

郭媛媛,董春卿,苗爱梅. 东亚副热带夏季风与山西省夏季降水的关系[J]. 干旱气象,2014,32(1):32-37, [GUO Yuanyuan, DONG Chunqing, MIAO Aimei. Analysis of Correlation Between East Asian Subtropical Summer Monsoon and Summer Precipitation in Shanxi Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(1):32-37], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0032

## 东亚副热带夏季风与山西省夏季降水的关系

郭媛媛,董春卿,苗爱梅

(山西省气象台,山西 太原 030006)

**摘要:**利用山西省58个台站1960~2009年夏季降水资料和NCAR/NCEP逐月再分析资料,在考虑蒙古中纬度地区和西太平洋副热带地区大气环流特征的基础上,根据海陆气压差建立了东亚副热带夏季风指数,并研究该指数与山西省夏季降水的关系。结果表明:东亚副热带夏季风指数 $I_{SSM}$ 表现出明显的长期气候变化趋势,20世纪60~70年代以正值为主,而70年代末之后以负值为主。 $I_{SSM}$ 指数能够很好地反映出蒙古低压和西太平洋副热带高压系统的典型特征。东亚副热带夏季风越强对应着山西夏季降水越多,山西中部、南部偏东的大部分区域属于东亚副热带夏季风控制区,运城盆地、西部高原山地、忻州盆地、大同盆地等属于东亚副热带夏季风西北边缘区。

**关键词:**东亚副热带夏季风;蒙古低压;西太平洋副热带高压;山西夏季降水

**文章编号:**1006-7639(2014)-01-0032-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0032

**中图分类号:**P426.61

**文献标识码:**A

### 引言

东亚副热带季风的强弱直接影响着中国东部雨带位置和降水多少,如何定量描述东亚季风的强度及其变化长期以来一直是气象科学的重要前沿问题<sup>[1-4]</sup>。不同的学者从不同的角度定义了不同的东亚夏季风指数<sup>[5-8]</sup>。郭琪蕴<sup>[5]</sup>、施能等<sup>[6]</sup>认为东亚大陆的季风是由纬向海陆热力差异形成的,而表面气压的变化在很大程度上可以反映下垫面的热力状况,因此采用 $10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ ( $20^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ )平均的海平面气压在 $110^{\circ}\text{E}$ 和 $160^{\circ}\text{E}$ 之间的差值来指示东亚副热带地区的热力差异,并进一步来表示季风的强弱。孙照渤等<sup>[7]</sup>用施能的季风指数讨论了季风与中国华北地区降水的年代际变率的关系;赵平等<sup>[8]</sup>指出东亚夏季风偏弱时,低层的异常北风增加了东亚中纬度地区较强的冷空气活动,造成长江流域梅雨锋区的辐合和上升运动,导致长江流域降水增加。山西夏季降水的发生发展既受到中低纬度系统影响,又受高纬度冷空气活动制约<sup>[9-10]</sup>,蒙古附近、西太

平洋副高的大气环流异常与山西夏季降水有密切的关系。因此有必要综合考虑中低纬度和高纬度的环流特征,建立一个简单的副热带季风指数,探讨其与山西夏季降水异常的关系。

山西省地形复杂,谷岭交错。特殊的地形地貌及季风边缘区的地理位置,使得山西与同纬度的华北平原相比,呈现出特殊的气候特征。很多学者对华北地区、山西区域的旱涝机理进行了大量研究<sup>[9-14]</sup>。张秉祥等<sup>[11]</sup>研究了华北地区空中水汽含量与降水量的关系,指出华北地区夏季涝年在南海至西太平洋有明显的水汽向华北地区辐合,同时西风带也有水汽向华北输送。郭媛媛等<sup>[9]</sup>分析山西夏季降水异常与赤道东太平洋海温异常的关系,指出在前期春季赤道东太平洋冷水年,西太平洋副高附近上空下沉气流发展旺盛,西太平洋副高发展加强,山西夏季降水增多。影响山西夏季降水异常的因素是多方面的,目前对东亚副热带夏季风异常与山西区域降水异常的关系研究较少。本文利用NCAR/NCEP的月平均再分析资料和山西58站夏

收稿日期:2013-09-06;改回日期:2013-12-11

基金项目:山西省气象局重点科研项目“基于中尺度模式的山洪地质灾害精细化气象预报系统”(SXKZDTQ20138701)、“山西省环境空气质量预报数值模式研究”(SXKZDTQ20140601)、山西省气象局一般课题“影响山西夏季降水的水汽输送及其源地的研究”(SXKYBYB20138708)共同资助

作者简介:郭媛媛(1983-),女,山西平定人,硕士研究生,工程师,主要从事中期天气预报、短期气候预测研究. E-mail:guoyy36@gmail.com

季逐月降水资料,定义东亚副热带夏季风指数,讨论该指数与东亚低纬度、中纬度环流系统的关系,探讨该指数与山西夏季降水变化的关系,并对比分析低纬度和中纬度环流系统对东亚副热带季风和山西区域降水的影响程度,从而为山西省夏季降水预测提供参考依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 站点选择

选用山西省序列完整的 58 个台站 1960 ~ 2009 年逐月降水资料,同时兼顾地域分布的均匀性及站点的代表性(图 1)。根据标准化距平值的方法,定义山西区域 58 个台站 1960 ~ 2009 年夏季(6 ~ 8 月)降水的标准化距平值为该区域夏季降水指数,记为  $R$ 。

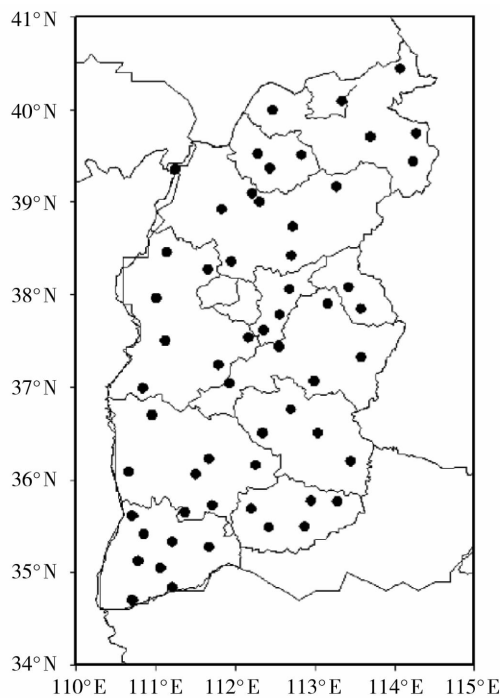


图 1 山西省 58 个观测站点空间分布

Fig. 1 The distribution of 58 observational stations in Shanxi Province

### 1.2 东亚副热带夏季风指数的定义

山西省夏季降水的发生发展既受低纬度系统影响,又受高纬度冷空气活动制约。本文借鉴赵平等<sup>[8]</sup>的方法,建立东亚副热带夏季风指数,综合考虑中低纬和高纬系统对于东亚副热带夏季风的作用。

具体方法:首先对夏季海平面气压进行标准化,其次用  $110^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$  平均的标准化气压( $P_{\text{SIB}}$ )来代表蒙古低压的变化特征,用  $160^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  平均的标准化气压( $P_{\text{SUB}}$ )来表示西太平洋副热带高

压脊的变化特征,最后用  $160^{\circ}\text{E}$  的平均值减去  $110^{\circ}\text{E}$  的平均值,再进行标准化处理,即得到东亚副热带夏季风强度指数:

$$I_{\text{SSM}} = P_{\text{SUB}} - P_{\text{SIB}} \quad (1)$$

对逐月(季节)的夏季海平面气压进行标准化,可以去掉各纬度带均方差不均匀造成的不合理现象;第二次标准化处理,消除单位影响,提供标准化数据资料。与郭琪蕴<sup>[5]</sup>和施能等<sup>[6]</sup>所定义的夏季风指数相比, $I_{\text{SSM}}$ 定义的指数突出了蒙古低压和西太平洋副热带高压的影响。当  $I_{\text{SSM}}$  指数值偏高(或低)时,表示蒙古低压和西太平洋副热带高压偏强(或弱)。将  $I_{\text{SSM}} \geq 1.0$  确定为强季风年(1960、1961、1962、1963、1966 年共 5 a),  $I_{\text{SSM}} \leq -1.0$  确定为弱季风年(1986、1991、1993、2001、2002、2007 年共 6 a),年代际差异定义为这 2 个时期平均值的差值。

## 2 $I_{\text{SSM}}$ 指数与东亚大气环流的关系

### 2.1 $I_{\text{SSM}}$ 指数与同期表面气压的关系

图 2 给出了 1960 ~ 2009 年夏季平均  $I_{\text{SSM}}$  指数与同期夏季表面气压之间的相关系数,阴影部分表示通过 99% 信度检验。 $I_{\text{SSM}}$  指数与亚洲大陆的表面气压存在显著负相关,最大的负相关系数中心主要出现在青藏高原的北侧和东北侧,与西太平洋副热带地区的气压有显著正相关。因此, $I_{\text{SSM}}$  值越大(越小),表明蒙古低压、西太平洋副热带高压越强(越弱)。

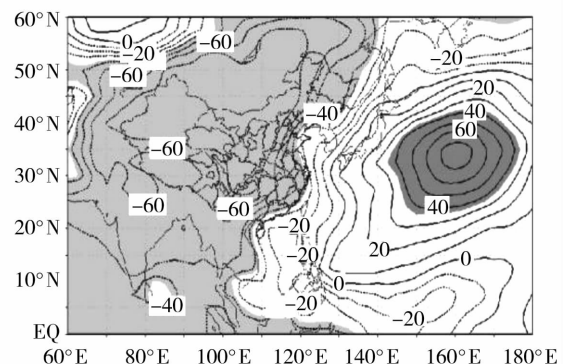


图 2  $I_{\text{SSM}}$  指数与同期表面气压的相关分布  
(图中数值扩大 100 倍,阴影部分表示通过 99% 信度检验)

Fig. 2 Correlation coefficient between  $I_{\text{SSM}}$  and the simultaneous surface pressure  
(Shaded areas denote the 90% confidence level)

### 2.2 高、低 $I_{\text{SSM}}$ 指数年对应的夏季中低层大气环流特征

高、低  $I_{\text{SSM}}$  年份之间的大气环流异常特征在

对流层中低层非常显著。图 3a 为高、低  $I_{SSM}$  年份夏季 500 hPa 位势高度的差值图,从图中可以看出: $< -80$  gpm 的负异常中心位于蒙古高原上空,中心强度能达到  $-100$  gpm;而正异常中心位于西太平洋中纬度一带,其中心值为 20 gpm。位于西太平洋中纬度和蒙古高原上空的正、负异常差值中心均通过了 99% 信度检验,高  $I_{SSM}$  指数年,对流层中层西太平洋副热带高压与蒙古气旋显著加强。定义高、低  $I_{SSM}$  年份夏季 850 hPa 风场差值为 850 hPa 的异常风场,从图 3b 可以看出:蒙古高原上空为气旋式风场距平,表明低层

蒙古气旋发展旺盛,而副热带西太平洋上空多反气旋式风场距平,表明低层西太平洋副热带高压发展旺盛,在它们之间形成了我国东部地区盛行异常的偏南风,整个山西区域都受异常的偏南风(风速距平  $> 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )控制,且一直向北延伸到  $55^\circ \text{N}$  附近,对应着较强的东亚副热带夏季风。

$I_{SSM}$  指数可以反映东亚对流层大气环流的典型特征。当  $I_{SSM}$  指数较高(低)时,以蒙古为中心的东亚大陆热低压偏强(弱),该地区对流层低层为一个异常的(反)气旋环流,且西太平洋副高也偏强(弱),东亚副热带地区低层盛行异常南(北)风。

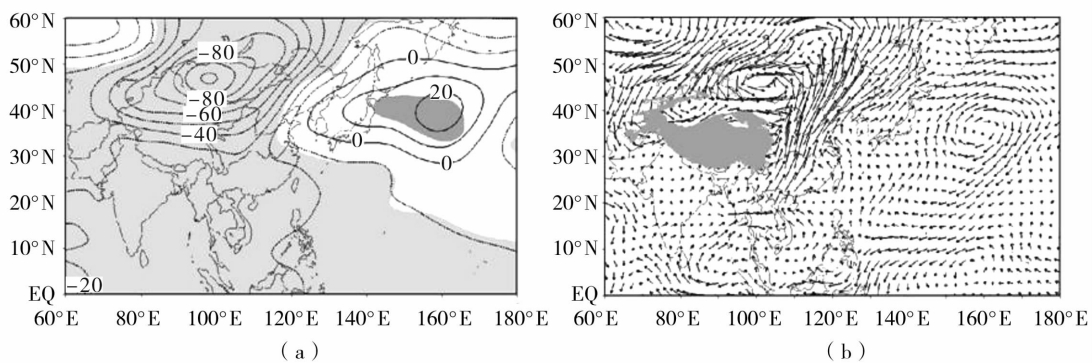


图 3 高、低  $I_{SSM}$  指数年夏季 500 hPa 位势高度合成距平差值图

(a) (单位:gpm, 阴影部分表示通过 99% 信度检验), 850 hPa 风场合成距平差值图(b) (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 3 Difference of 500 hPa geopotential height composite anomaly in summer between the low and high  $I_{SSM}$  years (Shaded areas denote the 99% confidence level) (a) (Unit:gpm), and difference of summer wind composite anomaly at 850 hPa between the low and high  $I_{SSM}$  years(b) (Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

### 2.3 高、低 $I_{SSM}$ 指数年经向垂直环流特征

为更直观地分析高、低  $I_{SSM}$  指数年经向环流的差异,沿  $112.5^\circ \text{E}$  做垂直环流差值的经向剖面(图 4)。对流层中低层的异常上升运动区位于  $35^\circ \sim 45^\circ \text{N}$  之间,最大上升异常中心强度为  $0.048 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,且从底层一直到达 200 hPa 高度,通过了 99% 信度检验。中低层一致的异常偏南风距平带来了异常的水汽输送,与异常的上升运动相配合,导致山西区域降水增加。

## 3 $I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水的关系

### 3.1 $I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水的时间变化特征

从图 5 可以看出,  $I_{SSM}$  指数具有明显的长期气候变化趋势。其中 20 世纪 60 ~ 70 年代  $I_{SSM}$  指数以正值为主,表明蒙古低压和西太平洋副热带高压偏强。自 20 世纪 70 年代末,  $I_{SSM}$  指数以负值为主,表明蒙古低压和西太平洋副热带高压偏弱。  $I_{SSM}$  指数反映出东亚副热带夏季风在 20 世纪 70 年代末减弱的现

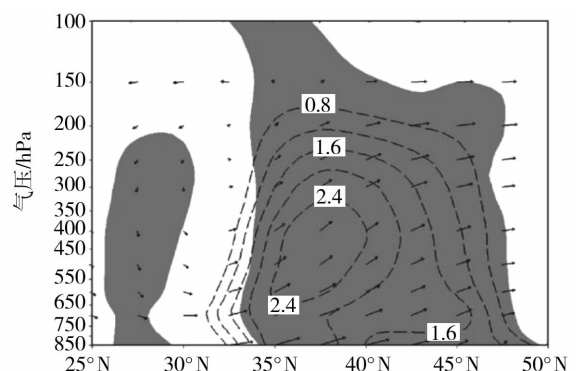


图 4 高、低  $I_{SSM}$  指数年夏季沿  $112.5^\circ \text{E}$  的垂直环流合成差值图

(图中黑色虚线为上升速度差值(单位: $0.02 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 阴影部分表示上升速度差值通过了 99% 信度检验)

Fig. 4 Difference of summer velocities composite along  $112.5^\circ \text{E}$  between the high and low  $I_{SSM}$  years (Black dashed line for velocity difference, Unit: $0.02 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ; Shaded areas denote the 99% confidence level)

象,即由正值转为负值的年代际转折发生在1977年左右。

$I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水指数 $R$ 基本为同位相振动,两者的相关系数达到0.26,通过90%信度检验。从二者的11 a滑动相关来看, $I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水呈现一致的正相关。其中,1981~1992年滑动相关系数 $>0.52$ ,通过90%的信度检验,说明

在东亚副热带夏季风最弱的时候,与山西夏季降水的相关性最好。从1993年开始,滑动相关系数减弱,未能通过检验。因此,东亚副热带夏季风与山西夏季降水的相关性随时间变化而变化,具有年代际变化特征。

### 3.2 $I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水的关系的空间特征

图6为 $I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水的相关系数的空间分布。山西中部、南部偏东的大部分区域(包括太行山南支、太原盆地、临汾盆地、长治盆地等)的夏季降水量与 $I_{SSM}$ 指数为正相关,属于东亚副热带夏季风控制区,其中,阳泉—晋中—东山一带、长治盆地—临汾盆地一带相关系数 $>0.35$ ,正相关关系十分显著。东亚夏季风对上述地区的夏季降水有举足轻重的作用:高 $I_{SSM}$ 指数年对应强东亚副热带夏季风,西太平洋副热带高压和蒙古低压均发展旺盛,副高西侧的偏南风引导海洋上空丰富的水汽输送到大陆上空,与蒙古低压南侧的西北路冷空气交汇,在山西中东部形成明显的降水带。而运城盆地、西部高原山地、忻定盆地以及大同盆地等的夏季降水与 $I_{SSM}$ 指数的相关性很弱,东亚副热带夏季风受地形阻挡等因素影响,对以上区域夏季降水影响不显著。

东亚副热带夏季风在山西范围的西边界,取决于大地形的高度<sup>[17]</sup>。对比相关分布图与美国地质测量局(USGS)提供的2'(4 km)分辨率的山西地形高度分布, $I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水的相关分布可能

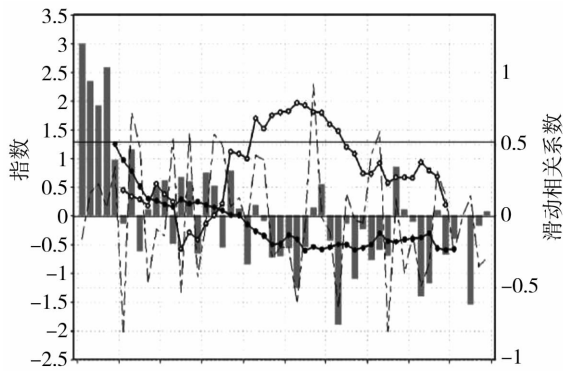


图5 1960~2009年 $I_{SSM}$ 指数(柱状)、山西夏季降水指数 $R$ (虚线)的时间变化(实心黑线为 $I_{SSM}$ 指数9 a滑动平均,空心黑线为11 a滑动相关系数)

Fig.5 The temporal curve of the  $I_{SSM}$  (column) and  $R$  (dashed line) from 1960 to 2009 (The black line with solid circle for 9-year moving average of  $I_{SSM}$ , the black line with hollow circle for 11-year moving correlation between  $I_{SSM}$  and  $R$ )

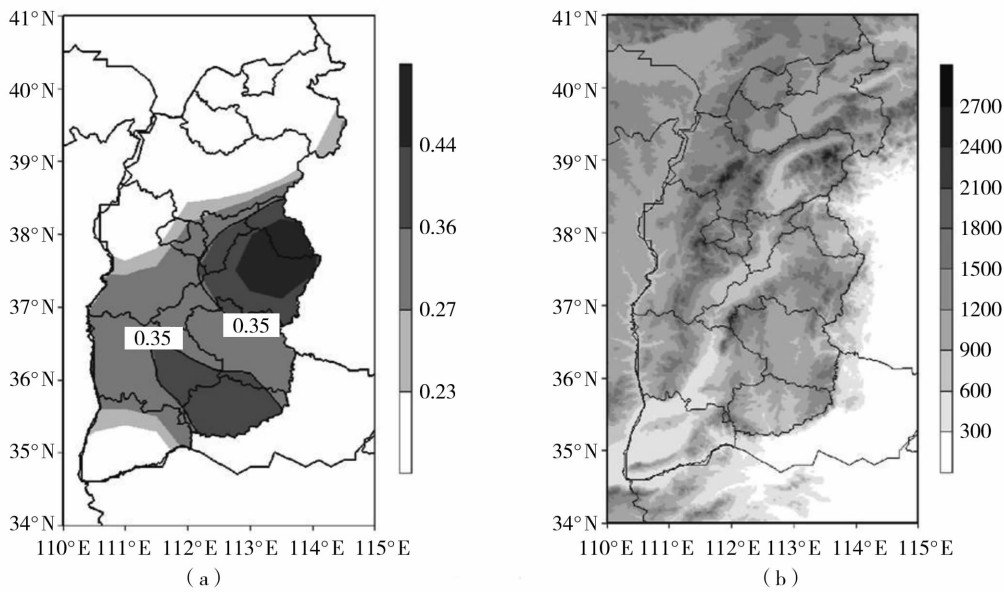


图6  $I_{SSM}$ 指数与山西夏季降水的相关分布(a)和山西地形分布(b,单位:m)((a)中阴影部分由浅到深依次表示通过90%、95%、99%、99.9%信度检验)

Fig.6 Correlation coefficient between  $I_{SSM}$  and the summer precipitation in Shanxi(a) (Shaded areas denote the 90%, 95%, 99% and 99.9% confidence levels) and the terrain height of Shanxi Province (b, Unit:m)

和山西特有的地形分布有关。吕梁山脉—恒山等大地形高度都在 2 000 m 左右,除了气温随高度上升而下降的效应,南来水汽沿山脉爬升时由于降水带来的水汽损耗对降水也有显著的影响,副高西侧偏南风携带的水汽很难到达吕梁山脉以西的高原山地、忻定盆地及大同盆地等,因此,吕梁山脉—恒山等大地形是东亚副热带夏季风活动的西边界。而运城盆地由于受到中条山脉的阻挡,东亚夏季风对夏季降水影响同样较弱。

#### 4 典型 $I_{SSM}$ 指数异常年的山西省降水分布

为验证  $I_{SSM}$  指数异常对于山西省夏季降水的指

示意义,根据图 5 选取 1966 年、1986 年分别作为典型  $I_{SSM}$  高、低值年,分析  $I_{SSM}$  异常年山西省夏季降水的异常分布。

图 7 分别给出了 1966 年和 1986 年山西省夏季降水距平百分率分布图。可以看出:在典型  $I_{SSM}$  高值年,对应东亚副热带夏季风强,山西全省夏季降水距平基本为正距平, >50% 的异常偏多区主要位于山西中南部偏东的区域;在典型  $I_{SSM}$  低值年,对应东亚副热带夏季风弱,山西省全省夏季降水距平基本为负距平, >50% 的异常偏多区主要位于山西中南部。因此,在实际预报中,  $I_{SSM}$  指数能够很好地反映山西省夏季降水的变率。

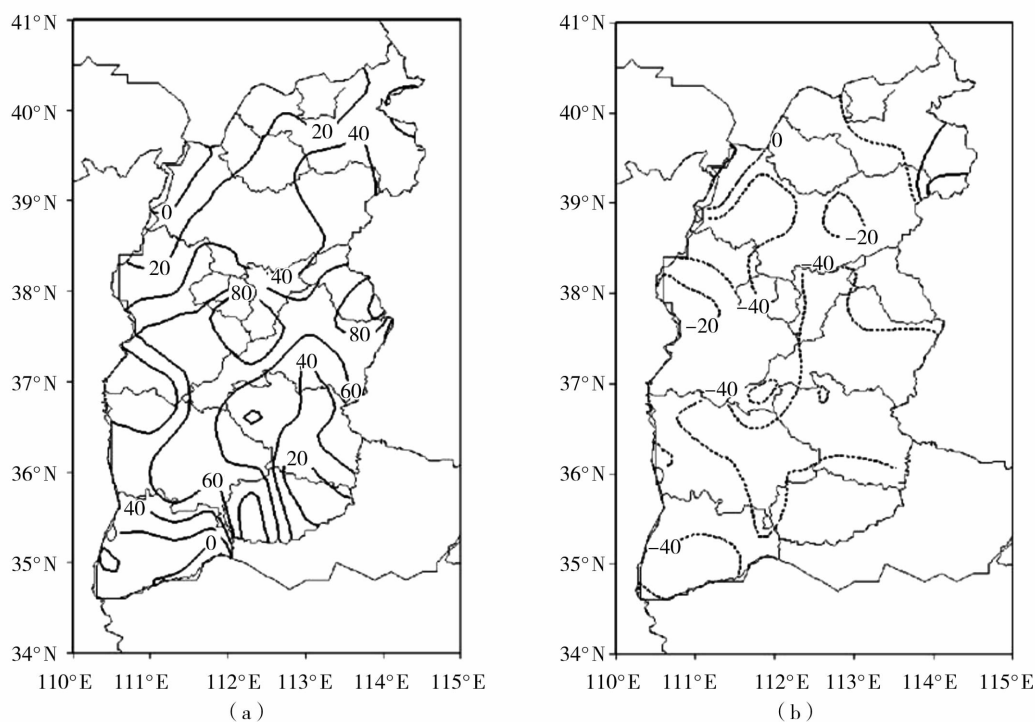


图 7 1966 年(a)及 1986 年(b)山西省夏季降水距平百分率分布(单位:%)

Fig. 7 The distribution of summer precipitation anomaly percentage in Shanxi in 1966 (a) and 1986 (b) (Unit: %)

#### 5 结论与讨论

(1) 根据海陆气压差建立的东亚副热带夏季风  $I_{SSM}$  指数具有明显的长期气候变化趋势,20 世纪 60 ~ 70 年代以正值为主,而 70 年代末之后以负值为主,由正转负的年代际转折发生在 1977 年左右。  $I_{SSM}$  指数与山西夏季降水显著正相关,相关性具有年代际变化特征,东亚副热带夏季风最弱的时候,其与山西夏季降水的相关性最好。

(2)  $I_{SSM}$  指数能够很好地反映出蒙古低压和西太平洋副热带高压系统间的典型特征,高、低  $I_{SSM}$  指数年之间的大气环流异常特征在对流层中低层非常显著。  $I_{SSM}$  高指数年时,以蒙古为中心的东亚大陆热低压偏强,西太平洋副热带高压偏强,同时,中低层一致的异常偏南风距平带来了异常的水汽输送,加上异常的上升运动,导致山西区域夏季降水增加。经过选取典型年回报,效果较好。

(3) 东亚副热带夏季风越强对应着山西夏季降

水越多。山西中部、南部偏东的大部分区域属于东亚副热带夏季风控制区,运城盆地、西部高原山地、忻州盆地以及大同盆地等的夏季降水与  $I_{SSM}$  指数的相关性很弱,属于东亚副热带夏季风西北边缘区。

#### 参考文献:

- [1] Wang B, Fan Z. Choice of South Asian summer monsoon indices [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80(4): 629 – 638.
- [2] 李崇银, 张利平. 南海夏季风特征及其指数[J]. *自然科学进展*, 1999, 9(6): 536 – 541.
- [3] 韩晋平, 王会军. 东亚夏季风年代际变化的若干重要特征及两份大气再分析资料的异同[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(6): 1666 – 1676.
- [4] 周玉孚. 中国东部地区季风进退与雨季起迄的关系[A]. *全国夏季风学术会议文集*[C]. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 311 – 317.
- [5] 郭琪蕴. 东亚季风强度指数及其变化分析[J]. *地理学报*, 1983, 38(3): 207 – 216.
- [6] 施能, 朱乾根, 吴杉贵. 近40年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常[J]. *大气科学*, 1996, 20(5): 575 – 583.
- [7] 孙照渤, 李春, 陈海山. 东亚夏季风的年代际变化及其与华北降水的联系[A]. *我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究*[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 391 – 400.
- [8] 赵平, 周子将. 东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系[J]. *气象学报*, 2005, 63(6): 934 – 941.
- [9] 郭媛媛, 李丽平, 董春卿. 山西省夏季降水与赤道东太平洋海温关系初探[J]. *气象与环境科学*, 2012, 35(1): 14 – 20.
- [10] 王志娟, 周顺武, 杨双艳, 等. 山西省夏季旱涝的大气环流异常特征[J]. *气象*, 2008, 34(9): 104 – 111.
- [11] 张秉祥, 韩军彩, 陈静, 等. 华北地区空中水汽含量与降水量的关系[J]. *干旱气象*, 2012, 30(2): 207 – 214.
- [12] 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.
- [13] 董安祥, 白虎志. 2006年度干旱气候变化与减灾学术研讨会技术总结[J]. *干旱气象*, 2007, 25(1): 88 – 94.
- [14] 王劲松, 李耀辉, 王润元, 等. 我国气象干旱研究进展评述[J]. *干旱气象*, 2012, 30(4): 497 – 508.

## Analysis of Correlation Between East Asian Subtropical Summer Monsoon and Summer Precipitation in Shanxi Province

GUO Yuanyuan, DONG Chunqing, MIAO Aimei

(*Shanxi Meteorological Observatory, Taiyuan 030006, China*)

**Abstract:** Based on the 50 years (1960 – 2009) rainfall data from 58 meteorological stations in Shanxi Province and monthly reanalysis data of NCAR/NCEP, and on the basis of considering the atmospheric circulation characteristics over the western Pacific subtropical area and Mongolia middle latitude area, the east Asian subtropical summer monsoon index ( $I_{SSM}$ ) was established according to the sea pressure difference between land and sea, and the relationship between  $I_{SSM}$  and summer rainfall in Shanxi was investigated. Results show that  $I_{SSM}$  displayed the variability on the decadal scale, and the positive  $I_{SSM}$  mainly occurred in the 1960s and 1970s, and the negative  $I_{SSM}$  mainly occurred after the end of 1970s. The  $I_{SSM}$  could reflect the variations well for both the low pressure in Mongolia and the subtropical high in the western Pacific. The stronger the East Asian summer monsoon was, the more summer rainfall was in Shanxi. The central and southeast regions of Shanxi Province belong to the East Asian subtropical summer monsoon – controlled areas, while Yuncheng basin, Xinzhou basin, and Datong basin belong to the boundary belt of East Asian subtropical summer monsoon – controlled areas.

**Key words:** east Asian subtropical summer monsoon; Mongolia low; the western Pacific subtropical high; summer precipitation in Shanxi Province