

ENSO 对中国西北地区秋季 异常降水的影响*

李耀辉¹⁾ 李栋梁²⁾ 赵庆云²⁾ 冯建英¹⁾

1) 兰州干旱气象研究所, 兰州 730020 2) 兰州中心气象台, 兰州 730020

摘 要 以奇异值分解(SVD)方法为基础,用1960~1994年35年的资料,分析了ENSO对中国西北地区秋季降水异常的影响,然后用奇异向量的海温场时间系数与500 hPa高度场和海平面气压场进行交叉相关,讨论了在ENSO年引起西北地区降水异常的环流特征。结果表明,赤道中东太平洋海表温度异常与西北秋季大范围区域性降水异常有较好的对应关系,在El Niño年,西北地区秋季大部分地区降水异常偏少,其中青藏高原东北侧的青海东部、甘肃中东部、宁夏南部和陕西北部等西北主要的雨养农业区降水明显偏少。引起这种异常的环流特征表现为500 hPa高度场出现PNA异常流型、强异常中心多分布在低纬度、印缅槽偏弱,西太平洋副高加强西伸,脊线南移,南海副高和北美副高加强;东亚中纬度冬季盛行的1波流型在秋季异常发展,新疆脊偏强,东亚大槽加深西移,海平面气压场上,乌拉尔山北部高压、欧洲南部低压及阿留申低压等较高纬度系统异常加强(加深),La Niña年情况相反。

关键词: ENSO; 中国西北地区; 降水异常

1 引言

太平洋海表温度异常(SSTA)特别是El Niño/La Niña现象,已是人们公认的引起全球天气、气候和大气环流异常的强信号,国内外学者在这方面做了大量深入的研究,取得了许多有价值的成果。同样,它与中国西北地区的降水异常也有着密切联系,El Niño年,青海东部、甘肃中东部、宁夏南部和陕西北部3~9月降水量明显偏少,次年上述地方降水量明显偏多^[1]。当由冬到夏赤道太平洋海温异常增高时,当年夏季青海东部到陕西北部干旱少雨,青海、陕西南部多雨;而当由冬到夏赤道太平洋海温异常降低时,夏季青海、陕西南部干旱少雨,而青海东部到陕西北部多雨^[2]。对于西北地区秋季来说,降水的多寡对当地秋粮生长和来年春季土壤墒情的好坏有着直接影响。那么,西北秋季降水异常是否也受El Niño/La Niña现象的影响?太平洋SSTA与西北降水异常有何空间上的遥相关联系?有关这方面的工作尚不多见。为此,本文将利用1960~1994年35年的资料,首先采用SVD方法分析前期春季、夏季和同期秋季太平洋SSTA与西北地区秋季降水异常的对应关系以及两者空间型态上的耦合特征,然后通过奇异向量的海温场时间系数与500 hPa高度场和海平面气压场的交叉相关,重点探讨

ENSO 发生时引起西北秋季降水异常的同期环流特征, 以便得到一些有意义的结论, 为西北地区旱、涝的短期气候预测业务提供参考依据。

2 资料和方法

2.1 资料

降水资料选用陕、甘、宁、青、新五省(区)分布相对均匀的 89 个测站 1960~1994 年秋季(9~11 月)的季降水总量。太平洋海表温度取 $10^{\circ}\text{S}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{W}$ 范围内(286 个格点, $5^{\circ}\times 5^{\circ}$)的同期秋季平均温度。

北半球($10\sim 85^{\circ}\text{N}$, $10^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\sim 0^{\circ}$)海平面气压场和 500 hPa 月平均高度场为标准网格点资料, 分辨率为 5° (纬度) $\times 10^{\circ}$ (经度)。资料序列长度均取 1960~1994 年的 35 个秋季。

上述资料在分析前均进行了距平标准化处理。高度场资料被插值到 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 的经纬网格点上。

2.2 方法

奇异值分解(SVD)是研究两个气象场之间空间相关关系的有效工具^[3], 近年来, 人们利用它得到了许多有价值的结论^[4~6]。

本文首先对太平洋海温与西北降水之间的交叉协方差阵进行广义对角化运算, 然后进行奇异值分解, 得到两者成对的空间分布型及对应的时间系数序列。由于资料均是标准化的, 因此, 奇异向量对应的时间系数与资料场之间的相关系数场就是这个向量的空间分布型。

由 SVD 得到的一对(左、右)空间分布型反映了海温与降水两个场的空间遥相关性以及它们相互作用的关键区, 对应的时间系数则反映了各自空间型的时间演变特征。因此, 用某种 SSTA 空间异常型的时间系数与海平面气压场和 500 hPa 高度场作交叉相关, 便可得知出现这种 SSTA 空间分布型时高空环流场对它的响应, 从而可以探讨与这种 SSTA 分布型相耦合的降水异常的形成原因。

SVD 分析时, 太平洋海温作为左场, 西北地区的降水为右场。

3 ENSO 对西北地区秋季异常降水的影响

用西北秋季降水与同期秋季和前期冬季、春季、夏季太平洋海温分别进行奇异值分解。表 1 给出第 1 对奇异向量的累积方差贡献和相应的左场(海温)和右场(降水)时间函数之间的相关系数。可以看出, 第 1 对奇异向量对总方差的贡献均在 $1/3$ 以上, 其中秋季降水与同期海温的奇异向量累积方差贡献最大, 达 66.39%。所以, 取第 1 对奇异向量即能表达西北秋季降水与太平洋海温异常之间遥相关关系的主要特征。表 1 的 4 组相关系数中, 秋季降水与同期海温之间的相关最大, 与前期夏季的次之, 与前期冬季的最小, 但均达到 0.01 ($\alpha_{0.01}=0.432$)的显著水平, 说明随着超前时间的增大, 太平洋 SSTA 与西北秋季降水异常之间的空间相关程度也逐渐减小。

表 1 前 6 对奇异向量累积方差百分率及相应的左场和右场时间函数之间的相关系数

	同期秋季	前期夏季	前期春季	前期冬季
相关系数	0.75	0.72	0.62	0.57
累积方差	66.39	56.97	44.70	34.34

下面将重点讨论 El Niño / La Niña 时期西北秋季降水的异常情况。

3.1 海温异常与西北秋季降水异常的同期关系

3.1.1 时间系数分析

图 1 是西北秋季降水与同期太平洋海温之间 SVD 分析的第 1 对奇异向量左场(海温)和右场(降水)对应的时间系数曲线。图中海温(实线)、降水(虚线)的走向大致相同,海温线的峰(谷)位置与 El Niño (La Niña) 事件对应很好;降水线的峰(谷)与西北地区大范围区域性降水负(正)异常有较好的对应关系,也就是说,第 1 对奇异向量反映的是 El Niño / La Niña 事件时西北地区秋季降水的异常情况, El Niño 时,西北秋季降水多为负异常, La Niña 时,则降水多以正异常为主,符合率分别为 9 / 11 和 5 / 7。

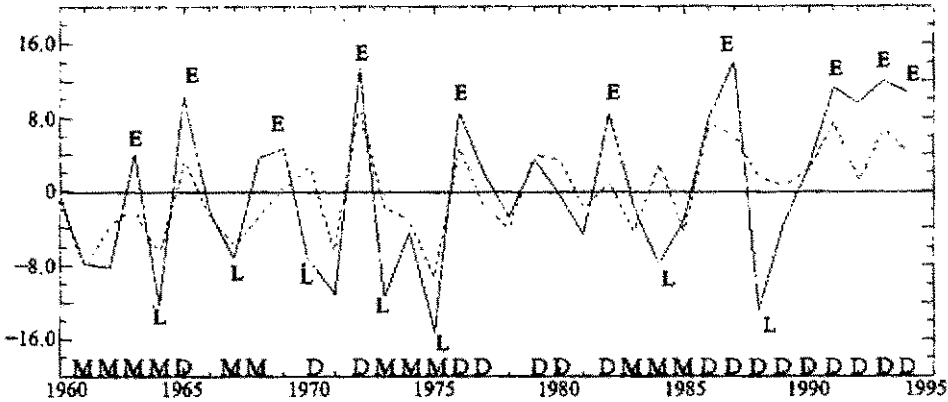


图 1 太平洋海温与西北降水之间秋季同期 SVD 第 1 对奇异向量对应的时间系数曲线
实线为海温场时间系数,虚线为降水场时间系数。E 表示 El Niño 年, L 表示 La Niña 年,
D 表示陕、甘、宁、青秋季降水距平百分率 $\leq -10\%$, M 表示 $\geq +10\%$ (引自文献[7])。
1991 年以后的降水距平百分率根据岷县、临夏、吴旗 3 站的秋季降水量计算

3.1.2 空间遥相关特征

通过对奇异向量场的分析,可得海温异常与降水异常的空间对应关系。图 2 给出第 1 对奇异向量左、右场的空间分布。图 2a 是海温场的异常空间分布型态,太平洋海温表现出西北负东南正的空间分布, 30°N 以北的西北太平洋为负值区域,中心相关系数为 -0.445,赤道中东太平洋则为一致的正相关区,相关系数的最大值位于 Niño3 区,为 +0.859。这是一种 El Niño (La Niña) 成熟位相时的海温异常型,反映了秋季处于 El Niño (La Niña) 时期的太平洋 SSTA 特征。相应的降水异常空间分布(图 2b)中,中国西北地区为基本一致的负相关区,相关较强 (≤ -0.50) 的区域大致在青藏高原东

北侧的青海东部、甘肃中东部、宁夏南部和陕西北部,最强中心位于甘肃中部的岷县(34.26°N , 104.01°E),相关系数为+0.72,次强中心在甘肃临夏和陕西吴旗。新疆为弱的正相关区,北疆的相关值高于南疆。由此看出,赤道中东太平洋是太平洋 SSTA 的关键区,青藏高原东北侧的西北中部地区是受海温异常影响最为敏感的区域。当秋季赤道中东太平洋海温异常偏高(偏低),有 El Niño (La Niña) 现象时,西北大部地方降水异常偏少(偏多),北疆降水偏多(偏少),其中异常最明显的地区位于以甘肃中部为中心的青藏高原东北侧,这里也是西北典型的雨养农业区。

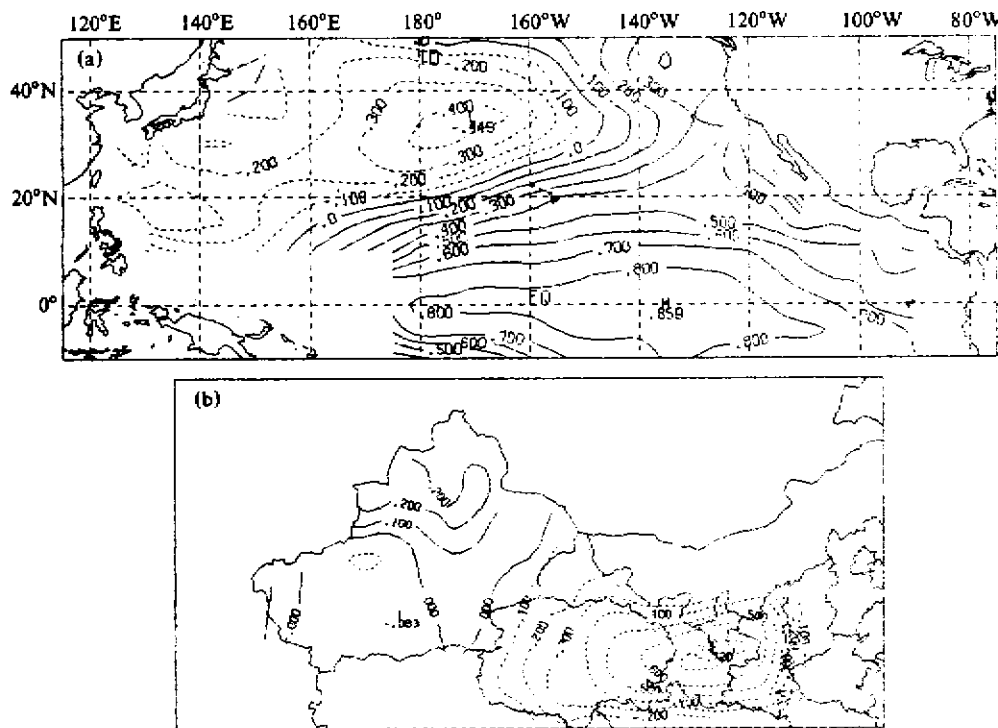


图2 第1对奇异向量左(a)、右(b)场的空间分布
实线表示正值;虚线表示负值

3.2 春季、夏季的海温异常对秋季降水异常的影响

将海温超前降水3个月(夏季)、6个月(春季),分别与秋季降水进行SVD分析(图略),取第1对奇异向量场。结果表明,降水异常的空间分布与图2b非常相似,较强异常区仍在青藏高原东北侧;海温异常也表现为ENSO时期的空间分布型态,赤道中东太平洋海区的异常最为明显,但相关最强中心位于Niño C区。从两者的关系来看,当春季和夏季出现El Niño现象时,中国西北大部地区,特别是青藏高原东北侧的西北典型雨养农业区的秋季降水异常偏少;La Niña时相反。

3.3 ENSO与西北秋季降水异常之间关系的观测事实

由于第1对奇异向量有较高的方差贡献,也就是说它对样本有较高的拟合率,因而

它所反映出的海温与降水之间的关系应该在实际观测中有所表现。因此,取 1963、1965、1969、1972、1976、1982、1986、1987、1991、1993、1994 年为 El Niño 年,1964、1967、1970、1973、1975、1984、1988 年为 La Niña 年,给出这两种相反位相的海温异常对应的西北秋季降水距平的合成分布(图 3a、b),图中清楚地显示出秋季出现 El Niño 和 La Niña 事件时西北同期降水异常的明显差异。El Niño 时,新疆降水略多,其他地方降水偏少,偏少最明显的地方大致位于甘肃中部(图 3a); La Niña 时恰恰相反:新疆降水偏少,西北特别是西北东部地区降水偏多,偏多中心大致位于甘肃与陕西南部的交界处(图 3b)。两种异常的空间分布特征也与图 2b 相似,说明上述的 SVD 分析结果是真实可信的。

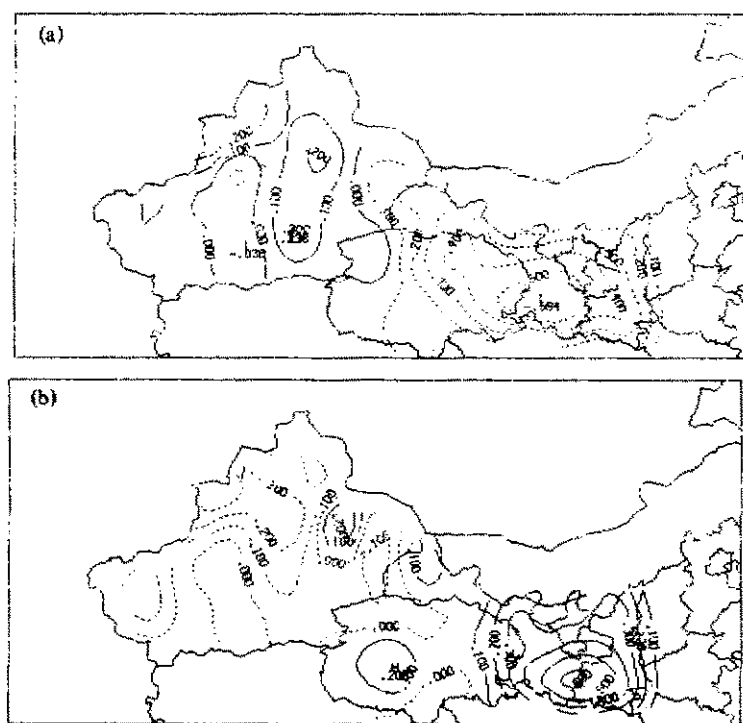


图 3 El Niño (a) 和 La Niña (b) 事件对应的西北秋季降水距平的合成
实线表示正值;虚线表示负值

4 ENSO 对西北秋季降水异常影响的环流特征

用第 1 对奇异向量的海温场时间系数与北半球秋季海平面气压和 500 hPa 高度场做遥相关,可得秋季 El Niño / La Niña 时环流场对它的异常响应,从而探讨 El Niño / La Niña 时造成西北降水异常的形成原因。

4.1 500 hPa 的高度异常

图 4 是第 1 对奇异向量的海温场时间系数与 500 hPa 高度场的相关分布,图中 500

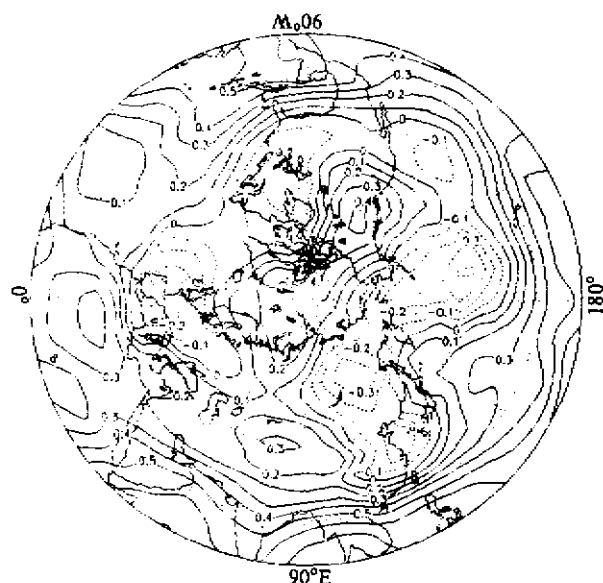


图4 第1对奇异向量的海温场时间系数与秋季北半球500 hPa高度场的遥相关分布

东亚 (60°E 以东) 为其中的1波: $60\sim 100^{\circ}\text{E}$ 为正异常, 对应着新疆脊位置, 其东侧的负异常区为东亚大槽。呈南北走向, 位于 120°E 附近, 而且东亚槽区的异常强于新疆脊异常。东亚的这种特征与其冬季的盛行环流相似, 由此可见, 赤道太平洋海温的异常偏高 (即有 El Niño 现象), 促使了冬季盛行环流在秋季的异常发展, 500 hPa 高度场出现 PNA 异常流型, 亚洲范围内东亚槽深, 新疆脊强, 相应的东亚中纬度北风加强, 从而造成西北地区特别是西北偏东地区的秋季降水异常偏少, 反之亦然。这与西北降水在旱月和多雨月时的环流特征^[7]是基本一致的。

由 3.1 节的分析可知, 岷县、临夏和吴旗是 El Niño / La Niña 时西北秋季降水异常的代表站。因此, 用此 3 站平均的秋季降水和 Niño 3 区的秋季平均海温分别与图 4 中主要相关中心对应的印缅槽、西太平洋副高等几个环流特征量指数做同期相关计算 (表 2)。可以看出, 大部分相关系数达到了信度检验水平, 其中印缅槽和西太平洋副高面积 (强度) 对赤道东太平洋 SSTa 的响应最为强烈, 对降水的影响也最为明显。表 2 清楚地表明, 秋季海温异常偏高, 有 El Niño 时, 印缅槽减弱, 西太平洋副高异常西伸加强, 脊线偏南, 同时南海副高和北美副高也加强, 东亚槽偏深, 位置偏西, 致使西北地区降水异常偏少, La Niña 时则相反。这与上述的分析结果是完全吻合的。亚洲南部的孟加拉湾是西北降水的主要水汽源地之一。所以, 其上空印缅槽的深浅与西北降水异常有着密切关系。印缅槽深, 则有利于水汽向北输送, 降水就多; 反之, 则降水偏少。虽然降水与东亚槽位置和西太平洋副高脊线的相关未通过显著性检验, 但它们之间的这种相关关系是存在的。

图 5 给出秋季 El Niño 和 La Niña 时北半球东亚范围内 ($10\sim 70^{\circ}\text{N}$, $60\sim 150^{\circ}\text{E}$) 500 hPa 高度距平场的差值合成分布。东亚槽、印缅槽和新疆脊所在的位置依然是差异

hPa 高度场较强的正异常中心 ($r\geq 0.5$) 主要分布在较低纬度: 孟加拉湾至中南半岛、太平洋低纬度以及北美南部, 分别与印缅槽、南海副高、太平洋副高和北美副高相对应。也就是说, 秋季 El Niño / La Niña 时, 这些地方的 500 hPa 高度异常增高 / 降低, 从而使槽变浅 / 加深, 副热带高压加强 / 减弱。从赤道太平洋—加拿大西部—北美南部, 有一个沿大圆路径“+”、“-”相关中心相间排列的波列结构, 类似于 PNA 流型。与图 1a 相对照会发现, 赤道太平洋的海温正异常与其上空的 500 hPa 高度正异常相对应, 30°N 以北的中高纬负 SSTa 与高度场负异常基本对应。中纬度 (40°N) 基本表现出 3 波型、

表 2 秋季岷县、临夏、吴旗 3 站平均降水和 Niño 3 区的秋季平均海温分别与部分环流特征量的同期相关系数

($\alpha_{0.10}=0.283$, $\alpha_{0.01}=0.334$, $\alpha_{0.05}=0.432$, $\alpha_{0.001}=0.536$)

	印缅槽	西太平洋副高面积	西太平洋副高脊线	南海副高强度指数	北美副高强度	东亚槽强度	东亚槽位置
降水	-0.409	-0.559	0.215	-0.352	-0.445	0.309	0.163
海温	0.562	0.406	-0.353	0.524	0.297	-0.101	-0.299

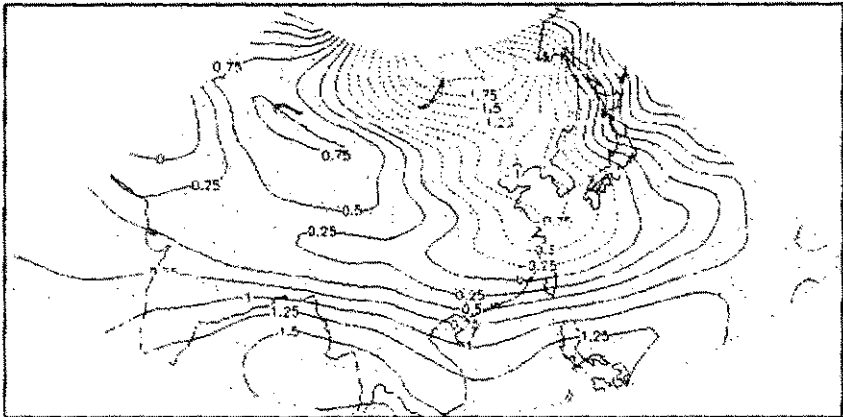


图 5 秋季 El Niño 和 La Niña 时 500 hPa 高度距平场的差值合成分布

较大的地区,与图 4 中的正、负相关区位置一致。东亚槽区为负距平,印缅槽和新疆脊区为正距平。这表明 El Niño 时东亚槽深,印缅槽浅,新疆脊强,环流经向度较大; La Niña 时则相反,东亚区内气流平直。从距平值上看,东亚槽在 El Niño 与 La Niña 时的强度差异要比新疆脊明显。

4.2 海平面气压场特征

图 6 是第 1 对奇异向量海温场时间系数与北半球秋季海平面气压场的同期交叉相关。与 500 hPa 不同的是, El Niño (La Niña) 时海平面气压场的较强异常中心 ($|r| \geq 0.5$) 基本分布在较高纬度,乌拉尔山北部相关最强,达 +0.70,太平洋北部和欧

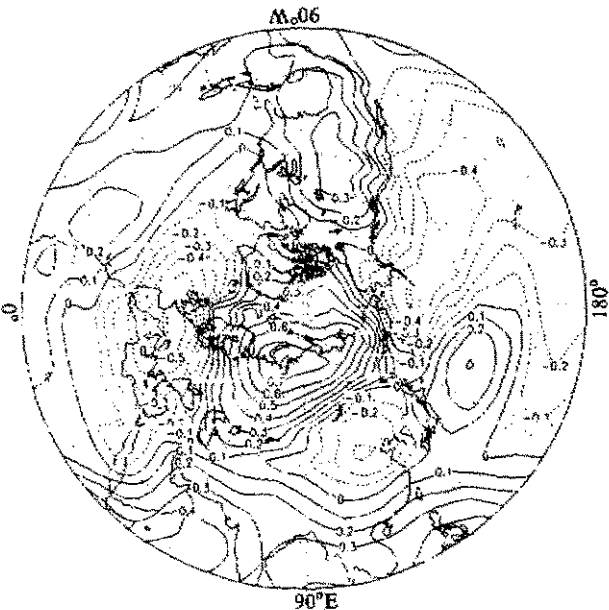


图 6 第 1 对奇异向量海温场时间系数与北半球秋季海平面气压场的同期交叉相关

洲南部是两个较强的负相关区。除了太平洋北部的相关中心与阿留申低压的位置对应以外,其他两个中心并不与大气活动中心(蒙古高压、冰岛低压)相对应,但乌拉尔山北部和北太平洋是北半球海平面气压场的两个主要离散中心^[8]。这表明,秋季有 El Niño (La Niña) 现象时,这 3 个地区海平面气压场的异常尤为明显,乌拉尔山北部气压偏高(偏低),欧洲南部偏低(偏高),阿留申低压加强(减弱)。

5 结语

本文基于 SVD 方法,用 1960~1994 年的资料,对 ENSO 对中国西北地区秋季降水异常的影响进行了统计诊断,表明两者之间存在比较明显的反相关对应关系,而且这种关系的统计事实是清楚的,得出的结论是可以信赖的。但这仅仅是问题的一个方面,西北地区秋季降水异常的变化是复杂的,它与赤道中东太平洋的 SSTA 并非简单的一一对应的反相关关系。第 1 对奇异向量的方差贡献也说明,西北地区秋季降水异常的变化在 66% 左右的程度上与同期的太平洋 SSTA 有关,在 57%、44% 左右的程度上分别与前期夏季、春季的太平洋 SSTA 有关。另外,ENSO 事件是通过某种中间环节与西北地区秋季的降水发生关系,那么从文中的分析来看,西太平洋副高或印度洋上空的系统是否就是这种中间环节之一?其内在机理又如何?这将是我们要深入研究的一个重要问题。

参 考 文 献

- 1 朱炳媛、李栋梁, 1845—1988 年期间厄尔尼诺事件与我国西北旱涝, 大气科学, 1992, 16(2), 185~192.
- 2 Zhu Bingyuan and Li Dongliang, The relationship between tropical Pacific sea surface temperature and summer rainfall over Northwest China *Acta Meteorologica Sinica*, 1992, 6(4), 470~478.
- 3 丁裕国、江志红, SVD 方法在气象场诊断分析中的普适性, 气象学报, 1996, 54(3), 365~372.
- 4 魏凤英、曹鸿兴, 奇异值分解及其在北美陆地气温与我国降水遥相关中的应用, 高原气象, 1997, 16(2), 174~182.
- 5 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, 热带气象学报, 1995, 11(2), 133~138.
- 6 朱 颖、倪允琪, ENSO 对亚洲夏季风环流和中国夏季降水影响的诊断研究, 气象学报, 1998, 56(6), 681~691.
- 7 吴永森、孙武林, 陕、甘、宁、青干旱序列年表及其气候特征, 中国西北干旱气候研究, 北京: 气象出版社, 1997, 59~65.
- 8 白肇烨、徐国昌等, 中国西北天气, 北京: 气象出版社, 1988, 158~164.

Effect of ENSO on the Autumn Rainfall Anomaly in Northwest China

Li Yaohui¹⁾, Li Dongliang²⁾, Zhao Qingyun²⁾ and Feng Jianying¹⁾

1) Lanzhou Arid Meteorological Institute, Lanzhou 730020

2) Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020

Abstract Based on the SVD method, the effect of ENSO on the autumn rainfall anomaly in northwest China were analyzed by using the data from the period 1960–1994. Crossed-correlation between the time coefficient of sea surface temperature in SVD and the geopotential height at 500 hPa and the sea level pressure were used to study the circulation features that cause the rainfall anomaly in an El Niño / La Niña year. The results show that good correlation really exists between the SSTA in east equatorial Pacific and the autumn rainfall anomaly in northwest China. In the year of El Niño, northwest China is dry in autumn, where the rainfed area, the middle east Gansu, the southern Ningxia and the northern Shaanxi is the significant dry region. The circulation features of geopotential height at 500 hPa are that the PNA pattern appears, the strong anomaly centers are located in low latitudes, the west Pacific subtropical high is intensified and extends westward and its ridge line moves southward; the winter prevailing 1-wave flow pattern is abnormally developed in autumn, Xinjiang ridge is intensified, East Asia trough is also intensified and moves westward. At the sea-surface pressure level, the stronger anomaly centers are located in high latitudes, the Ural high is strengthened, the Aleutian low is enhanced. The case of the La Niña year is opposite.

Key words: ENSO; Northwest China; rainfall anomaly