原东北侧汛期降水若干研究[J].大气科学,2000,24(6):775-784.
- [8] 俞亚勋,谢金南,王宝灵,等.青藏高原东北侧地区干湿年夏季环流异常的对比分析[J].气候与环境研究,2001,6(1):103-112.
- [9] 吴胜安,江志红,刘志雄,等.夏季降水与太平洋SSTA年代际变化关系的初步研究[J].热带气象学报,2005,21(2):153-163.
- [10] 丁一汇.高等天气学[M].北京:气象出版社,1991.717-718.
- [11] 陈兴芳,赵振国.中国汛期降水预测研究及应用[M].北京:气象出版社,2000.66-67.
- [12] 丁裕国,江志红.SVD方法在气象场诊断分析中的普适性[J].气象学报,1996,54(3):365-371.
- [13] 张万诚,解明恩.奇异值分解方法对降水的预测试验[J].高原气象,2002,21(1):102-106.
- [14] 张永领,丁裕国.我国东部夏季极端降水与北太平洋海温的遥相关研究[J].南京气象学院学报,2004,27(2):244-251.
- [15] 江志红,丁裕国.我国夏半年降水距平与北太平洋海温异常的奇异值分解法分析[J].热带气象学报,1995,11(2):133-138.
- [16] 孙力,安刚.北太平洋海温异常对中国东北地区旱涝的影响[J].气象学报,2003,61(3):346-353.
- [17] 李耀辉,李栋梁. ENSO循环对西北地区夏季气候异常的影响[J].高原气象,2004,23(6):930-936.

## Relationships Between Precipitation of Northwest China from July to the First Ten Days of September and North Pacific Sea Surface Temperature

WEI Feng<sup>1,2</sup>, WANG Jinsong<sup>1</sup>

- (1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou 730020, China;
2. Jiayuguan Meteorological Bureau of Gansu Province, Jiayuguan 743000, China)

**Abstract:** Based on the monthly mean data of North Pacific Sea Surface Temperature (SST) and the ten-day precipitation data from 131 observational stations in Northwest China during 1961-2000, the impact of SST anomaly on precipitation of Northwest China from July to the first ten days of September are analyzed by using Singular Value Decomposition (SVD) method. The results show that the precipitation of Northwest China from July to the first ten days of September was closely related to the north Pacific SST anomaly in corresponding period, the former spring and winter, which can be used as a good reference for prediction of precipitation from July to the first ten days of September in Northwest China.

**Key words:** Northwest China; precipitation; sea surface temperature anomaly; singular value decomposition (SVD)