

东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系^{*1}

赵 平

(中国气象科学研究院,北京,100081)

周自江

(中国气象局气象信息中心,北京,100081)

摘 要

文中利用 1961~1999 年 NCEP/NCAR 的月平均再分析资料和中国 160 站月降水资料,考虑蒙古中纬度地区和西太平洋副热带地区的大气环流特征定义了一个简单的东亚副热带夏季风指数,研究了该指数与夏季大气环流和中国降水变率的关系,并与其他季风指数进行了比较。结果表明:文中所定义的季风指数表现出明显的长期气候变化趋势,20 世纪 60~70 年代以高指数为主,而 80~90 年代以低指数为主。该指数不仅能够较好地反映以蒙古为中心的东亚大陆热低压和西太平洋副热带高压的变化特征,还能够指示东亚副热带夏季风的强弱以及中国长江流域降水的异常变化。与西太平洋副热带高压相比,蒙古低气压变化对长江流域的雨带变动有更大影响。当该季风指数较低时,蒙古低压和西太平洋副热带高压偏弱,中国大陆对流层低层盛行异常北风,高层主要盛行异常西南风。而低层的异常北风表示了东亚中纬度地区较强的冷空气活动,这可以使长江流域梅雨锋区的辐合和上升运动加强,造成长江流域降水增加。

关键词: 东亚副热带季风指数,大气环流,降水。

1 引 言

东亚副热带季风的强弱直接影响着夏季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。过去国内外关于季风指数的研究主要集中在热带地区^[1~4]。对东亚副热带季风的研究也取得了一些进展,较早的一些学者用对流层低层的 θ_{se} 来指示副热带夏季风的进退^[5]。之后,郭琪蕴^[6]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,因此她用 $10^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 平均的海平面气压在 110°E 和 160°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。施能等^[7]改进了郭琪蕴的定义,采用更偏北的区域($20^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$)进行平均。最近,孙照渤等^[8]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。祝从文等^[9]则把郭琪蕴定义的纬向海平面气压差与低纬度纬向风切变进行组合,定义了一个较复杂的东亚季风指数,该指数能够指示长江流域降水的异常变化。孙秀荣等^[10]利用 1961~1999 年 $5^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 的海表和地表温度也定义了一个较复杂的海陆热力差指数,该指数能够较好地指示长江流域降水的异常变化。周兵等^[11]用东亚 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 平均的经向风定义了季风指数。张庆云等^[12]则用东亚热带($10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$)和副热带($25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$)纬向风差值定义了夏季风指数,并讨论了该指数与大气可降水量的关系。显然,这些学者在定义季风指数时不仅考虑了副热带地区的特征,而且还考虑了热带地区的特征。

大量研究表明:中国南方的降水发生发展既受低纬度系统影响,又受高纬度冷空气活动制

* 初稿时间:2004 年 12 月 23 日;修改稿时间:2005 年 3 月 1 日。

资助课题:国家重点基础研究发展规划项目(2004CB418300),国家自然科学基金课题(40305008),以及中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2005M04)。

作者简介:赵平,男,1963 年生,中国气象科学研究院,研究员,主要从事气候变化研究。

约^[13, 14]。夏季蒙古附近的大气环流年际变化与中国长江流域降水有显著关系^[15]。这种现象在其他研究中也可以看到,例如:孙秀荣等^[10]和 Nan 等^[16]在定义季风指数时虽然没有直接考虑东亚中纬度的大气环流特征,然而在根据他们的指数合成的850 hPa风场上,40°N 以北的蒙古附近都有非常显著的异常,此时都伴随着长江流域降水的异常变化等。这说明中国长江流域的降水异常变化可能与蒙古附近的大气环流有密切关系。因此,有必要深入讨论蒙古附近大气环流和西太平洋副热带大气环流与东亚副热带季风异常变化的关系,并对分析较低纬度和中纬度环流系统对东亚季风和降水的影响程度。

本文利用 1961~1999 年 NCEP/NCAR 的月平均再分析资料和中国 160 站月总降水资料,采用统计分析和物理量诊断方法研究了夏季东亚及其周边地区的大气环流基本特征。根据这些特征定义了一个简单的东亚副热带夏季风指数,讨论了该指数与东亚大气环流和中国东部雨带异常变化的关系,并与其他一些季风指数进行了比较。

2 东亚副热带夏季风指数的定义

使用 1961~1999 年 NCEP/NCAR 的水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的月平均再分析资料^[17],以及中国同期的 160 站月总降水资料;此外,还根据 NCEP

资料计算了假相当位温(θ_{se})。在统计和合成分析时,所有的统计信度检验都在 90% 水平以上。

在定义东亚副热带夏季风指数前,首先分析了亚洲和太平洋地区大气环流的平均特征。图 1 给出了 1961~1999 年夏季(6~8 月)的平均海平面气压及其标准差和表面气温,从图 1a, b 中可以看到:夏季在东亚及周边地区有 3 个明显的大气环流系统,其中一个位于东亚大陆的低气压,低压中心在蒙古地区 43°N 附近,其中心值为 1002 hPa,并伴随着 22 °C 的暖中心,表明该低压为暖性低压;另一个是位于 30°~40°N 的西太平洋副热带高压脊;第 3 个是位于青藏高原西南侧 20°~30°N 附近的印度低压,该低压也是暖性低压。前两个环流系统呈现出更大的年际差异,它们的年际变率都超过 3 hPa,特别是蒙古低压系统的最大变率超过 4 hPa,而印度低压的变率小于 2 hPa(图 1c)。此时,中国南方地区处于蒙古低压向南延伸的低压区内。

研究表明:东亚副热带季风不仅仅是指发生在东亚副热带地区的季风,也包括发生在东亚中纬度地区的季风^[18]。由于中国南方低气压区是蒙古低压的延伸,从理论上讲南方低压的变化应该与蒙古低压有比较好的一致性,并且与长江流域的低压延伸区比较,蒙古低压的主体可能起一个主导作用,因此可以用蒙古低压的变化来表示中国南方地区气压的变化。类似于郭琪蕴^[6]和施能等^[7]的定义,首先

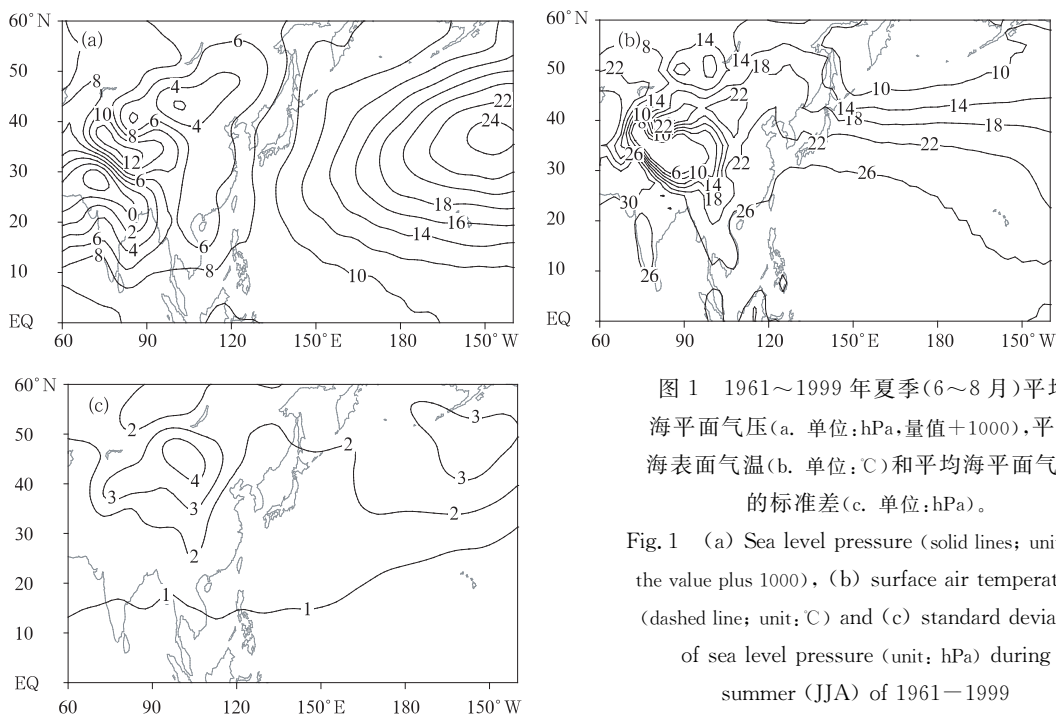


图 1 1961~1999 年夏季(6~8 月)平均海平面气压(a. 单位:hPa, 量值+1000), 平均海表面气温(b. 单位:°C)和平均海平面气压的标准差(c. 单位:hPa)。

Fig. 1 (a) Sea level pressure (solid lines; unit: hPa; the value plus 1000), (b) surface air temperature (dashed line; unit: °C) and (c) standard deviation of sea level pressure (unit: hPa) during summer (JJA) of 1961-1999

对海平面气压进行标准化,然后用沿着 110°E , $40\sim 50^{\circ}\text{N}$ 平均的标准化气压 (p_{SIB}) 来代表蒙古低压的变化特征,而用沿着 160°E , $30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 平均的标准化气压 (p_{SUB}) 来表示西太平洋副热带高压脊的变化特征,最后用 160°E 的平均值减去 110°E 的平均值,即得到东亚副热带夏季风强度指数:

$$I_{\text{SSM}} = p_{\text{SUB}} - p_{\text{SIB}}$$

显然,与郭琪蕴^[6]和施能等^[7]所定义的夏季风指数相比,本文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_{SSM} 指数值较高(或低)时,

表示蒙古低压和西太平洋副热带高压偏强(或弱)。

图 2 给出了 1961~1999 年夏季平均的 I_{SSM} 指数的时间变化,从图 2 可以看到: 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,说明这段时间蒙古低压和西太平洋副热带高压偏强,7 个极端高指数年份为: 1961, 1962, 1963, 1964, 1966, 1972 和 1975 年;而在 80~90 年代, I_{SSM} 以负值为主,表示这段时间蒙古低压和西太平洋副热带高压偏弱,7 个低指数年份为: 1980, 1983, 1986, 1991, 1993, 1995 和 1996 年。

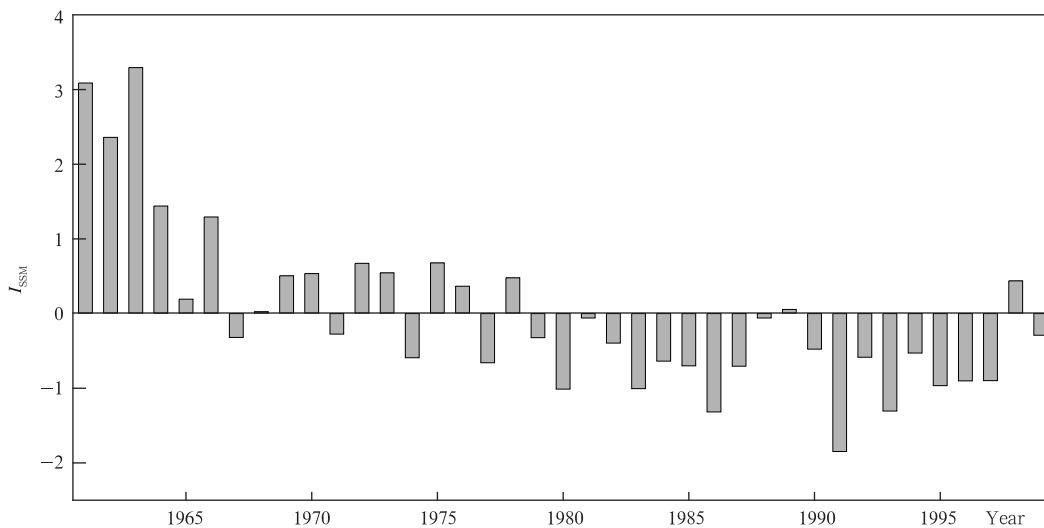


图 2 1961~1999 年 I_{SSM} 指数的时间变化

Fig. 2 The temporal curve of the I_{SSM} during 1961 to 1999

3 I_{SSM} 与东亚大气环流和降水的关系

图 3a 给出了 1961~1999 年夏季平均 I_{SSM} 指数与同期表面气压之间的相关系数。由图可见, I_{SSM} 指数与亚洲大陆的表面气压存在显著负相关,最大负相关主要出现在青藏高原北侧和东侧,而与西太平洋副热带地区的气压有显著正相关。图 3b 给出了 7 个低指数年份合成的表面气压距平分布,超过 2 hPa 的正距平位于青藏高原北侧和东北侧,最大值位于蒙古地区,这指示着弱的蒙古低压;而负距平出现在 160°E 附近的西太平洋副热带地区,指示着弱的西太平洋副热带高压。在蒙古异常低压和西太平洋异常高压之间是从大陆指向海洋的东-西向的异常气压梯度。相应于这种异常气压梯度,中国东部地区盛行异常偏北风。因此,低指数年对应着弱的东亚副热带夏季风。而在 7 个高指数年份合成的

表面气压距平分布图上(图 3c),负的气压距平出现在东亚大陆,其最大负值超过 7 hPa,也位于蒙古地区,指示着偏强的大陆热低压;此时,西太平洋副热带地区为正距平值,表明西太平洋副热带高压也偏强。在它们之间形成了从海洋指向大陆的异常气压梯度,异常偏南风相应地出现在中国东部及其沿海地区,并且向北一直延伸到 55°N ,这对应着较强的东亚副热带夏季风。

在低和高 I_{SSM} 年份之间的大气环流异常特征在对流层其他层次也很显著。图 4a 给出了在低和高 I_{SSM} 年份合成的夏季 500 hPa 位势高度异常分布,从图中可见:超过 40 gpm 的正异常中心出现在青藏高原北侧;负异常中心在西太平洋中纬度地区,其中心值为 -20 gpm。图 4b, c 分别给出了 850 和 100 hPa 的异常风。在 850 hPa 上,东亚中纬度为异常反气旋控制,从东北亚到中国南方盛行强的异常

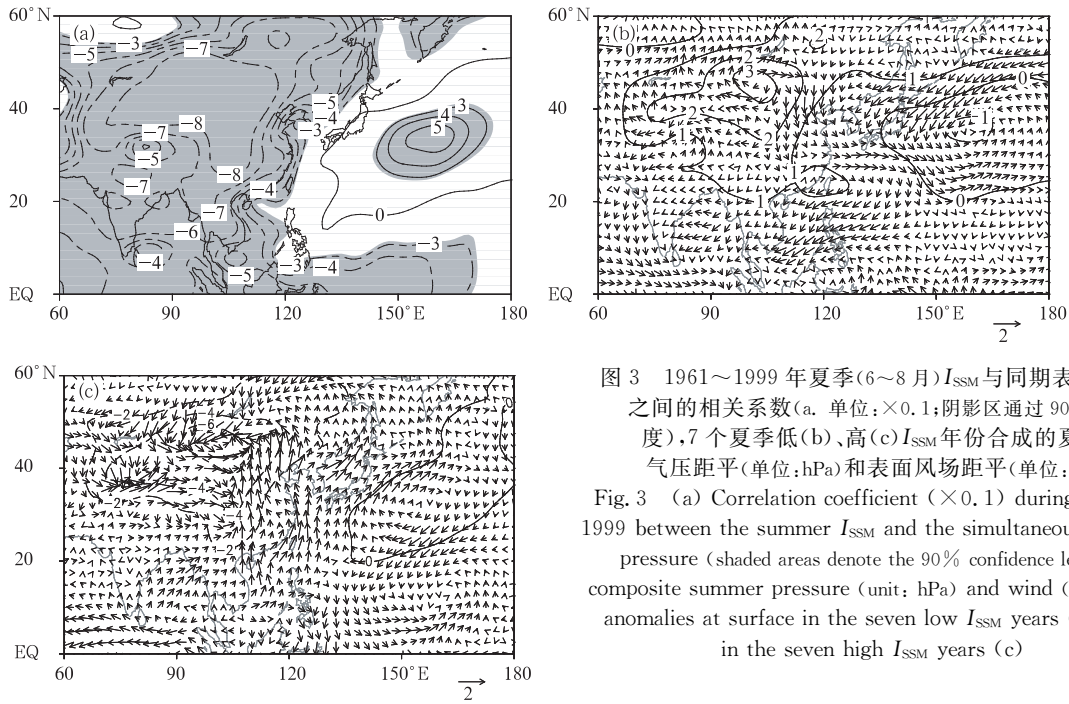


图3 1961~1999年夏季(6~8月) I_{SSM} 与同期表面气压之间的相关系数(a. 单位: $\times 0.1$; 阴影区通过90%统计信度), 7个夏季低(b)、高(c) I_{SSM} 年份合成的夏季表面气压距平(单位: hPa)和表面风场距平(单位: m/s)

Fig. 3 (a) Correlation coefficient ($\times 0.1$) during 1961–1999 between the summer I_{SSM} and the simultaneous surface pressure (shaded areas denote the 90% confidence level); composite summer pressure (unit: hPa) and wind (unit: m/s) anomalies at surface in the seven low I_{SSM} years (b) and in the seven high I_{SSM} years (c)

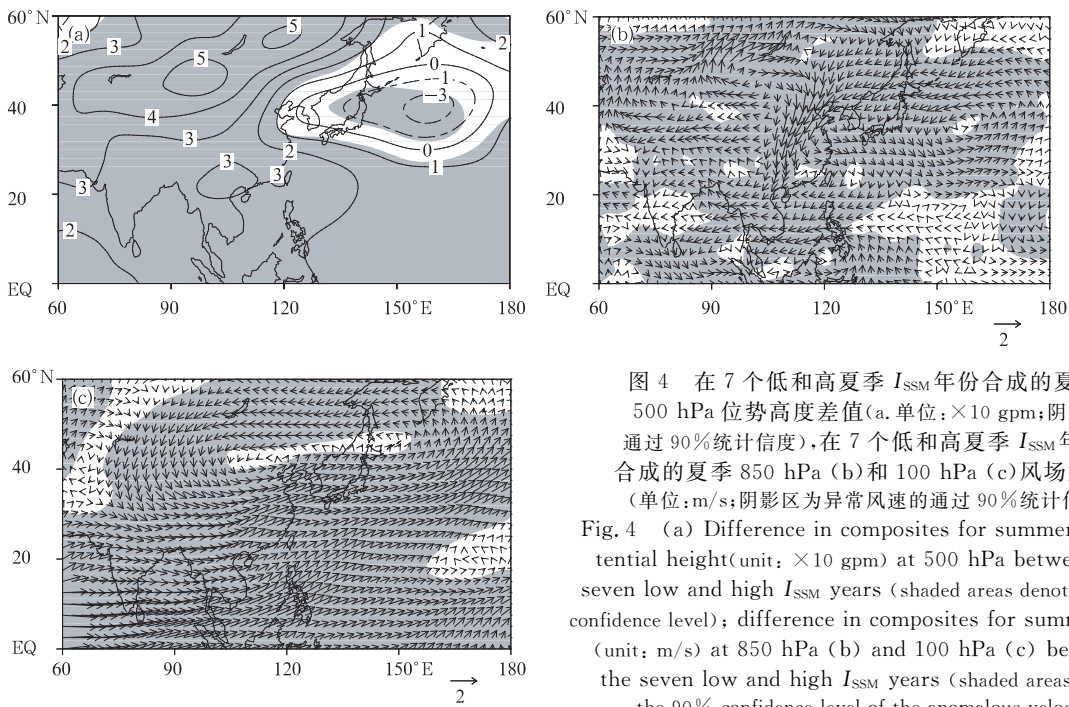


图4 在7个低和高夏季 I_{SSM} 年份合成的夏季500 hPa位势高度差值(a. 单位: $\times 10$ gpm; 阴影区通过90%统计信度), 在7个低和高夏季 I_{SSM} 年份合成的夏季850 hPa (b)和100 hPa (c)风场差值(单位: m/s; 阴影区为异常风速的通过90%统计信度)

Fig. 4 (a) Difference in composites for summer geopotential height (unit: $\times 10$ gpm) at 500 hPa between the seven low and high I_{SSM} years (shaded areas denote the 90% confidence level); difference in composites for summer wind (unit: m/s) at 850 hPa (b) and 100 hPa (c) between the seven low and high I_{SSM} years (shaded areas denote the 90% confidence level of the anomalous velocity)

偏北风(图4b)。而在100 hPa上(图4c), 东亚中纬度为一个大面积的异常气旋性环流, 其环流中心位于中国北方, 中国热带和副热带地区都处在异常西南风影响之下。

上述分析表明, 低和高 I_{SSM} 确实反映了东亚对流层的两种不同大气环流的典型特征。当 I_{SSM} 较低

时, 以蒙古为中心的东亚大陆热低压偏弱, 该地区对流层低层为一个异常反气旋环流, 而西太平洋副热带高压也偏弱; 此时, 在东亚副热带地区低层盛行异常北风。在这种大气环流情况下, 中国北方的冷空气活动明显加强, 图5a给出了低和高 I_{SSM} 年份合成的925 hPa假相当位温(θ_{se})差值, 从图中可见, 负异

常值出现在中国北方,其中最大负值超过 8 K,表明中国北方干冷空气偏强,而东亚热带地区是较小的正异常值,表示暖湿空气也有所加强, θ_{se} 的这种异常变化有利于长江流域梅雨锋加强。东亚地区低层的

异常北风也加强了长江流域的辐合,并造成了 $27^{\circ} \sim 32^{\circ}N$ 的异常上升运动(图 5b)。由此可见,当东亚副热带季风偏弱时,夏季长江流域的梅雨锋及其垂直上升运动加强,这有利于该流域降水增大。

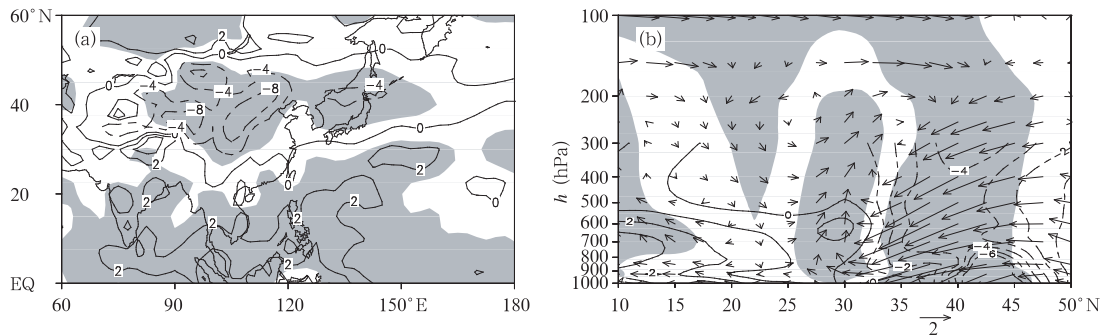


图 5 在 7 个低和高夏季 I_{SSM} 年份合成的夏季 925 hPa 的 θ_{se} 分布(a. 单位:K;阴影区通过 90% 统计信度);
在 7 个低和高夏季 I_{SSM} 年份合成的夏季沿 $118^{\circ}E$ 的垂直环流差异(b. 矢量; w 单位: $\times 0.02 Pa/s$;
阴影区代表垂直速度的通过 90% 信度检验)和 θ_{se} 的差异(等值线;单位:K)

Fig. 5 (a) Difference in composites for summer pseudoequivalent potential temperature (θ_{se}) (unit: K) at 925 hPa between the seven low and high I_{SSM} years (shaded areas denote the 90% confidence level); and (b) difference in composites for summer velocities (vector; unit: v : m/s, w : $\times 0.02 Pa/s$) and θ_{se} (contour line; unit: K) between the seven low and high I_{SSM} years (shaded areas denote the 90% confidence level of the vertical velocity) along a vertical cross-section at $118^{\circ}E$

从 I_{SSM} 低和高年份合成的夏季降水量差值(图 6a)可见:从 $105^{\circ}E$ 到 $120^{\circ}E$ 的长江流域出现大范围的显著正异常值,表示该地区降水偏多,其中最大降水异常超过 300 mm,主要出现在长江中下游地区。这说明当东亚季风偏弱时,长江流域大部分地区降水都呈现出偏多的特征。那么,长江流域的降水变化是否具有这种同步特征呢?从 1961~1999 年长江流域($28^{\circ} \sim 32^{\circ}N, 105^{\circ} \sim 120^{\circ}E$)(在 160 站资料中共有 19 个站)平均的夏季降水量与中国同期降水的相关系数分布(图 6b)可见:显著正相关出现在 $105^{\circ} \sim 120^{\circ}E$ 的长江流域,其最大相关系数为 0.8。这表明 $105^{\circ}E$ 以东的长江流域降水确实具有同步变化的特征,而该流域的降水与中国华北和华南地区的降水没有大范围的显著相关。从 1961~1999 年夏季降水的标准差分布(图 6c)可见,超过 200 mm 的降水变率主要出现在长江中下游地区,其中最大变率约为 250 mm,这与根据 I_{SSM} 合成的长江流域多雨带的最大降水差值相当。由此可见,根据 I_{SSM} 极端年份合成的降水完全可以反映长江流域夏季降水的极端变化情况。

4 不同指数的比较

为了把本文定义的东亚副热带夏季风指数与过去的指数进行比较,文中分别计算了郭琪蕴^[6]定义的指数(记为 I_{GUO})和施能等定义的指数^[7](记为 I_{SHI})。同样地,选择 7 个最强和最弱的极端个例进行合成分析。其中 7 个高 I_{GUO} 指数年份是 1961, 1962, 1963, 1964, 1973, 1975 和 1998 年, 7 个低指数年份是 1980, 1982, 1986, 1990, 1991, 1996 和 1997 年;而 7 个高 I_{SHI} 年份是 1961, 1962, 1963, 1964, 1966, 1975 和 1998 年, 7 个低指数年份是 1980, 1983, 1986, 1990, 1991, 1996 和 1997 年。通过比较,不难看出, I_{SHI} 有 2 个高和 2 个低指数年份与 I_{SSM} 指数不同, I_{GUO} 指数有 2 个高和 3 个低指数年份与 I_{SSM} 指数不同。在 I_{SSM} 与 I_{GUO} 和 I_{SHI} 之间的这种差异,必然会反映在降水上。

图 7a, b 分别给出了根据 I_{GUO} 和 I_{SHI} 合成的中国夏季降水量差值分布。从图中可以看出,这两个指数所反映的降水特征基本一致,显著的正异常区都主要出现在长江下游地区,他们的最大差值约为 200 mm,而在 $115^{\circ}E$ 以西的长江流域几乎没有显著正差值。与根据 I_{SSM} 合成的结果(图 6a)比较, I_{GUO}

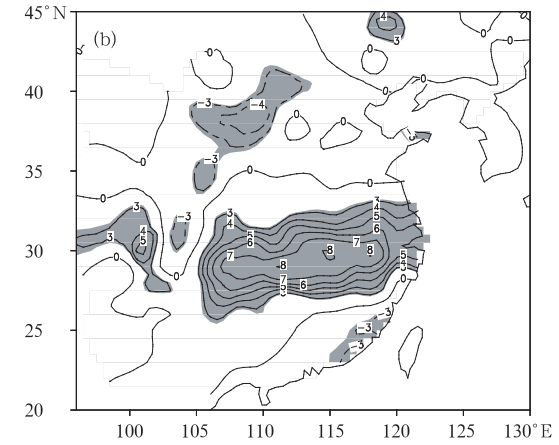
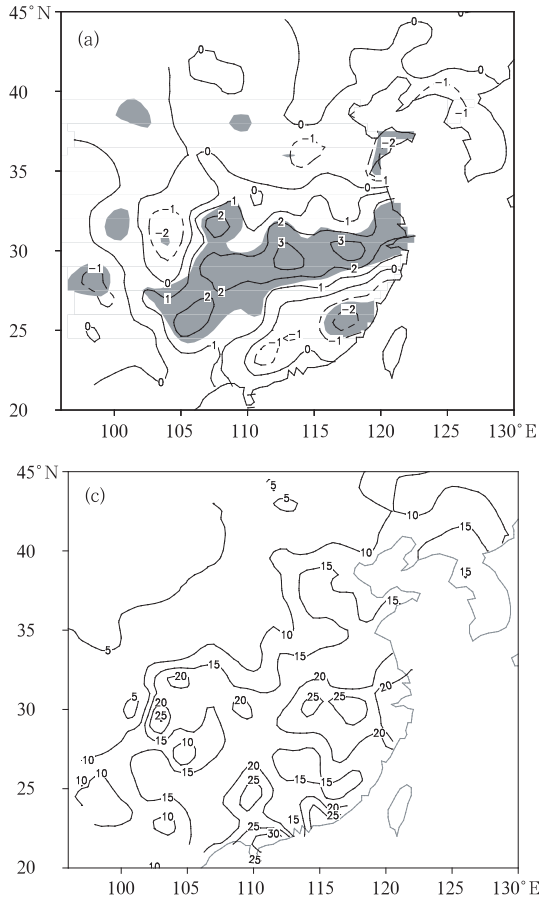


图6 (a)7个低和高 I_{SSM} 指数年份合成的夏季降水量差值(单位: $\times 100$ mm;阴影区通过90%统计信度);(b)1961~1999年区域($28^{\circ}\sim 32^{\circ}N, 105^{\circ}\sim 120^{\circ}E$)平均的夏季降水量与中国同期降水的相关系数($\times 0.1$;阴影区通过90%统计信度);(c)1961~1999年夏季降水量的标准差(单位: $\times 10$ mm)

Fig. 6 (a) Difference in composites for summer precipitation (unit: $\times 100$ mm) between the seven low and high I_{SSM} years (shaded areas denote the 90% confidence level); (b) correlation coefficient ($\times 0.1$) during 1961–1999 between the regional mean summer precipitation over $28^{\circ}\sim 32^{\circ}N, 105^{\circ}\sim 120^{\circ}E$ and the simultaneous precipitation of China (shaded areas denote the 90% confidence level); and (c) standard deviation of summer precipitation (unit: $\times 10$ mm) during 1961–1999

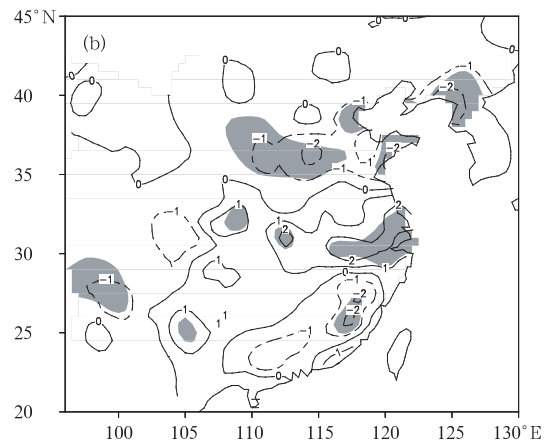
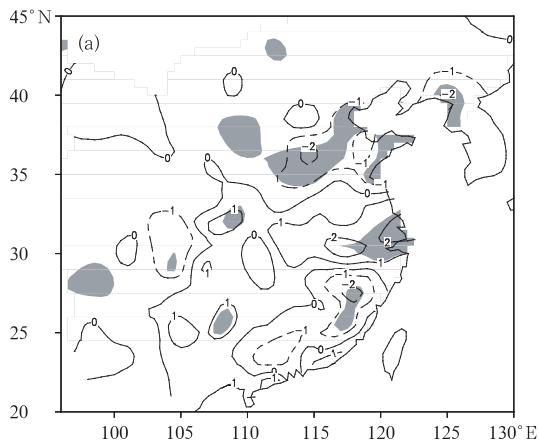


图7 7个低和高 I_{GUO} 年份合成(a),7个低和高 I_{SHI} 年份合成(b)的夏季降水量差值(单位: $\times 100$ mm;阴影区通过90%统计信度)

Fig. 7 (a) Difference in composites for summer precipitation (unit: $\times 100$ mm) between the seven low and high I_{GUO} years (shaded areas denote the 90% confidence level); and (b) difference in composites for summer precipitation (unit: $\times 100$ mm) between the seven low and high I_{SHI} years (shaded areas denote the 90% confidence level)

和 I_{SHI} 所反映的长江流域降水无论在范围还是数值上都明显偏小,特别是 I_{GUO} 和 I_{SHI} 指数不能指示 $115^{\circ}E$ 以西的长江流域降水变率。显然,与 I_{GUO} 和

I_{SHI} 指数相比, I_{SSM} 在反映夏季长江流域降水方面有所改进。从这些指数的定义上很容易看到,造成 I_{SSM} , I_{GUO} 和 I_{SHI} 之间这种差异的原因是进行区域平

均时所选择的纬度不同,他们的指数虽然也包含了中纬度大气环流的信息,但同时又包含了大量较低纬度的信息,从而削弱了指数中的中纬度大气环流影响。

既然 I_{SSM} 能够更好地反映长江流域降水的变率,那么蒙古低气压和西太平洋副热带高压究竟哪一个更重要呢?为此,分别根据反映蒙古低气压变化的 p_{SIB} 指数和反映西太平洋副热带高压的 p_{SUB} 指数,同样选择了 7 个极端年份,进行合成分析。图 8a 给出了在 7 个低和高 p_{SIB} 指数年份合成的夏季降水差异,图 8b 给出了 p_{SUB} 指数的情况。从图 8a 可

见,当 p_{SIB} 指数较高时,指示了较弱的蒙古低压,这时超过 200 mm 的显著降水异常负值发生在 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 的长江流域。而当 p_{SUB} 指数较低时,表示西太平洋副热带高压偏弱,这时显著正异常值仅仅出现在 33°N 附近的沿海地区(图 8a),其范围远小于图 8a 所给出的情况。这表明:与西太平洋副热带高压相比,蒙古低气压变化对长江流域降水异常有更重要的影响。然而,相对于图 6a,在图 8a, b 中的长江流域显著正异常区域都偏小。因此,仅仅用 p_{SIB} 或 p_{SUB} 指数来反映中国长江流域的降水都不如用二者组合的好。

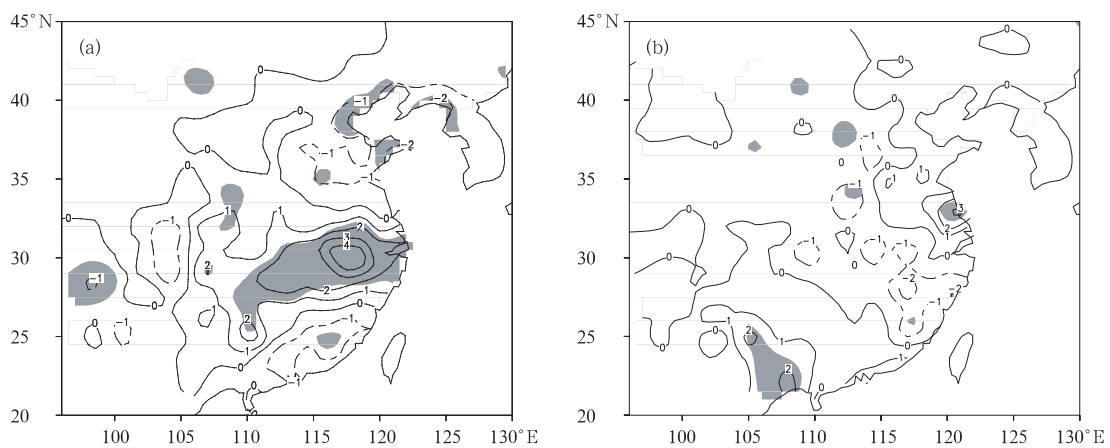


图 8 7 个高和低夏季 p_{SIB} 指数年份合成(a), 7 个高和低夏季 p_{SUB} 指数年份合成(b)的夏季降水量差值
(单位: $\times 100$ mm; 阴影区通过 90% 统计信度)

Fig. 8 (a) Difference in composites for summer precipitation between the seven high and low p_{SIB} years and (b) difference in composites for summer precipitation between the seven high and low p_{SUB} years (shaded areas denote the 90% confidence level; unit: $\times 100$ mm)

5 结论和讨论

由于以蒙古为中心的东亚大陆热低压和西太平洋副热带高压分别受到当地陆地和海洋热状况的影响,因此这两个环流系统之间的气压差异在一定程度上反映了大陆和海洋的热力差异,本文根据这种气压差异所定义的东亚副热带夏季风指数 (I_{SSM}) 较好地反映了蒙古热低压和西太平洋副热带高压的变化特征。该指数表现出明显的长期气候变化趋势,20 世纪 60~70 年代以高指数为主,而 80~90 年代以低指数为主,它不仅能够指示东亚副热带和中纬度地区经向风的异常变化,而且还对长江流域降水变率有显著指示意义。当 I_{SSM} 较低时,蒙古低压和西太平洋副热带高压偏弱,此时异常的东—西向气压梯度出现在东亚中纬度和副热带地区,中国大陆

对流层低层盛行异常北风,指示着东亚中纬度更频繁冷空气活动,而对流层高层主要盛行异常西南风。东亚频繁的冷空气活动和异常北风加强了长江流域锋区的辐合和上升运动,使该流域降水增加。与西太平洋副热带高压相比,蒙古低气压变化对长江流域的降水异常有更大影响,这说明夏季在来自较低纬度的季风盛行时,长江流域的雨带异常变动在更大程度上由来自中纬度冷空气活动异常决定。综合考虑蒙古低压和西太平洋副热带高压的共同作用,能够更好地反映长江流域雨带的异常变化特征。

过去的研究为了强调中国南方低气压与副热带高压对东亚降水的影响,人们在定义季风指数时选取的纬度大多数都偏南。与郭琪蕴^[6]和施能等^[7]定义的季风指数相比,本文所定义的 I_{SSM} 指数能够反映夏季长江流域大范围的降水异常变化,从这种角

度上讲,采用蒙古低压区和西太平洋副热带高压区之间的气压差异来定义东亚副热带季风指数能够更好地描述中国夏季长江流域雨带的变动。由于蒙古低压的变率受当地热状况以及中高纬度大气环流和冷空气活动影响很大,而西太平洋副热带高压脊受当地和热带海洋影响也很大,因此在研究东亚副热带季风时应该进一步重视副热带海洋和中纬度大陆热状况的影响。

参考文献

- [1] Li C, Yanai M. The onset and interannual variability of the Asian summer monsoon in relation to land-sea thermal contrast. *J Climate*, 1996, 9 (2): 358-375
- [2] Wang B, Fan Z. Choice of South Asian summer monsoon indices. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80 (4): 629-638
- [3] 李崇银,张利平.南海夏季风特征及其指数.自然科学进展, 1999,9(6):536~541
Li Congying, Zhang Liping. Characteristics of summer monsoon in the South China Sea and its indices. *Progress in Natural Sci(in Chinese)*, 1999, 9 (6): 536-541
- [4] 高辉,何金海,徐海明.关于确定南海夏季风建立日期的讨论.见:何金海等主编.南海夏季风建立日期的确定与季风指数.北京:气象出版社,2001.1~41
Gao Hui, He Jinhai, Xu Haiming. Discussion on dates of the summer monsoon establishment over the South China Sea. In: He Jinhai, ed. Dates of Summer Monsoon Onset in the South China Sea and Monsoon Indices(in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 1-41
- [5] 周玉孚.中国东部地区季风进退与雨季起迄的关系.见:全国夏季风学术会议文集.昆明:云南人民出版社,1983.311~317
Zhou Yufu. Relationships between the advance and retreat of monsoon over eastern China and the beginning of rainy season. In: Proceedings of the Symposium on the Summer Monsoon in China. Kunming; People's Press of Yunnan Province, 1983. 311-317
- [6] 郭琪蕴.东亚季风强度指数及其变化分析.地理学报,1983,38(3):207~216
Guo Qiyun. Analysis on the East Asian summer monsoon index and its variation. *Acta Geography Sinica(in Chinese)*, 1983, 38 (3): 207-216
- [7] 施能,朱乾根,吴彬贵.近40年东亚夏季风及中国夏季大尺度天气气候异常.大气科学,1996,20(5):575~583
Shi Neng, Zhu Qiagen, Wu Bingui. The East Asian summer monsoon in relation to summer large-scale weather and climate anomaly in China for last 40 years. *Chinese J Atmos Sci(in Chinese)*, 1996, 20 (5): 575-583
- [8] 孙照渤,李春,陈海山.东亚夏季风的年际变化及其与华北降水的联系.见:黄荣辉等编.中国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究.北京:气象出版社,2003.391~400
Sun Zhaobo, Li Chun, Chen Haishan. Relationships between the decadal variability of the East Asian summer monsoon and the precipitation of North China. In: Huang R H,ed. Study on Severe Drought and Flood Climate Disasters in China and Their Formation Mechanisms. Beijing: China Meteorological Press, 2003. 391-400
- [9] 祝从文,何敏,何金海.热带环流指数与夏季长江中下游旱涝的年际变化.南京气象学院学报,1998,21(1):15~22
Zu Congwen, He Min, He Jinhai. Interannual variability of a tropical circulation index and summer droughts/floods in the central and low valleys of the Changjiang River. *J Nanjing Insti Meteor(in Chinese)*, 1998, 21 (1): 15-22
- [10] 孙秀荣,陈隆勋,何金海.东亚海陆热力差异指数与东亚夏季风强度关系探讨.见:何金海等主编.南海夏季风建立日期的确定与季风指数.北京:气象出版社,2001.96~108
Sun Xiurong, Chen Longxun, He Jinhai. Relationships of the thermal contrast index between land and ocean in East Asia to the intensity of East Asian summer monsoon. In: He Jinhai, ed. Dates of Summer Monsoon Onset in the South China Sea and Monsoon Indices. Beijing: China Meteorological Press, 2001. 96-108
- [11] 周兵,何金海,吴国雄等.关于东亚副热带季风指数选择的讨论.见:何金海等主编.南海夏季风建立日期的确定与季风指数.北京:气象出版社,2001.111~117
Zhou Bing, He Jinhai, Wu Guoxiong, et al. Discussion on choices of East Asian subtropical monsoon indices. In: He Jinhai, ed. Dates of Summer Monsoon Onset in the South China Sea and Monsoon Indices. Beijing: Chinese Meteorological Press, 2001. 111-117
- [12] 张庆云,陶诗言,陈烈庭.东亚季风指数的年际变化与东亚大气环流.气象学报,2003,61(5):559~568
Zhang Qingyun, Tao Shiyan, Chen Lieting. The interannual variability of East Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia. *Acta Meteor Sinica(in Chinese)*, 2003, 61 (5): 559-568
- [13] 陶诗言等.中国之暴雨.北京:科学出版社,1980.91~146
Tao Shiyan, et al. Storm Rainfall in China. Beijing: Science Press, 1980. 91-146
- [14] 周秀骥,薛纪善,陶祖钰等.98华南暴雨科学试验研究.北京:气象出版社,2003.215
Zhou Xiujie, Xue Jishan, Tao Zuyu, et al. Experimental Study on Storm Rainfall in South China During 1998(in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 215
- [15] Zhao P, Zhang X, Zhou X, et al. Sea-ice extent anomaly in the North Pacific and its impact on the East Asian summer monsoon rainfall. *J Climate*, 2004, 17 (17): 3434-3447
- [16] Nan S, Li J. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode. *Geophys Res Lett*, 2003, 30

- (24): CLM 4: 1–4
- [17] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77 (3): 437–471
- [18] 陈隆勋, 何金海, 罗会邦等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991. 68
- Chen Longxun, He Jinhai, Luo Huibang, et al. *East Asian Monsoon*. Beijing: China Meteorological Press, 1991. 68

EAST ASIAN SUBTROPICAL SUMMER MONSOON INDEX AND ITS RELATIONSHIPS TO RAINFALL

Zhao Ping

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Zhou Ziji

(*Meteorological Information Center of Chinese Meteorological Administration, Beijing 100081*)

Abstract

Using monthly means of the reanalyzed datasets from the NCAR/NCEP and rainfall data from 160 surface stations in China for the period 1961–1999 and referring to atmospheric circulations in East Asia and the western Pacific, a simple index of summer monsoon over the East Asian subtropics is defined. Relationships between the index and the variability of the atmospheric circulation and rainfall in China are examined and comparisons among different indices are made. The results show that the monsoon index in the present study displays the variability on the decadal scale. The higher-index values mainly occurred in the 1960s and 1970s and the low-index values mainly occurred in the 1980s and 1990s. The index reflect the variations of both the thermal low pressure centering in Mongolia and the subtropical high in the western Pacific very well and also indicate an intensity of summer monsoon in the East Asian subtropics and an anomaly of rainfall along the valleys of the Yangtze River. Compared to the subtropical high, the low pressure exerts a greater effect on the anomalous rainfall. Corresponding to a lower index, the low pressure and the subtropical high are weaker. Meanwhile, the northerly wind anomalies prevail in the lower troposphere over the mainland of China, with the southwesterly wind anomalies in the upper troposphere. The northerly wind anomalies indicate the more frequent activities of cold air at mid latitudes of East Asia. This can cause the convergence and ascending motion to strengthen along the Mei-yu front, accompanying with the greater rainfall along the valleys.

Key words: East Asian subtropical monsoon index, Atmospheric circulation, Rainfall.