

# 山西省夏季年际气候异常研究

## 1. 山西省一致多雨或少雨型

李智才<sup>1</sup> 宋 燕<sup>2</sup> 朱临洪<sup>1</sup> 张世英<sup>1</sup>

(1. 山西省气象局,太原 030002; 2. 中国气象局培训中心)

**提 要:** 利用美国国家环境预报中心(NCEP)再分析资料以及山西64个测站的月降水量等资料,采用EOF分解和合成分析方法研究了1960—2003年山西夏季降水的年际变化异常以及时空特征。利用EOF方法分析山西夏季降水,第一类雨型是山西省夏季一致多雨型,并给出此类异常雨型的时空分布和相应的典型年份。山西省夏季降水趋势分析表明,自1960年以来山西省夏季降水趋于减少。从500hPa位势高度场、纬向风、850hPa风场、700hPa水汽场、海温场等物理量场分析表明,山西夏季一致多雨年对应偏强的东亚夏季风,一般出现在La Nina事件(冷水事件)发生的当年和El Nino事件(暖水事件)发生的来年,中高纬度地区易出现纬向排列的十一—一环流异常纬向分布型,大陆地区为一个异常槽和两个异常脊,乌拉尔山以东地区和鄂霍次克海是异常高压脊,而贝加尔湖地区是一个异常低压槽。山西省夏季一致少雨年对应偏弱的东亚夏季风,一般出现在El Nino事件(暖水事件)发生的当年和La Nina事件(冷水事件)发生的来年,与一致多雨年相反,中高纬度地区通常呈现纬向排列的十一—一环流异常纬向分布型,大陆地区出现两个异常槽和一个异常脊。山西省夏季第一类雨型的发生与中高纬度地区纬向排列的环流异常分布和赤道太平洋海温异常有关系。

**关键词:** 降水异常 东亚夏季风 一致多雨型 环流异常

## On Shanxi Summer Interannual Climate Change

### I. Concurrent Rich/Seldom Rainfall Pattern

Li Zhicai<sup>1</sup> Song Yan<sup>2</sup> Zhu Linhong<sup>1</sup> Zhang Shiying<sup>1</sup>

(1. Shanxi Meteorological Bureau, Taiyuan 030002; 2. Training Centre, CMA)

**Abstract:** Using American National Centre of Environmental Prediction reanalysis data and monthly

资助课题: 山西省气象局开放式研究基金(SX042002), 成都高原气象研究所高原气象开放基金课题(LPM2005003), 2006年国家自然科学基金课题(40675056)。

收稿日期: 2007年7月23日; 修定稿日期: 2007年9月6日

precipitation data at 64 observational stations of Shanxi Province, the precipitation and temperature anomalies variation and temporal/spatial distribution patterns in 1960—2003 summer was studied with EOF, wavelet analyses and composite analyses methods. The first rainfall pattern over Shanxi Province was concurrent rich/seldom rain pattern. The distinctive years were selected and the corresponding spatial distributions were made out. Summer precipitation trends appeared the same trend pattern with the first rainfall pattern and showed that precipitation in 43 years decreased mainly over whole Shanxi Province. With the first rainfall pattern, analyzed were the general circulation anomalies and meridional winds on 500hPa potential height field, 850hPa wind vector anomalous fields, 700hPa water vapor field and sea surface temperature anomalies and so on. The results showed that concurrent rich rainfall pattern in Shanxi Province corresponded to strong East Asian summer monsoon, normally appeared at the year when La Nina event was happening and El Nino event had happened during last winter. While at mid-and high- latitudes there was latitudinal+—+—anomalous circulation pattern, and over Asian continent there were one trough around Baikal and two ridges around Ural Mountain and Okhotsk Sea respectively. Concurrent poor rainfall pattern corresponded to weak East Asian summer monsoon, normally appeared at the year when El Nino event was happening and La Nina event had happened during last winter. At the same time, at mid-and high- latitudes there was latitudinal—+—+anomalous circulation pattern, and over Asian continent there were two troughs and one ridge. Therefore, The first rainfall pattern in Shanxi Province is strong related to the anomalous latitudinal wave train happened at mid- and high- latitudes and SSTA over the equatorial Pacific Ocean.

**Key Words:** precipitation anomalies East Asian summer monsoon concurrent rich rainfall pattern circulation anomaly

## 引 言

山西属于华北地区,地处黄土高原东部边缘,境内山脉纵横,地形复杂,属于中纬度大陆性季风气候区域,为东亚夏季风北部边缘地带,是我国气候脆弱区之一。一年当中仅夏季受到海洋性暖湿气流影响,为多雨季节,但时间较短。夏季降水约占全年降水量的 3/4 左右,夏季降水的多寡决定了全年的旱涝,对山西省经济发展起到关键的制约作用。其它季节则主要受干燥的大陆性气团控制,气候干燥,雨雪稀少,因而,素有“十年九旱”的说法。特别是进入 1990 年代以后,随着全球变暖的加剧,山西干旱的状况日趋严重。干旱<sup>[1-2]</sup>成为影响山西农业和经济建设的主要自然灾害,其危害超过其它全部气象

灾害总和的两倍以上。但是山西省的气候特征并没有得到很好的研究(尤其是全球加剧变暖以来),因此研究山西省气候异常变化和夏季降水的时空分布特征及环流特征具有极为重要的意义。本文利用较新的和较长的气候资料,对 1960 年代以来山西省夏季降水的变异作了详细分析,主要着重在降水类型的时空分布及其大气环流变异特征上面,得出了一些有意义的结论。

有关研究<sup>[3-7]</sup>表明,1960 年代中期以来华北夏季降水有持续减少趋势,造成华北的干旱日趋严重。但是,在众多研究华北地区旱涝的文献中一般只选取山西三四个站点,或者是网格点资料,这不能准确代表山西夏季降水的时空分布特征。因而很有必要利用山西省较丰富的站点资料,就山西夏季降水的时空分布特征及环流特征进行详细的研

究,从而对华北地区的旱涝变化有进一步的认识。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

选用山西省 65 个站点 1960—2003 年的逐月降水资料和气温资料,分析山西省夏季降水的分布型。其它资料主要是美国国家环境预报中心(NCEP/NCAR)再分析资料,其空间层次为 1000hPa 到 10hPa,共 17 层,水平分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  的经纬度网格。此外还有国际综合海气数据集(International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set,简称 ICOADS)的 SST 格点资料,其分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ,水平范围覆盖全球( $89.5^{\circ}\text{N} \sim 89.5^{\circ}\text{S}$ ;  $0.5 \sim 359.5^{\circ}\text{E}$ ),延伸时段从 1960 年到 2002 年共 43 年数据资料。

### 1.2 方法

利用气候倾向率、经验正交函数分解(EOF)和合成分析等统计诊断方法<sup>[8-11]</sup>,对山西省夏季降水的时空特征进行分析。

显著性检验采用 t 统计量显著性检验,它的表达式为:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

文章中所给出的差值图均计算了显著性,阴影区均代表超过 95% 的显著性检验。

## 2 山西省夏季降水第一类雨型研究

为了分析山西夏季降水异常的空间分布特征,对山西省 65 个台站 1960—2002 年 43 年夏季降水量的标准化资料进行 EOF 分析,结果第一类雨型如图 1 所示。

第一类雨型解释了山西夏季降水总方差的 47.8%,是夏季降水出现频率最大的雨型,

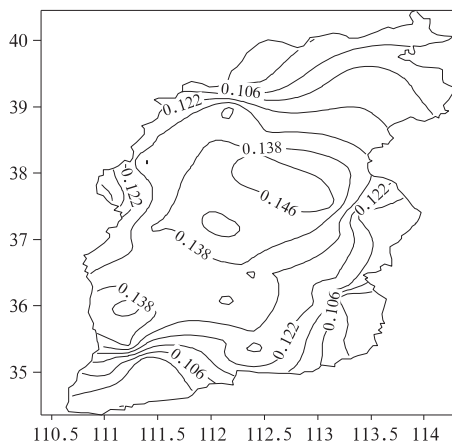


图 1 山西夏季降水的 EOF 第一特征向量

该向量场的相对空间函数全省均为正值,属于同位相,说明山西夏季降水距平的同位相变化占主导地位,反映了全省降水在大多数年份具有一致变化性,体现了山西夏季降水的整体偏多或偏少。变率最大中心位于中部地区,表明此处降水是此降水型的主要代表区;西北部和南部是相对空间函数值较小。

图 2 给出了山西 65 个台站夏季降水 EOF 分析第一特征向量所对应的时间系数,可以看出此类雨型均表现出明显的年际变化。从图上可以看出,正位相与负位相事件相当,即山西省全省夏季降水一致偏多或偏少的概率相当。这反映出受大气环流异常的影响,山西省夏季降水异常变化的最大概率是趋于整体一致的多雨或少雨变化。

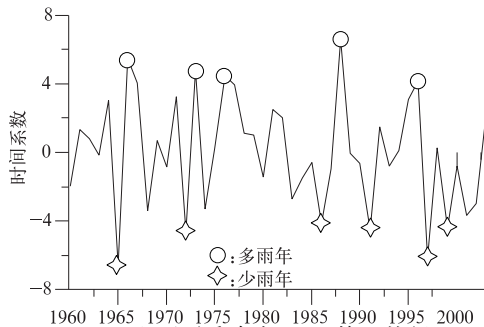


图 2 山西夏季降水 EOF 第一特征向量对应的时间系数

为了考查山西省夏季降水的变化趋势,计算了 65 个台站夏季降水的线性趋势系数(无量纲数值),如图 3 所示。图 3 表明,全省除北部局部外几乎均为负的降水趋势,而中部地区的负趋势最为明显,北部地区较弱。说明自 1960 年以来,山西省夏季降水一直处在减少的趋势,干旱较为明显,尤其是中部吕梁、晋中、阳泉等地区干旱趋势更为严重。这与全球变暖,东亚夏季风年代际变化趋于减弱的结论是一致的<sup>[12]</sup>。

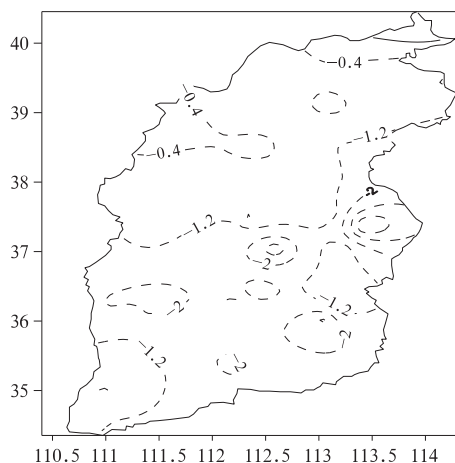


图 3 山西省 65 个台站夏季降水的线性趋势系数(单位:/年)

### 3 山西夏季第一类降水分型分析

环流异常是引起降水异常的直接原因,为了分析引起山西夏季第一类雨型的环流异常及其环流差异,采用了合成分析方法,分别挑出对应第一类降水雨型的典型年份,进行环流分析和对比。

根据 EOF 分析第一特征向量对应的时间系数,找出对应第一类异常雨型的典型年份(见图 2,即大于一个标准差的降水异常年份),如表 1 所示。

表 1 第一类雨型对应的降水异常年份

降水异常类型	降水异常年份
整体偏多	1966、1973、1976、1988、1996
整体偏少	1965、1972、1986、1991、1997、1999

### 3.1 第一类雨型环流特征分析

#### 3.1.1 500hPa 位势高度场的合成分析

将表 1 中的第一类雨型多雨年和少雨年 500hPa 高度场分别进行合成分析。从山西一致性多雨年的 500hPa 平均场上(图略),亚洲中高纬度地区为纬向环流,贝加尔湖附近为一浅槽,在合成距平场上(图略),贝加尔湖附近有负异常中心,乌拉尔山地区及鄂霍次克海有正异常中心,中高纬差值环流近乎纬向分布,出现一个异常槽和两个异常脊。这样的环流配置使得影响我国的北方冷空气势力较强,环流稳定且持久。贝加尔湖的负异常使贝加尔湖到我国华北的低槽加深,冷空气活动频繁,同时南方西南暖湿气流向北输送,华北地区处在槽的东南部,冷空气交汇,使本省出现一致性多雨。

在山西一致少雨年的 500hPa 平均场上(图略),亚洲中高纬度地区为两槽一脊型,贝加尔湖附近为脊区,欧亚中高纬地区无明显的阻塞形势发展。在合成距平场上(图略),亚洲中高纬地区差值环流从西到东呈现一十—的环流异常纬向分布,乌拉尔山一带是强的负异常中心,蒙古附近上空为一强度很大的正异常中心,鄂霍次克海为负异常区,两个异常槽和一个异常脊分布加强,华北地区处于异常脊区的东南侧,地转风异常为偏北气流,在下沉气流控制下,使得山西夏季一致性少雨。

上述特征,在多雨年减少雨年的差值分布图(图 4)中也可以明显看出,亚洲中高纬地区的差值环流呈纬向分布,从西到东出现一十—的环流异常纬向分布。在乌拉尔山附近、贝加尔湖附近、西北太平洋区均为差异大值区,乌拉尔山以东、巴尔喀什湖以北地区通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,表明中高纬度大陆地区存在稳定的一槽两脊形势,以乌拉尔山以东的脊最强。贝加尔湖和蒙古上空存在显著的负异常,说明有低压槽加强,华北地区处在槽的前方,地转风异常为西南风。日本岛以西是显著的正异常区,表明副高偏

北且偏西。整个环流形势有利于西南季风气流的向北扩张,山西省处在西南气流的控制下,有利于夏季季风降水加强。

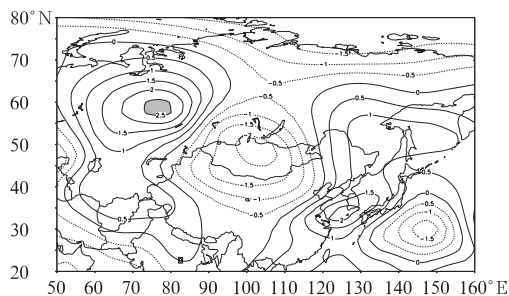


图4 多雨年减少雨年 500hPa 高度差值场和显著性 t 检验  
阴影区表明通过  $\alpha=0.05$  显著性检验

由以上分析可以得出,中高纬度地区大尺度环流场的变异引起纬向排列的环流异常分布,使得华北地区夏季气候场产生变异,从而引起山西省夏季降水异常。

### 3.1.2 500hPa 经向风合成分析

同理,对多雨年和少雨年 500hPa 经向风进行合成分析。在山西一致性多雨年 500hPa 经向风合成距平场上,华北地区(包括山西省)为正距平包围(图略),说明南风异常较常年偏强。在一致性少雨年 500hPa 经向风合成距平场上,华北地区(包括山西省)为较强的负距平包围(图略),有北风异常,东亚夏季风偏弱。从一致性多雨年减少雨年 500hPa 经向风距平差值图(图 5)上可以清楚地看到,位于东亚大陆地区的我国东部沿岸存在明显的偏南风异常,并且通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,说明一致多雨年份南风偏强,东亚夏季风偏强。

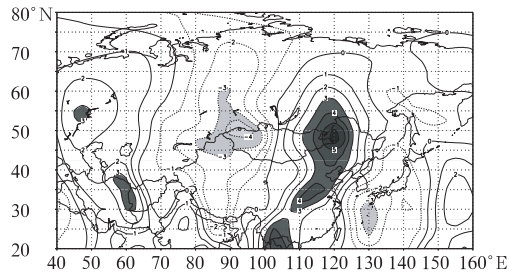


图5 多雨年减少雨年 500hPa 经向风差值和显著性 t 检验  
阴影区表明通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验

### 3.1.3 对流层低层(850hPa)风场分析

图 6 给出了山西一致性多雨年和少雨年所对应的 850hPa 水平风场的合成距平场的风矢量分布。在山西一致性多雨年(图 6a),贝加尔湖以南及蒙古上空有一个气旋式环流异常,其南侧偏西气流异常与偏南气流异常在山西地区附近相遇,加强这个地区的对流,促使降水偏多。强的西南季风异常从南海地区一直深入我国东部大陆直达东北地区,我国东部地区处在强季风控制之下,华北地区也被一致的偏南气流覆盖,有利于水汽的输送。西太平洋靠近大陆地区存在弱反气旋环流异常,表明副高偏西且较强。在山西省一致性少雨年(图 6b),风场正好相反,蒙古上空是弱的反气旋式环流异常,我国东部大陆盛行较强的偏北气流,从东北地区一直延伸到南海地区,十分不利于西南水汽向北的输送,因而造成华北地区一致性少雨。另外,在西太平洋远离大陆地区存在一个明显的反气旋环流异常,说明副高强且偏东。从以上分析可看出,山西省夏季一致多雨年对应华北地区有强的偏南风异常,东亚夏季风强;一致少雨年对应华北地区有强的偏北风异常,东亚夏季风弱。

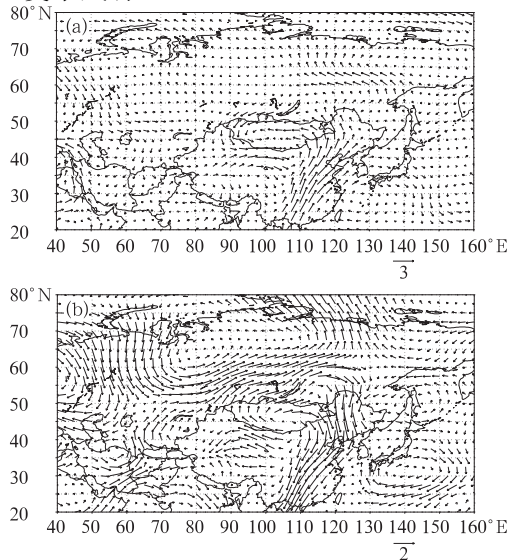


图6 全省多雨年(a)和少雨年(b) 850hPa 风矢量距平场



### 3.1.4 700hPa 水汽(相对湿度、经向纬向水汽输送)分析

在山西省一致多雨年,700hPa 相对湿度距平场(图略),华北地区处于正距平区,而少雨年时正好相反,处于负距平区,从多雨年减少雨年相对湿度的差值场(图 7)上可以看出山西处于显著差异区,并且通过了 95% 的显著性检验。

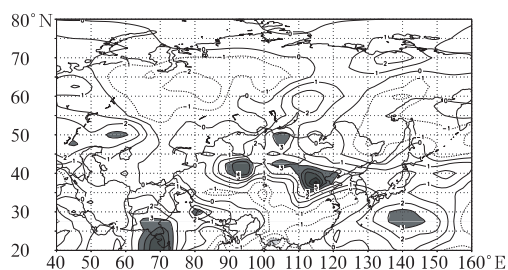


图 7 多雨年减少雨年 700hPa 相对湿度差值场及显著性 t 检验  
阴影区表示通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验

大气中的水汽输送对区域旱涝有很大的作用。我们用  $uq$ (纬向风与比湿的积)表示纬向水汽通量输送,用  $vq$ (经向风与比湿的积)表示经向水汽通量输送。

在纬向水汽输送距平场(图略)上可以看出,多雨年时华北地区位于正距平区,说明由西向东的纬向水汽输送是加强的,少雨年时华北地区处于较强的负距平区,由西向东的纬向水汽输送是减弱的。在多雨年减少雨年 700hPa  $uq$  差值场(图 8a)可以看到山西省位于通过 95% 的显著性检验差异区,说明多(少)雨年对应强(弱)的纬向水汽输送。

在经向水汽输送距平场(图略)上可以看出,多雨年时华北地区位于正距平区,说明由南向北的经向水汽输送是加强的,少雨年时华北地区处于较强的负距平区,由南向北的经向水汽输送是减弱的。在多雨年减少雨年 700hPa  $vq$  差值场(图 8b)同样可以看到山西位于通过 95% 的显著性检验差异区。说明多(少)雨年对应强(弱)的经向水汽输送。

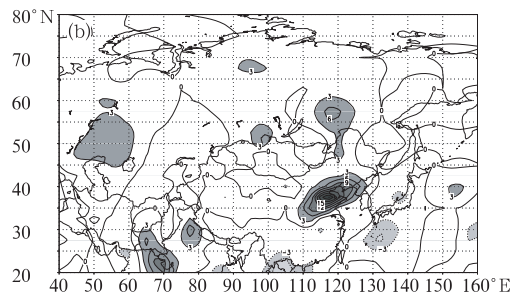
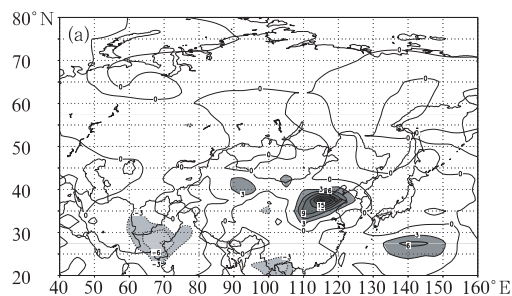


图 8 多雨年减少雨年 700hPa 水汽输送差值场及显著性 t 检验  
(a)  $uq$  差值场 (b)  $vq$  差值场  
阴影区表示通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验

由此可以看出,在一致性多雨年,华北上空在南侧为向北的水汽输送距平区,在西侧为向东的水汽输送距平区,表明华北的水汽总输送是增强的,使山西夏季降水增多,出现一致性多雨年。在一致性少雨年,华北上空为向南的水汽输送距平区,在西侧为向西的水汽输送距平区,表明华北的水汽总输送是减弱的,使山西夏季降水减少,出现一致性少雨年。以上分析表明,山西省夏季降水的多(少)雨年对应华北地区强(弱)的西南季风水汽输送。

### 3.1.5 海温场分析

资料分析表明,在山西一致性多雨年的 5 年里,有 4 年为 ENSO 暖水事件在当年春季结束,1 年为弱的 ENSO 冷水事件。在山西一致性少雨年的 6 年里,有 5 年在 ENSO 暖水事件发生的当年。

在一致性多雨年的海温距平场上(图略),赤道东太平洋地区为负距平,类似冷水事件(La Nina)时期海温异常分布特征。在

少雨年的海温距平场上(图略),与此正好相反,类似暖水事件(El Nino)时期海温异常分布特征。从多雨年减少雨年当年夏季海温距平的差值图(图 9a)上可以看出,在赤道东太平洋地区存在显著的负海温异常,而在西太平洋暖池附近有正的异常,表明冷水事件(La Nina)/暖水事件(El Nino)发生的当年山西省夏季容易一致多雨/一致少雨;从多雨

年减少雨年前年冬季海温距平的差值图(图 9b)上可知,前年冬季赤道东太平洋存在显著的正异常,表明暖水事件(El Nino)/冷水事件(La Nina)发生的来年夏季,山西省容易一致多雨/一致少雨。而中北太平洋海温异常变化不如赤道东太平洋显著。因此,山西省夏季降水的多寡与赤道太平洋海温异常有关系。

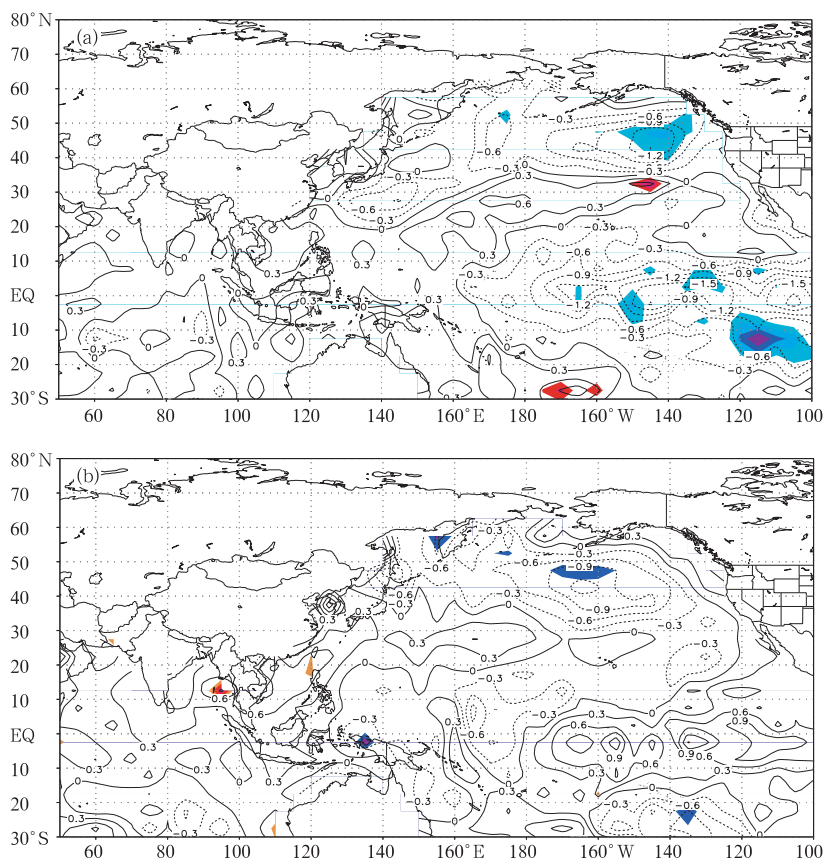


图 9 多雨年减少雨年当年夏季(a)及前冬 12—2 月份(b)海温距平差值场及显著性  $t$  检验  
阴影区表示通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验

#### 4 结论

(1) 根据 EOF 分解的第一主分量,山西夏季降水的第一类雨型反映了全省夏季降水

的同位相变化型,体现了山西夏季降水的整体偏多或偏少。

(2) 夏季降水趋势分析表明,山西省夏季降水呈负的线性趋势,即全省夏季降水趋于减少,中部地区最为明显。

(3) 第一类雨型多雨年与少雨年的 500hPa 差值场表明,中高纬度地区大尺度的环流异常引起十一纬向排列的环流异常分布造成山西省夏季降水的异常分布。当贝加尔湖附近有负异常中心,乌拉尔山地区及鄂霍次克海有正异常中心时,中高纬大陆地区呈现一个异常槽和两个异常脊,这时影响我国的冷空气势力较强。少雨年乌拉尔山和鄂霍次克海一带是强的负异常中心,蒙古附近上空为一强度很大的正异常中心,中高纬大陆地区为两个异常槽和一个异常脊,华北地区处于脊区的下沉气流控制。因此,当第一类雨型出现时,在中高纬地区的大气环流呈现出纬向型排列的异常波列分布。

(4) 在山西一致性多雨年 850hPa 风场上我国东部大陆存在一致的西南气流,有利于水汽从南海地区向北的输送,水汽总输送是增强的,副高位置偏西。在山西一致性少雨年风场正好相反,我国东部为较强的偏北气流,十分不利于西南水汽向北的输送,水汽总输送是减弱的,副高位置偏东且强。说明山西夏季一致多雨年对应偏强的东亚夏季风,山西夏季一致少雨年对应偏弱的东亚夏季风。

(5) 山西省夏季一致性多雨年一般出现在 La Nina 事件发生的当年和 El Nino 事件的来年,而山西省夏季一致性少雨年一般出

现在 El Nino 事件发生的当年和 La Nina 事件的来年。山西省夏季降水的多寡与赤道太平洋海温异常有关系。

## 参考文献

- [1] 张怀德. 山西干旱灾害分析, 96-908-05-02 专题阶段成果文集[M]. 北京: 1999; 57-64.
- [2] 山西通志 气象志[M]. 北京: 中华书局, 1999; 82-86.
- [3] 陈烈庭. 华北各区夏季降水年际和年代际变化的地域性特征[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 477-485.
- [4] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465-476.
- [5] 宋燕, 季劲钧. 六十年代亚非夏季风十年尺度的突变[J]. 大气科学, 2001, 25(2): 200-208.
- [6] 夏洪星. 华北东部地区干旱分布特征[J]. 气象, 1996, 22(11): 35-40.
- [7] 山西气候预报课题组. 山西省气候干旱及其成因的研究[M]. 1997; 10-22.
- [8] 符淙斌. 气候突变现象的研究[J]. 大气科学, 1994, 18(3): 373-384.
- [9] 彭加毅, 孙照渤, 朱伟军. 70 年代末大气环流及中国旱涝分布的突变[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(3): 300-304.
- [10] 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴, 等. 西北地区近 40 年年降水异常的时空特征分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 245-252.
- [11] 牛存稳, 张利平, 夏军. 华北地区降水量的小波分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 66-70.
- [12] 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 等. 1873—2000 年东亚夏季风变化的研究[J]. 大气科学, 2004, 28(2): 206-215.