

李智才, 宋燕, 武永利, 等. 2010. 东亚夏季风对山西省夏季降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 15 (6): 797–807. Li Zhicai, Song Yan, Wu Yongli, et al. 2010. Effect of East Asian summer monsoon on summer precipitation in Shanxi Province [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (6): 797–807.

东亚夏季风对山西省夏季降水的影响

李智才^{1,2} 宋燕² 武永利¹ 王沛涛³

1 山西省气候中心, 太原 030006

2 中国气象局培训中心, 北京 100081

3 河北省邯郸市气象局, 邯郸 056001

摘 要 利用 NCEP 1948~2007 年逐日再分析资料、中国 600 站 1960~2007 年逐月降水资料和山西省 1960~2007 年 65 个测站的逐月、逐日降水资料, 确立了 850 hPa 112.5°E 上候平均的假相当位温 (θ_{sc}) 为 340 K 和候平均的经向风为南风且南风风速 $\geq 2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 等值线同时通过 35°N 的日期, 将其作为山西省夏季风建立的时间, 以 $\theta_{sc} \geq 340 \text{ K}$ 的持续候数与平均持续候数相比的标准化值构造为东亚夏季风对山西省影响的强度指数 I , 可以较好地表征东亚季风区夏季风的强度和降水的空间分布, 也可以较好地反映山西省夏季降水的强度和空间分布。该季风指数的年代际变化特征和线性趋势表明, 自 20 世纪 70 年代以来东亚夏季风对山西省的影响有明显减弱的趋势, 并且在 1967 年季风指数突变性地由强变弱。对山西省夏季风的建立和撤退时间的分析表明, 近 60 年来东亚夏季风对山西省的影响时间越来越短。最后, 分析了强弱夏季风指数年大气环流场的异常特征。

关键词 夏季风指数 降水异常 夏季风的建立和撤退 环流场异常

文章编号 1006-9585 (2010) 06-0797-11 **中图分类号** P467 **文献标识码** A

Effect of East Asian Summer Monsoon on Summer Precipitation in Shanxi Province

LI Zhicai^{1,2}, SONG Yan², WU Yongli¹, and WANG Peitao³

1 *Shanxi Climate Center, Taiyuan* 030006

2 *China Meteorological Administration Training Center, Beijing* 100081

3 *Handan Meteorological Office of Hebei Province, Handan* 056001

Abstract By using NCEP daily reanalysis data for 1948–2007, monthly precipitation data at 600 observation stations in China for 1960–2007, and monthly and daily precipitation data at 65 observation stations in Shanxi Province for 1960–2007, the date for summer monsoon onset in Shanxi Province was confirmed by verifying the date on which both isolines of pentadly mean potential pseudo-equivalent temperature $\theta_{sc}=340 \text{ K}$ and pentadly mean meridional south wind speed $\geq 2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ overpass 35°N synchronously along 112.5°E on 850 hPa. The summer monsoon index I was constructed by standardizing the ratio of persisting pentads of $\theta_{sc} \geq 340 \text{ K}$ to its normal mean pentads. It was verified that I can represent not only the intensity and spatial pattern of East Asian summer monsoon quite well,

收稿日期 2009-03-03 收到, 2010-05-20 收到修定稿

资助项目 山西省气象局开放式研究基金 SX042002, 国家科技支撑计划课题“气候变化的检测和预估技术研究”(2007BAC03A01), “持续性异常气象事件预测业务技术研究”(2009BAC51B00), 中国气象局气候研究开放实验室 2006 年度开放课题 LCS-2006-01

作者简介 李智才, 男, 1962 年出生, 学士, 高级工程师, 主要从事气候预测及气候变化研究。E-mail: lizhic@126.com

通讯作者 宋燕, 教授, E-mail: songyan@cma.gov.cn

but also those of summer precipitation in Shanxi Province. The interdecadal variability and linear trend of I showed that the influence of East Asian summer monsoon on precipitation in Shanxi Province has weakened obviously since the 1970s, and the abrupt change was around 1967. Analysis on the dates of summer monsoon onset and retreat in Shanxi Province indicated that the persisting time of the summer monsoon is shorter in recent 48 years. Finally, the characteristics of the general circulations for strong and weak summer monsoon indices were analyzed, respectively. The authors mainly focused on the study of the influence of the East Asian summer monsoon on the summer precipitation in Shanxi Province. The result is valuable for both of the research and operation.

Key words summer monsoon index, precipitation anomaly, summer monsoon establishment and retreat, general circulation anomaly

1 引言

东亚夏季风是一种大尺度空间的现象,对东亚地区大气环流特征有很大的影响。山西省地处东亚夏季风的北部边缘地带,属于干旱半干旱地区。山西省降水主要集中在夏季,夏季降水的多寡决定了山西的旱涝情况,因此,东亚夏季风的强弱直接影响到山西省夏季降水的多少。山西省夏季降水的年际和年代际变化十分明显(李智才等, 2008; 宋燕等, 2008)。严中伟等(1990a, 1990b)、宋燕和季劲钧(2001, 2003)、黄刚(2006)的研究表明,20世纪60年代中期以来东亚夏季风就趋于减弱;近二十几年来,随着全球变暖的加剧,东亚夏季风在年代际时间尺度上趋于减弱(郭其蕴等, 2004),使华北地区干旱状况更为严重(张庆云, 1999; 陈烈庭, 1999),山西省也日益干旱化,干旱成为制约山西省发展的主要自然灾害(张怀德, 1999; 牛殿富等, 1999)。

为了深入、定量地研究东亚夏季风对山西省夏季降水的影响,应用一定的方法描述东亚夏季风在山西省地区的建立和撤退日期,定义一个既能反映东亚夏季风强度、又对山西省这一特定的季风边缘区夏季降水有更好指示性的夏季风强度指数是十分必要的。国内外气象工作者对季风的建立及季风强度指数的研究已经做了大量的工作(郭其蕴, 1983; Webster and Song, 1992; 黄刚和严中伟, 1999; 施能和朱乾根, 2000; 孙秀荣等, 2002; 宋燕和季劲钧, 2003; 廉毅等, 2003, 2004; 琚建华等, 2005)。这些季风指数有的是大

尺度的季风指数,有的是区域季风指数;有的是动力季风指数,有的是热力季风指数;还有动力和热力相结合的指数。在某个区域夏季风建立日期,通常是指偏南风 and 降水两个要素值同时达到一定量级,即同时满足热力学和动力学条件。采用能反映特定区域夏季风建立特征的某些气象参数作为指标,以超过一定的临界值确定夏季风的建立日期,通常是有效的做法。由于选择的区域和参数不同,人为规定的临界值有异,因而在不同区域夏季风的建立日期上是有区别的。在确定季风强度指数时主要从动力学因子、热力学因子或二者相结合的方法这三方面考虑。不同方法得到的季风指数对季风降水的描述能力有一定的限制,其反映的我国夏季降水异常也各具特色。但是,为准确描述特定区域的季风的建立和强弱,有必要采用不同季风指数。

借鉴 Fong and Wang^① 的方法,廉毅等(2003, 2004)提出了东亚夏季风在中国东北地区建立的标准,取 850 hPa 候平均资料,作沿 122.5°N 时间—纬度剖面,将假相当位温(θ_{sc})为 336 K 和南风 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 等值线同时越过 40°N 的候定义为东亚夏季风在中国东北区建立的日期(候),并以 $\theta_{sc} \geq 336 \text{ K}$ 的持续时间定义为夏季风指数。本文在参考前人的工作基础上,定义了一个影响山西区域的夏季风指数,通过分析此指数的年际和年代际变化特征,研究近 60 年来山西省夏季风建立、撤退和持续的年代际变化趋势,分析强弱夏季风年的环流变化特征,从而为山西省夏季降水的预测提供参考。

^① Fong S K, Wang A Y. 2001. Climatological Atlas for Asian Summer Monsoon, Macau Meteorological and Geophysical Bureau and Macau Foundation, 318pp.

到目前为止, 还没有一个季风指数可以较好地描述东亚夏季风对季风北部边缘地区山西省影响的强弱。由于山西省的地理位置和地形地貌具有特殊性, 夏季风的建立和维持具有自身的特点, 因此, 应用一个区域夏季风指数研究东亚夏季风对山西省的影响具有重要的意义。

2 资料和方法

本文所使用的资料主要有两部分, 一部分是地面气象资料包括全国 600 站 1960~2007 年月降水资料, 1960~2007 年山西 65 站逐月、逐日降水资料, 另一部分是 1948~2007 年 NCEP/NCAR 再分析逐日资料中的 850 hPa 温度、经向风、比湿等资料, 利用这些资料可以算出逐日的假相当位温 (θ_{sc})。

考虑到山西省位于华北平原的西部, 夏季受偏南季风的影响较为明显, 再考虑到热力因子的影响, 借鉴 Fong and Wang^① 以及廉毅 (2003, 2004) 的方法, 本文利用逐日的 850 hPa 温度、比湿资料计算了逐日假相当位温 (θ_{sc}), 将逐日 θ_{sc}

和 850 hPa 经向风作候平均, 取 25~54 候 θ_{sc} 和经向风资料, 在 $0^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 作 θ_{sc} 和经向风沿 112.5°E 的时间-纬度剖面图, 将某年候平均的 $\theta_{sc}=340\text{ K}$ 和候平均经向风为南风且南风风速 $\geq 2.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 等值线同时通过 35°N (山西省最南部边缘的纬度) 后, $\theta_{sc}\geq 340\text{ K}$ 的持续候数与平均持续候数相比的标准化值定义为沿 112.5°E 东亚夏季风在 35°N 建立的夏季风强度指数

$$I = \frac{S_j - \bar{S}}{\sqrt{\sum \frac{(S_i - \bar{S})^2}{n}}},$$

其中 $S_j = h_j / \bar{h}$, h_j 为第 j 年东亚季风建立后 $\theta_{sc}=340\text{ K}$ 越过 35°N 持续的候数; $\bar{h}$ 为 1948~2007 年 $\theta_{sc}=340\text{ K}$ 越过 35°N 平均持续的候数; S_j 为第 j 年 35°N $\theta_{sc}\geq 340\text{ K}$ 的持续候数与平均持续候数的比值; n 为总年数, 本文为 60; $\bar{S}$ 为 60 年 S_j 的平均值。

从图 1 可以看出, 平均而言, 在 15~60 候之间山西省盛行南风, 在 42 候附近南风达到峰值。降水量、 θ_{sc} 和南风风速数值对应关系非常好, 当南风风速和 θ_{sc} 达到最大值时, 夏季降水量也达到

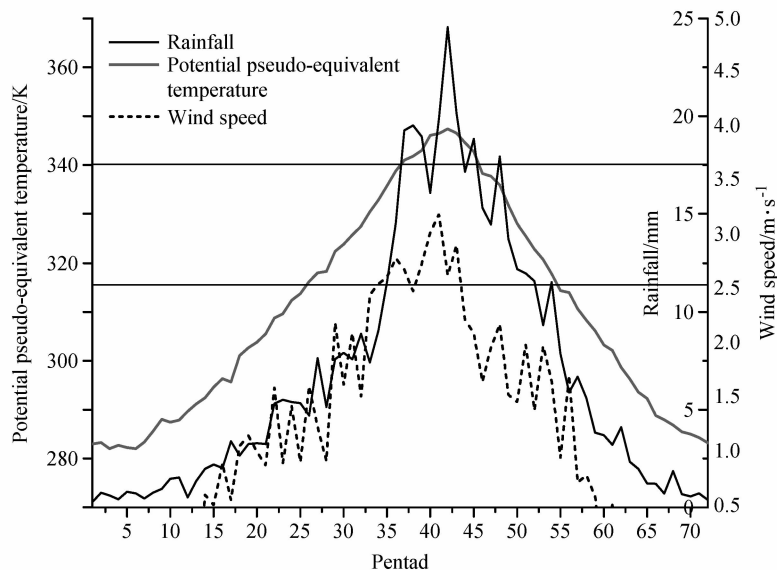


图 1 山西省 1960~2007 年候平均降水量、850 hPa 候平均的经向风和假相当位温

Fig. 1 Pentad-averaged rainfall, pentad-mean meridional wind and potential pseudo-equivalent temperature at 850 hPa during 1960-2007 in Shanxi Province

① Fong S K, Wang A Y. 2001. Climatological Atlas for Asian Summer Monsoon, Macau Meteorological and Geophysical Bureau and Macau Foundation, 318pp.

最大值。因此,用南风和 θ_{se} 的强度表征山西省夏季风的强度、建立和撤退的时间比较合理,利用 θ_{se} 持续时间定义夏季风强度指数对东亚夏季风在山西省的维持具有一定的代表性。

3 东亚夏季风在山西建立和维持的特征分析

3.1 I 与中国东部夏季风的关系

首先需要检验 I 与中国夏季降水的关系是否密切,能否代表中国东部地区夏季风的强度和降水分布特征。从图2可以看出, I 与夏季降水量在华北地区(包括山西省)和东北南部地区呈现显著正相关,而在长江下游地区为显著负相关,两个区域均通过0.05的显著性检验。华南地区表现为正相关区域。这说明,当 I 数值较大时,我国华北地区降水偏多,长江中下游地区降水偏少,而华南地区降水也偏多。由此可见, I 能很好地反映东亚夏季风在华北等地(包括山西省)的强度以及中国东部地区降水的空间分布特征。图2中显示新疆南部也为显著性负相关区,但与夏季风强度并无直接关系,这在郭其蕴等(2003)中有讨论。

从图3可见,我国东部大陆地区从南到北为

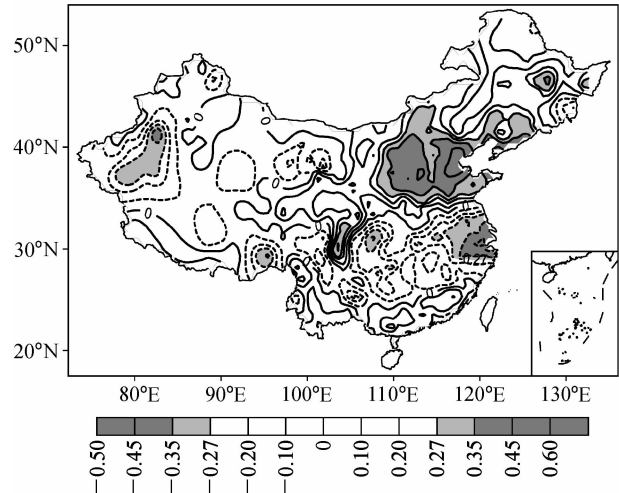


图2 I 与中国600站夏季降水量的相关系数(实线和虚线分别表示正值和负值,浅色和深色阴影分别表示通过0.05和0.01显著性检验)

Fig. 2 Correlation coefficients between the summer monsoon index I and the summer precipitation at 600 weather stations in China (solid and dashed lines denote positive and negative values, respectively; light and dark shaded areas are above 0.05 and 0.01 significance level, respectively)

显著的正相关区域,且通过了0.001显著性检验。这说明 I 较大时,对应着中国东部季风区域盛行强盛的偏南季风气流,从南海地区一直到我国东北地区均为显著的正相关区域,表明东亚夏季风

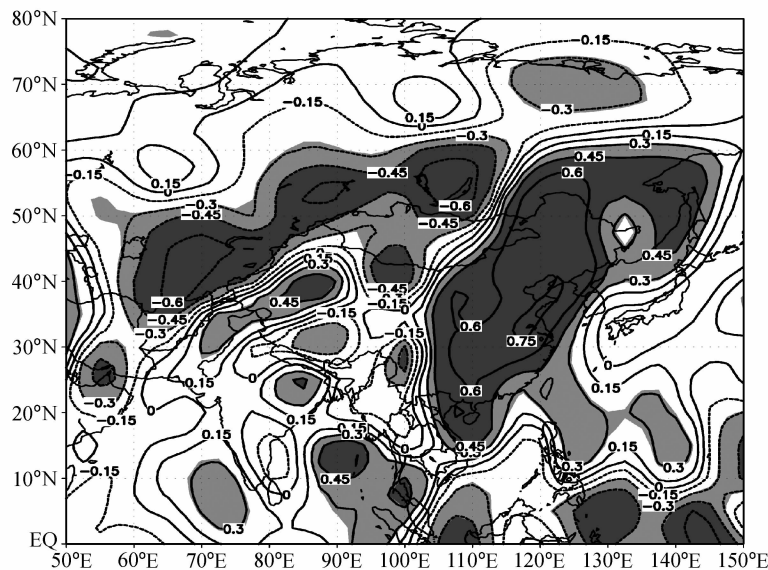


图3 山西省 I 与夏季850 hPa经向风的相关系数(浅色和深色阴影分别表示通过0.05和0.001显著性检验)

Fig. 3 Correlation coefficients of I and 850-hPa meridional wind (light and dark shaded areas are above 0.05 and 0.001 significance level, respectively)

较强； I 较小时，则相反。

从以上分析可见， I 可以很好地表征东亚季风区域夏季风的强度。

3.2 I 与山西省夏季降水的关系

为系统地研究东亚夏季风对山西省夏季降水的影响，图 4 给出了季风指数和山西省夏季降水量随时间变化图。从图 4 可以看出，两者关系对应非常好，并呈现明显的正相关，当季风指数较

大（小）时，山西省夏季降水量偏多（少），相关系数达到了 0.5503，通过 0.001 的显著性检验，说明 I 可以较好地表示山西省夏季降水的强度。

分别计算 I 与山西省 6 月、7 月、8 月、7~8 月及夏季（6~8 月）的相关系数。结果显示， I 与 6 月的降水相关性不显著（图略）， I 与 7 月降水的相关（图 5a）大于 I 与 8 月降水的相关（图略）， I 与 7~8 月降水的相关（图 5b）大于 I 与

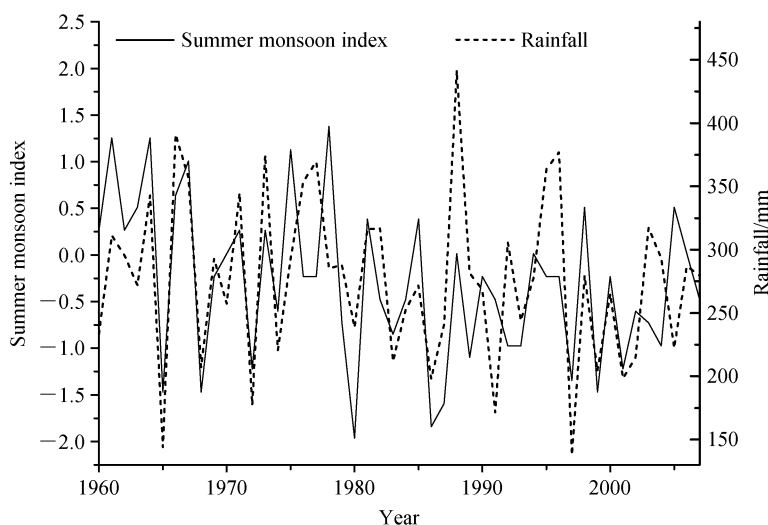


图 4 山西区域的 I 和夏季降水量

Fig. 4 I and the summer rainfall in Shanxi

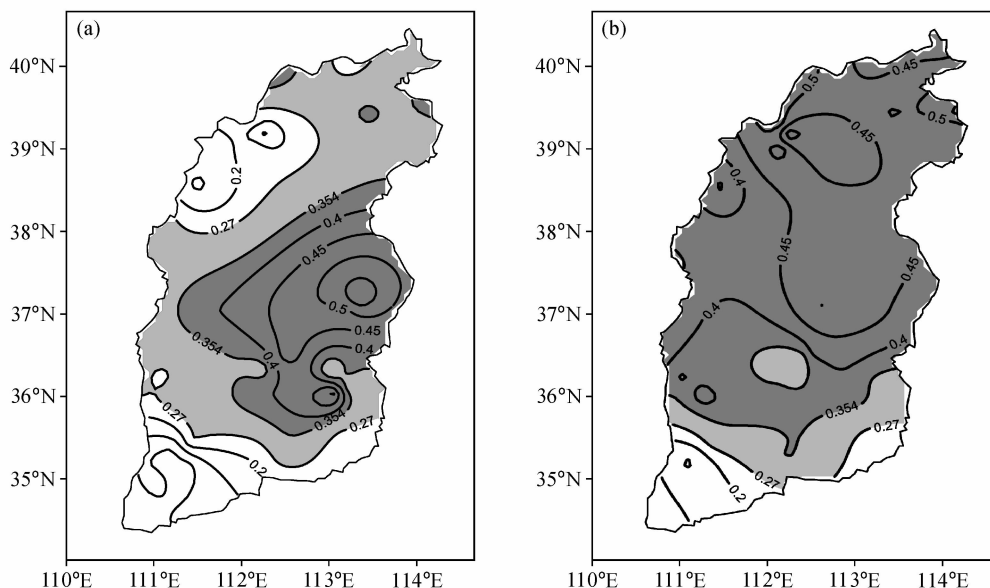


图 5 I 与山西省 (a) 7 月和 (b) 7~8 月夏季降水的相关分布 (浅色和深色阴影分别表示通过 0.05 和 0.001 显著性检验)

Fig. 5 Correlation coefficients of I and the summer precipitation (a) in Jul and (b) from Jul to Aug in Shanxi Province (light and dark shaded areas are above 0.05 and 0.001 significance level, respectively)

夏季降水的相关(图略)。这是因为7~8月包括了山西省的主汛期,是夏季风的极盛期。因此,总体来看, I 能较好地体现山西省夏季风的强度。从图5中可以看到, I 与山西省夏季降水的相关均为正相关,显著正相关区主要集中在山西省中部和北部地区。

4 I 的年际及年代际变化

从图6可以看出, I 的年际变化非常显著,其正(负)值表示季风偏强(弱)。20世纪70年代末 I 的数值有一个明显的改变,在这之前正值偏强,之后负值偏强。图中9年滑动平均曲线显示 I 的年代际变化也很显著,在20世纪60年代中期以前处在正位相阶段,表明此时期夏季风较强;自70年代以来指数主要处在负位相阶段,表明夏季风偏弱。这与宋燕和季劲钧(2001, 2003)与严中伟等(1990a, 1990b)的结果一致。线性趋势表明, I 有明显的减弱趋势,线性趋势数值为 $-0.35 (10 \text{ a})^{-1}$,且通过了0.001的显著性检验。宋燕和季劲钧(2003)指出,20世纪60年代中期以来,由于亚非大陆与印度洋之间的海陆热力差异明显减弱,从而使得包括东亚夏季风在内的亚非夏季风有明显的减弱。

从图7可见, I 在1967年发生了明显的突变,此后开始了显著的减弱,进一步说明东亚夏季风对山西省的影响在20世纪60年代中后期发生突

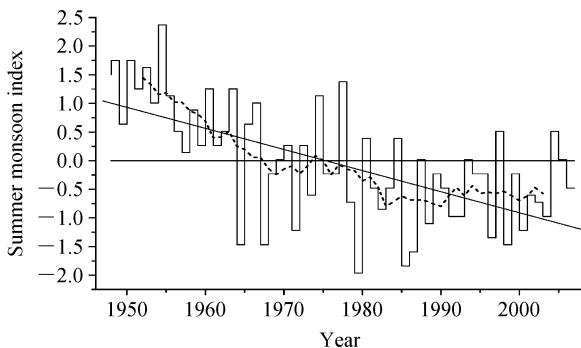


图6 1948~2007年山西区域的 I 变化(实线是线性趋势,虚线是9年滑动平均)

Fig. 6 Variation of I in Shanxi Province during 1948 - 2007 (solid line denotes linear trend, dashed line denotes 9-year running mean)

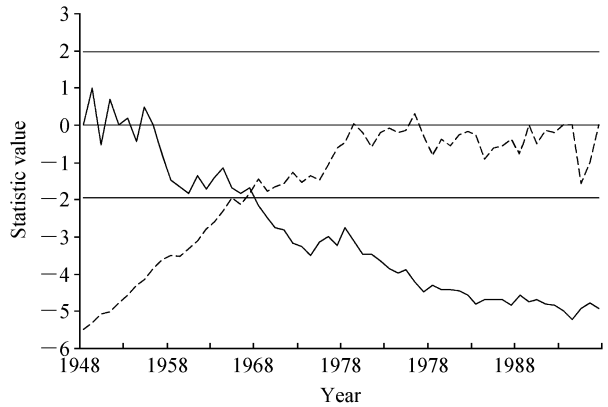


图7 I 指数突变的Mann-Kendall检测(直线为0.05显著性水平的临界值,实线和虚线分别为时间序列的原序列和逆序列的统计量)

Fig. 7 Mann-Kendall test of the abrupt change of I (line denotes 0.05 significance level line, solid line and dashed line denote original time series and retrograde time series, respectively)

变性的减弱,这与宋燕和季劲钧(2003)的研究结果相同。进入20世纪90年代以来减弱趋势有所减缓。

5 东亚夏季风在山西省的建立(撤退)前后的特征分析

把某年候平均的 θ_{sc} 和候平均经向风为南风且风速 $\geq 2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 等值线同时通过 35°N 作为夏季风在山西省的建立时间, $\theta_{sc} = 340 \text{ K}$ 等值线永久撤出 35°N 的候为季风撤退日期。经过计算,1948~2007年东亚夏季风在山西省建立日期平均在37.0候,撤退日期平均在46.6候。计算东亚夏季风建立和撤退日期多年变化的线性趋势(如图8

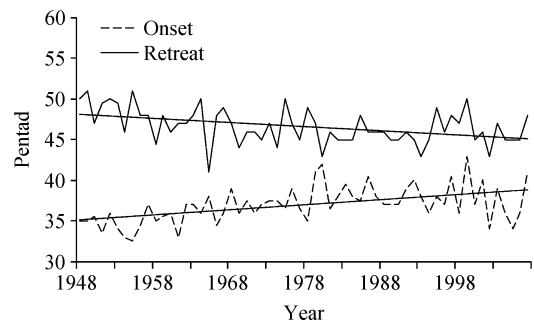


图8 东亚夏季风在山西省的建立及撤退日期及线性趋势

Fig. 8 The time series of summer monsoon onset and retreat dates and linear trends in Shanxi Province

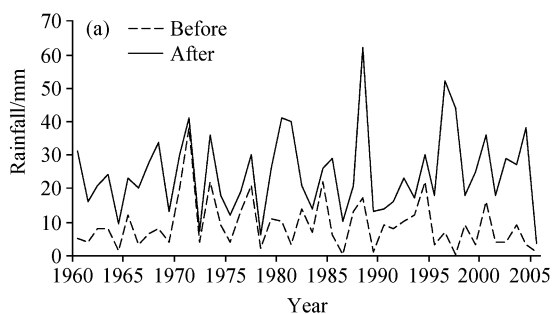
直线所示), 结果显示, 季风在山西省的建立日期逐渐推后, 建立日期的线性趋势为 $3.2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 即平均每 10 年夏季风建立的日期退后 3.2 天 (相关系数为 0.4950); 与此同时, 山西省夏季风撤退日期提前, 线性趋势是 $-2.4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 即平均每 10 年夏季风撤退的日期提前 2.4 天 (相关系数为 0.3962)。这个结果表明, 近 60 年来东亚夏季风对山西省的影响时间越来越短。经过计算得知东亚夏季风在山西省的持续时间平均为 8.9 候, 1948 年以来持续候数明显缩短, 说明自 1948 年以来山西省受到夏季风影响的时间越来越短, 这与图 8 一致, 与东亚夏季风的年代际尺度上的减弱趋势 (图 6) 也非常吻合。

从图 9 可见, 建立前、后及撤退前、后 1 候山西的降水量均有明显的变化, 建立前 1 候的降水量明显小于建立后 1 候的降水量, 撤退前 1 候的降水量明显大于撤退后 1 候的降水量。季风建立前 1 候山西省平均候降水量是 9.1 mm, 建立后 1 候平均候降水量是 24.6 mm, 相差 15.5 mm; 撤退前 1 候平均候降水量是 27.8 mm, 撤退后 1 候平均候降水量是 10.9 mm, 相差 16.9 mm。

6 强弱夏季风指数年的环流场特征分析

根据图 6 中 I 年际变化的大小, 定义 I 大于 1.2 个标准差为山西省强夏季风年份, 小于 -1.2 个标准差为弱夏季风年份。

根据以上选取原则, 强夏季风年有: 1948 年、1949 年、1951 年、1952 年、1953 年、1955 年、1961 年、1964 年和 1978 年; 弱夏季风年有:



1965 年、1968 年、1972 年、1980 年、1986 年、1987 年、1997 年、1999 年和 2001 年。

6.1 降水场的特征分析

图 10 为强季风年与弱季风年中国夏季降水量距平百分率差值和 t 检验图, 由于受降水资料的限制, 强季风年只选用 1960 年以后的典型年份, 即 1961 年、1964 年和 1978 年。从图中可以看出强季风年华北地区、西北东部地区 (包括陕西省、宁夏和甘肃东部地区)、东北部分地区为显著的正异常区, 长江流域和淮河地区为负的异常区, 华南地区主要为正的异常区; 弱季风年与此相反。山西省地区、河北省地区为显著的正异常区域。因此, 在强季风年, 中国东部地区的降水从北向南呈现出华北降水偏多、长江流域偏少、华南地

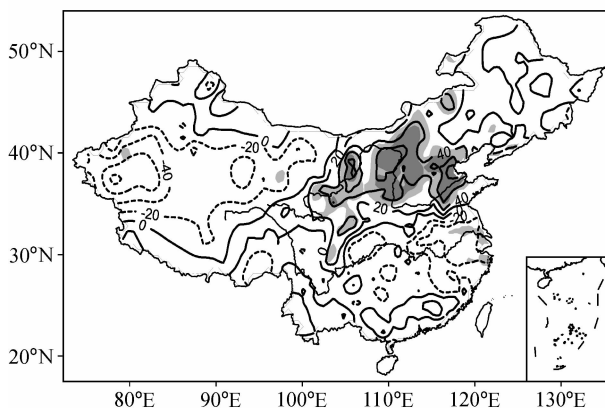


图 10 强季风年与弱季风年中国夏季降水量距平百分率差值 (%) 及 t 检验 (浅色和深色阴影分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性检验)

Fig. 10 Difference of the summer rainfall anomaly percentage (%) in China between strong and weak monsoon years and the t -test (light and dark shaded areas are above 0.05 and 0.01 significance level, respectively)

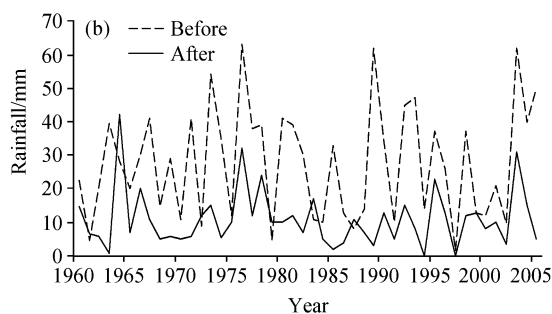


图 9 东亚夏季风在山西省 (a) 建立前后及 (b) 撤退前后的降水量

Fig. 9 Rainfall before and after the summer monsoon (a) onset and (b) retreat in Shanxi Province

区偏多的“多—少—多”的特征分布,而弱季风年则相反。

由图 11 可见,除山西省西南局部地区以外,强夏季风年全省均为正的降水距平,弱季风年全省均为负的降水距平,其中北部和中部地区均为显著性区域。

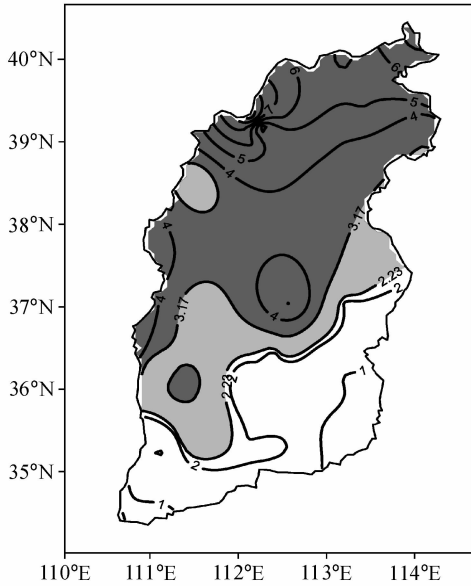


图 11 强季风年与弱季风年山西省 7~8 月降水量距平百分率差值 (%) 及 t 检验 (浅色和深色阴影分别表示通过 0.05 和 0.001 显著性检验)

Fig. 11 Difference of the rainfall anomaly percentage (%) during Jul and Aug in Shanxi Province between strong and weak monsoon years and the t -test (light and dark shaded areas are above 0.05 and 0.001 significance level, respectively)

从以上分析可见,山西区域的 I 可以很好地表征东亚和山西省夏季降水的强度和空间分布。

6.2 环流场的特征分析

图 12 显示,在强夏季风年,偏南异常气流可以深入我国的东部北方大陆,从我国华南地区到华北地区和东北地区均被偏南异常气流控制,这支偏南异常气流的存在易将南方暖湿气流带入我国北方地区。同时,我国内蒙古一带被一异常气旋控制,华北中西部为该异常气旋的异常偏西气流控制,该偏西异常气流引导中高纬冷空气与偏南异常气流在山西省地区交汇,因而造成了山西省夏季的多雨天气。500 hPa 风场的差值图 (图略) 上也体现了这些特征。

从图 13 可以看出,强夏季风年亚洲大陆由强大的异常低压控制,而西太平洋地区是一个反气旋异常,说明强夏季风年亚洲大陆地区季风低压比较强大,西太平洋地区副热带高压偏北、偏西、偏强,华北地区处在异常气旋的东南部位,东亚大陆易盛行偏南气流,华北地区 (包括山西省) 夏季降水易偏多;弱夏季风年则相反。

图 14 显示,强夏季风年亚洲大陆以辐合为主,华北西部地区 (45°N , 105°E) 有一个强辐合中心,盛行上升气流,山西省处在辐合区域,降水易偏多;弱夏季风年亚洲大陆以辐散为主,华北西部地区有强辐散中心,以下沉气流为主,山西省降水偏少。

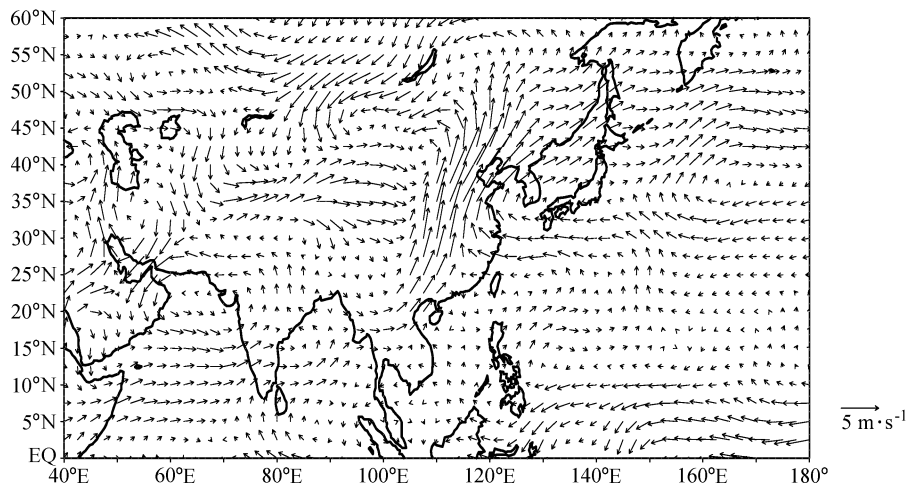


图 12 850 hPa 强弱夏季风年环流差值

Fig. 12 850-hPa wind difference of strong and weak summer monsoon years

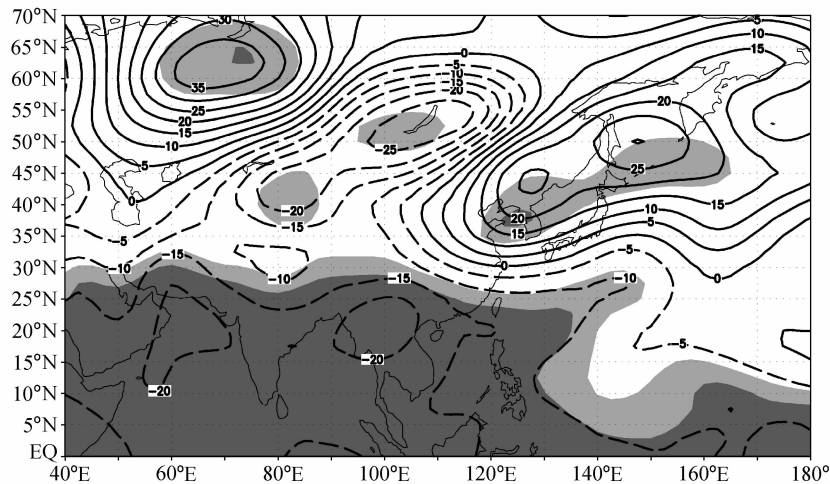
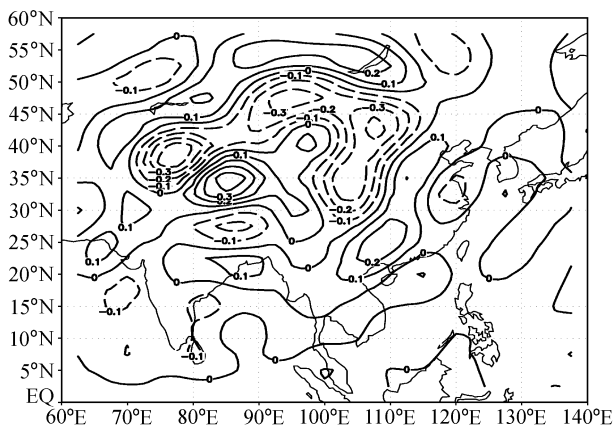


图 13 500 hPa 强弱夏季风年位势高度差值 (单位: dagpm) 及 t 检验 (浅色和深色阴影分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性检验)

Fig. 13 The difference of 500-hPa geopotential height (dagpm) between strong and weak summer monsoon years and t -test (light and dark shaded areas are above 0.05 and 0.01 significance level, respectively)



60 年代中期以前 I 处在高位相阶段, 表明东亚夏季风较强; 自 70 年代以来 I 处于低位相阶段, 说明夏季风明显减弱。夏季风指数变化的线性趋势为 $-0.35 (10 \text{ a})^{-1}$, 表明山西省夏季风一直处于减弱的趋势。对 I 的突变检验显示, 在 1967 年东亚夏季风有明显的突变性减弱。

(3) 东亚夏季风在山西省建立和撤退日期多年变化的线性趋势表明, 近 60 年来夏季风在山西省的建立日期推后, 而撤退日期却有所提前, 即在长时间尺度变化趋势上, 东亚夏季风对山西省的影响时间越来越短, 这与东亚夏季风在年代际时间尺度上的减弱趋势相吻合。

(4) 利用 I 的大小, 挑选 I 大于 1.2 个标准差作为强夏季风年份, 小于 -1.2 个标准差作为弱夏季风年份, 分析强弱夏季风年份的降水特征, 结果表明在强夏季风年中国东部地区的降水从北向南呈现出华北降水偏多、长江流域偏少、华南地区偏多的“多—少—多”的特征分布; 同时, 山西省夏季降水一致偏多; 弱夏季风年则相反。

(5) 强夏季风年对流层低层中国东部地区盛行较强的偏南气流, 一直深入到我国北方大陆地区, 与多年平均相比, 东亚大陆以辐合为主, 对流层中层有较强的季风低压控制东亚大陆, 副高偏北、偏西且较强; 弱夏季风年对流层低层中国东部地区有较强的偏北异常气流, 与多年平均相比, 东亚大陆以辐散为主, 对流层中层东亚大陆上空有异常高压存在, 副高偏弱。

参考文献 (References)

- 陈烈庭. 1999. 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, 18 (4): 477 - 485. Chen Lieting. 1999. Regional features of interannual and interdecadal variations in summer precipitation anomalies over North China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (4): 477 - 485.
- 郭其蕴. 1983. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析 [J]. 地理学报, 38 (3): 207 - 215. Guo Qiyun. 1983. The summer monsoon intensity index in East Asia and its variation [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 38 (3): 207 - 215.
- 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 等. 2003. 东亚夏季风的年代际变率对中国气候的影响 [J]. 地理学报, 58 (4): 569 - 576. Guo Qiyun, Cai Jingning, Shao Xuemei, et al. 2003. Interdecadal variability of East-Asian summer monsoon and its impact on the climate of China [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 58 (4): 569 - 576.
- 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 等. 2004. 1873~2000 年东亚夏季风变化的研究 [J]. 大气科学, 28 (2): 206 - 215. Guo Qiyun, Cai Jingning, Shao Xuemei, et al. 2004. Studies on the variations of East-Asian summer monsoon during A D 1873 - 2000 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 28 (2): 206 - 215.
- 黄刚, 严中伟. 1999. 东亚夏季风环流异常指数及其年际变化 [J]. 科学通报, 44 (4): 421 - 424. Huang Gang, Yan Zhongwei. 1999. Index measuring the interannual variation of the East Asian summer monsoon - The EAP index [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 44 (4): 421 - 424.
- 黄刚. 2006. 与华北干旱相关联的全球尺度气候变化现象 [J]. 气候与环境研究, 11 (3): 270 - 279. Huang Gang. 2006. Global climate change phenomenon associated with the droughts in north China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (3): 270 - 279.
- 据建华, 钱诚, 曹杰. 2005. 东亚夏季风的季节内振荡研究 [J]. 大气科学, 29 (2): 187 - 194. Ju Jianhua, Qian Cheng, Cao Jie. 2005. The intraseasonal oscillation of East Asian summer monsoon [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 29 (2): 187 - 194.
- 李智才, 宋燕, 朱临洪, 等. 2008. 山西省夏季年际气候异常研究 1. 山西省一致多雨或少雨 [J]. 气象, 34 (1): 86 - 93. Li Zhicai, Song Yan, Zhu Linhong, et al. 2008. On Shanxi summer interannual climate change I. Concurrent rich/seldom rainfall pattern [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (1): 86 - 93.
- 廉毅, 沈柏竹, 高枫亭, 等. 2003. 东亚夏季风在中国东北区建立的标准、日期及其主要特征分析 [J]. 气象学报, 6 (5): 548 - 558. Lian Yi, Shen Baizhu, Gao Zongting, et al. 2003. The study of the on-set criterion and the date of East Asian summer monsoon in Northeast China and its main characteristic analysis [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 6 (5): 548 - 558.
- 廉毅, 沈柏竹, 高枫亭. 2004. 关于确定东亚夏季风强度指数的探讨 [J]. 气象学报, 62 (6): 782 - 789. Lian Yi, Shen Baizhu, Gao Zongting. 2004. An exploration on the determination of East Asia summer monsoon index [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 62 (6): 782 - 789.
- 宋燕, 李智才, 朱临洪, 等. 2008. 山西省夏季年际气候异常研究 2. 北少(多)南多(少)雨型 [J]. 气象, 34 (2): 61 - 68. Song Yan, Li Zhicai, Zhu Linhong, et al. 2008. On Shanxi summer inter-annual climate anomalies 2. Seldom/rich rainfall in north/south and rich/seldom rainfall in north/south pattern [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (2): 61 - 68.
- 宋燕, 季劲钧. 2001. 六十年代亚非夏季风十年尺度的突变 [J]. 大气科学, 25 (2): 200 - 208. Song Yan, Ji Jinjun. 2001. The interdecadal abrupt change of the African-Asian summer monsoon in the 1960s [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in

- Chinese), 25 (2): 200-208.
- 宋燕, 季劲钧. 2003. 亚非夏季风年代际变化强度指数 [J]. 自然科学进展, 13 (5): 508-512. Song Yan, Ji Jinjun. 2003. Asian-African summer monsoon interdecadal change and intensity index [J]. Nature Science Evolvment (in Chinese), 13 (5): 508-512.
- 施能, 朱乾根. 2000. 1873~1995 年东亚冬、夏季风强度指数 [J]. 气象科技, 28 (3): 114-118. Shi Neng, Zhu Qiangen. 2000. Winter and summer monsoon intensity index in East Asia of 1873-1995 [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 28 (3): 114-118.
- 孙秀荣, 陈隆勋, 何金海. 2002. 东亚海陆热力差指数及其与环流和降水的年际变化关系 [J]. 气象学报, 60 (2): 164-172. Sun Xiurong, Chen Longxun, He Jinhai. 2002. Index of land-sea thermal difference and its relation to interannual variation of summer circulation and rainfall over East Asian [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 60 (2): 164-172.
- 牛殿富, 刘庆桐, 刘九林, 等. 1999. 山西通志—气象志 [M]. 北京: 中华书局出版社, 82-86. Niu Dianfu, Liu qingtong, Liu jiulin, et al. 1999. Meteorological Records [M] //Shanxi Records (in Chinese). Beijing: China Book House Press, 82-86.
- Webster P J, Song Yang. 1992. Monsoon and ENSO: Selectively interactive Systems [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 118: 877-926.
- 严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 1990a. 60 年代北半球夏季气候跃变 I. 降水和温度变化 [J]. 中国科学 (B 辑), 1: 97-103. Yan Zhongwei, Ji Jinjun, Ye Duzheng. 1990a. Northern Hemisphere summer climatic jump in 1960's. 1. Variation of precipitation and temperature [J]. Science in China (Ser. B) (in Chinese), 1: 97-103.
- 严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 1990b. 60 年代北半球夏季气候跃变 II. 海平面气压和 500 hPa 高度变化 [J]. 中国科学 (B 辑), 8: 879-885. Yan Zhongwei, Ji Jinjun, Ye Duzheng. 1990b. Northern Hemisphere summer climatic jump in 1960's. II. Variation of sea level pressure and 500 hPa height [J]. Science in China (Ser. B) (in Chinese), 8: 879-885.
- 张庆云. 1999. 1880 年以来华北降水及水资源的变化 [J]. 高原气象, 18 (4): 487-495. Zhang Qingyun. 1999. The variations of the precipitation and water resources in North China since 1880 [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (4): 487-495.
- 张怀德. 1999. 山西干旱灾害分析 96-908-05-02 专题阶段成果文集 [M]. 北京: 气象出版社, 57-64. Zhang Huaide. 1999. Analysis on Drought of Shanxi [M] //Proceeding of 96-908-05-02 Special Topic (in Chinese). Beijing: China Meteorology Press, 57-64.