0577-6619/2008/66(5)-0697-06 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

中国东部夏季气候20世纪80年代后期的年代际转型及其可能成因*

张人禾 武炳义 赵 平 韩晋平
ZHANG Renhe WU Bingyi ZHAO Ping HAN Jinping

中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京,100081
State Key Laboratory of Severe Weather (LaSW), Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, *China*
2008-09-04 收稿,2008-09-26 改回.

Zhang Renhe, Wu Binyi, Zhao Ping, Han Jinping. 2008. The decadal shift of the summer climate in the late 1980s over East China and its possible causes. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(5):697－706

Abstract In this paper, it is pointed out that a notable decadal shift of the summer climate in eastern China occurred in the late 1980s. In association with this decadal climate shift, after the late 1980s more precipitation appeared in the southern region of eastern China (namely South China), the western Pacific subtropical high stretched farther westward with a larger south-north extent, and a strengthened anticyclone at 850 hPa appeared in the northwestern Pacific. The decadal climate shift of the summer precipitation in South China was accompanied withdecadal changes of the Eurasian snow cover in boreal spring and sea surface temperature (SST) in western North Pacific in boreal summer in the late 1980s. After the late 1980s, the spring Eurasian snow cover apparently became less and the summer SST in western North Pacific increased obviously, which were well correlated with the increase of the South China precipitation. The physical processes are also investigated on how the summer precipitation in China was affected by the spring Eurasian snow cover and summer SST in western North Pacific. The change of the spring Eurasian snow cover could excite a wave-train in higherlatitudes, which lasted from spring to summer. Because of the wave-train, an abnormal high appeared over North China and a weak depression over South China, leading to more precipitation in South China. The increase of the summer SST in the western North Pacific reduced the land-sea thermal contrast and thus weakened the East Asian summer monsoon, also leading to more precipitation in South China.
Key words Summer climate in eastern China, Decadal climate variability, Decadal climate shift

摘 要 指出了中国东部夏季气候在20世纪80年代末出现了一次明显的年代际气候转型。伴随着这次年代际转型,80年代末以后中国东部南方地区降水明显增多,500 hPa西太平洋副热带高压西伸且南北范围变大,西北太平洋上空850 hPa反气旋增强。中国东部夏季80年代后期出现南方多雨的年代际转型与欧亚大陆春季积雪、西北太平洋夏季海面温度的年代际变化存在密切联系,它们也都在80年代末出现年代际转型。从80年代末以后,伴随着欧亚大陆春季积雪明显减少和西北太平洋夏季海面温度明显增高,中国夏季南方降水明显增加。文中分析了欧亚大陆春季积雪和西北太平洋夏季海面温度影响中国降水的物理过程,指出欧亚大陆春季积雪能够在500 hPa激发出大气中的遥相关波列,所激发出的波列可以从春季一直持续到夏季,造成中国北方为高压控制,南方为微弱低压控制,使得降水出现在中国南方。西北太平洋夏季海面温度的升高能够减小海陆热力差异,使得夏季风减弱,导致中国南方地区降水增多。
关键词 中国东部夏季气候,年代际变化,年代际转型
中图法分类号 P462.4+1 P467

---

* 资助课题:国家973项目(2004CB418300),国家自然科学基金项目(40675058)。
作者简介:张人禾,主要从事气候学研究。E-mail:renhe@cams.cma.gov.cn

1 引 言

中国东部夏季气候受东亚夏季风的影响,具有显著的多尺度变化(Wang, et al, 2005; Ding, 2007),而年代际变化是其中一个明显的特征(Li, et al, 2004;赵平等,2006)。王绍武等(2000)的研究表明,1880—2002 年,中国东部年降水以及四季降水没有长期变化趋势,但表现出明显干湿交替出现的年代际变化。施能等(1995)的研究表明,近百年来中国东部出现了 5 次年代际干湿转型,1902/1903 年由偏干转为偏湿,1918/1919 年由偏湿转为偏干,1930/1931 年转为干湿交替,1944/1945 年转为偏湿,1964/1965 年以来又转为偏干。中国东部降水的年代际变化具有复杂的空间分布(秦大河,2005),在年代际时间尺度上,华北、长江流域、华南的降水有很大的差异,如华北与长江中下游的多雨、少雨期经常相反,但有时也会同时多雨或少雨;华南降水的多少有时与华北一致,但有时也相反。由于观测资料的缺乏,关于年代际降水转型的许多研究集中在 20 世纪 50 年代以后的时期。现有研究表明,70 年代末中国东部夏季气候发生了一次明显的年代际转型。黄荣辉等(1999)通过分析 1951—1994 年中国夏季降水资料,指出中国 70 年代的夏季气候与 80 年代有较大差别,表现在长江、淮河流域从 70 年代末起降水增多,涝灾明显增多;而华南和华北在 80 年代降水明显比 70 年代少,干旱加重。张琼等(2001)利用 1958—1999 年降水资料,发现长江流域降水在 70 年代末以前普遍偏少,气候上处于干旱期,1980 年以后进入多雨阶段。陈烈庭(1999)分析了华北地区夏季降水的年代际变化,指出在 1951—1997 年,华北地区发生过两次突然变干的过程,一次在 60 年代中期,另一次在 70 年代末期,而后者突变无论在程度还是在范围上,都比前者突变要大。陈隆勋等(1998)、施晓辉等(2007)的研究也表明,东北和长江中下游地区在 60 和 70 年代降水偏少,70 年代末出现年代际转型,80 年代起降水增多;华北和华南地区的降水变化与此相反,70 年代末起由多雨变为少雨。

关于 70 年代末中国东部夏季降水年代际转型,许多研究从不同角度探讨了其物理成因,提出了 70 年代末中国东部夏季降水年代际转型与许多气候系统中其他自然因素的年代际变化有关,如“年代际 ENSO 循环”(黄荣辉等,1999),青藏高原的热力强迫(赵平等,2001),北太平洋年代际振荡(PDO)(Li, et al, 2003;杨修群等,2004),中国东部夏季对流层上层年代际变冷(Yu, et al, 2004),北大西洋海面温度的年代际变化(Lu, et al, 2006),春季海陆表面大气温差的年代际变化(Xu, et al, 2007),夏季亚洲大陆和北太平洋对流层中上层之间的扰动温度差的年代际变化(Zhao, et al, 2007)等。另外,一些研究也表明,人类活动引起的中国东部大气气溶胶浓度的增加,也可能是引起 70 年代末中国东部夏季降水年代际转型的可能原因(Xu, 2001; Menon, et al, 2002)。这些研究都表明,这些物理因素的年代际变化与东亚夏季风的减弱相联系,使得 70 年代末以后夏季雨带偏南,多雨区出现在中国东部的江淮流域附近,华南和华北降水减少。

如前所述,目前对 70 年代末中国东部夏季降水年代际转型及其可能成因已有较深入的认识,但自 70 年代末以来中国东部夏季降水年代际变化如何?是否也具有年代际转型?这是本文将要探讨的问题。

2 80 年代末东亚夏季风的年代际转型

由于东亚夏季风的复杂性,许多学者从不同角度定义了东亚夏季风指数(赵平等,2005)。Wang 等(2001)利用 30°N 以南 850 hPa 纬向风的水平切变,定义了西北太平洋-东亚夏季风(WNP-EASM)指数。Wu 等(2008a)对夏季 850 hPa 风场进行复 Hermit 矩阵分解,得到了 2 个模态,其中每个模态又包含 2 个子模态,这 4 个模态可以较好地刻画东亚夏季风的变异。为了说明东亚夏季风的年代际变化,图 1 给出了 Wang 等(2001)定义的西北太平洋—东亚夏季风指数的 7 a 滑动平均值(图 1a)以及 Wu 等(2008a)得到的东亚夏季风第 1 模态复主分量实部的 7 a 滑动平均值(图 1b)。从图 1 可以清楚地看出,这两个季风指数都表现出明显的年代际变化特征,并且两者的变化具有非常好的一致性。从 70 年代中期至 80 年代末期,夏季风指数为高值期;在 90 年代,夏季风指数为低值期,两个夏季风指数从高值向低值的转折都发生在 80 年代末。由此可看出,东亚夏季风在 80 年代末出现了一次年代际转型。

为了说明与 80 年代末东亚夏季风年代际转型相联系的中国夏季降水的变化,图 2 给出了根据中国618个台站观测降水值计算出的1990—2001年

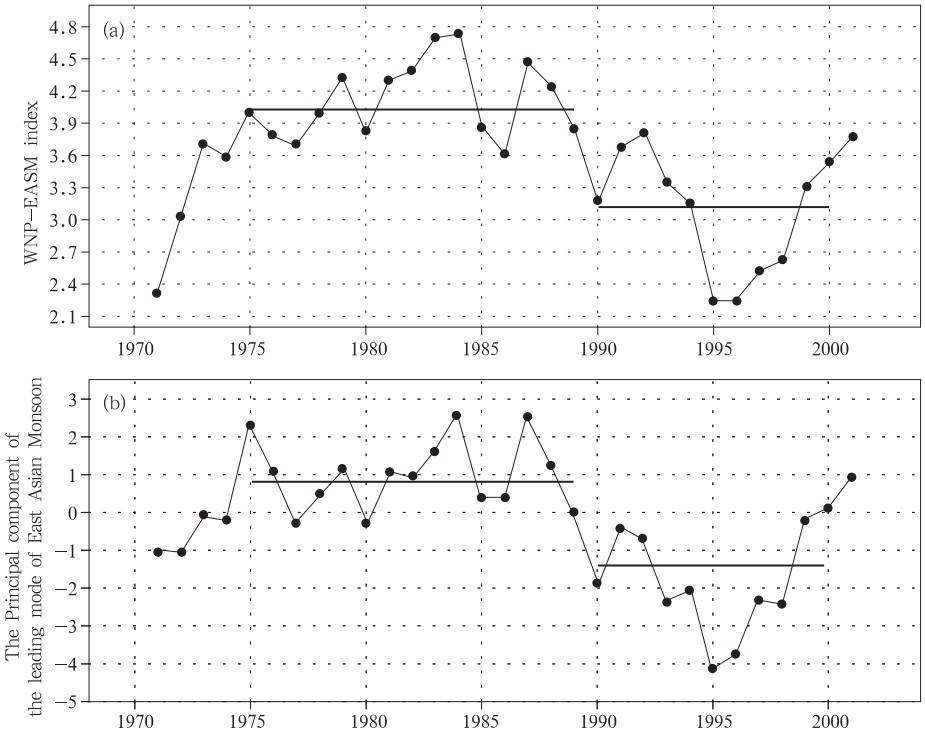

图 1 (a)西北太平洋-东亚夏季风指数(单位:m/s;Wang,et al,2001)和(b)东亚夏季风第 1 模态复主分量实部(Wu,et al,2008a)的 7 a 滑动平均

Fig. 1 7-year running means of (a) the WNP-EASM Index (unit: m/s; from Wang,et al, 2001) and (b) the real part of the leading complex principal component of the leading mode of East Asian summer monsoon (from Wu,et al, 2008a)

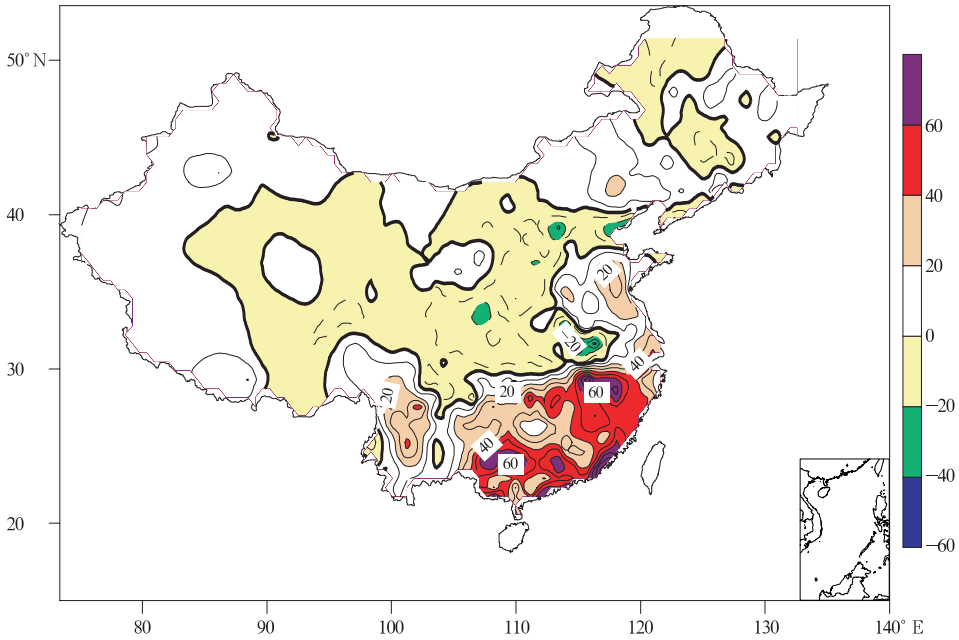

图 2 1990—2001 年和 1975—1989 年两个时段中国夏季(6—8 月)降水差
(单位:mm;实线和虚线分别代表正值和负值,粗实线为 0 线,等值线间隔为 10 mm)

Fig. 2 Difference of summer (JJA) rainfalls in China between 1990—2001 and 1975—1989
(Unit: mm;Interval: 10 mm;Real and dashed lines represent positive and negative difference, respectively; Thick lines denote zero)

与1975—1989年两个时段中国夏季(6—8月)平均降水的差值分布。从图中可看出,两个时段降水差值在中国东部30°N以南除了云南东部104°E附近的一小块区域外,均为明显的较大正值区域,即1990—2001年与1975—1989年相比,在中国东部南方地区降水明显增多。另外,在山东半岛以西,也出现了一小片降水偏多的区域。由此可知,虽然80年代以来全球和中国的地面温度都呈现出明显的持续增加趋势(秦大河,2005),但中国东部夏季气候变化具有其独特性。从东亚夏季风指数可以看到,东亚夏季风并没有呈现出一致性的变化趋势,而表现出明显的年代际变化,在80年代末东亚夏季风出现明显的年代际转型,即从强夏季风向弱夏季风转变。从中国夏季降水情况来看,1990—2001年和1975—1989年两个时段的中国夏季降水差表现出在中国东部30°N以南地区降水明显增加。

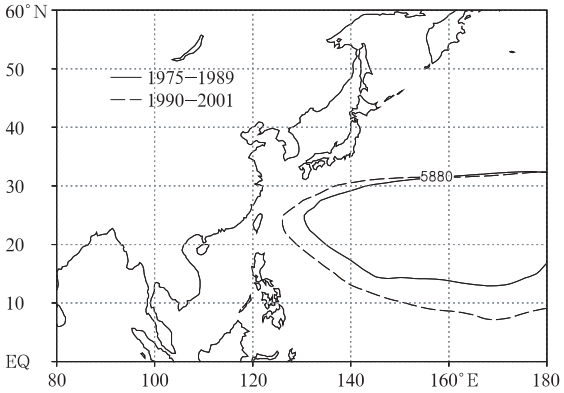

图3 500 hPa 1990—2001年(虚线)和1975—1989年(实线)夏季平均5880 gpm等值线

Fig. 3 Summer (JJA) mean 5880 gpm contour at 500 hPa averaged in 1990—2001 (dashed line) and in 1975—1989 (real line), respectively

为了说明图2所示的中国东部降水的年代际转型所对应的环流变化,根据欧洲中期天气预报中心(ECMWF)ERA40再分析资料,图3和4分别给出了1990—2001年和1975—1989年两个时段能代表西太平洋副热带高压范围的500 hPa夏季平均5880 gpm等值线和850 hPa风场在两个时段的差值。由图3可看出,1990—2001年与1975—1989年相比,西太平洋副高变强,表现为明显西伸和南北范围变大,有利于中国东部的南方地区南风加强。由图4可看出,与西太平洋副高增强相对应,850 hPa等压面上西北太平洋出现了明显的反气旋,反气旋西部的风场使得中国东部的长江以南地区南风加强。加强的南风有利于水气输送的增强,使得中国东部长江以南地区降水增多。由此可知,与80年代末东亚夏季风的年代际转型相对应,东亚夏季风环流以及中国的夏季降水都发生了明显的变化。以下将探讨产生这种年代际转型的可能物理机制。

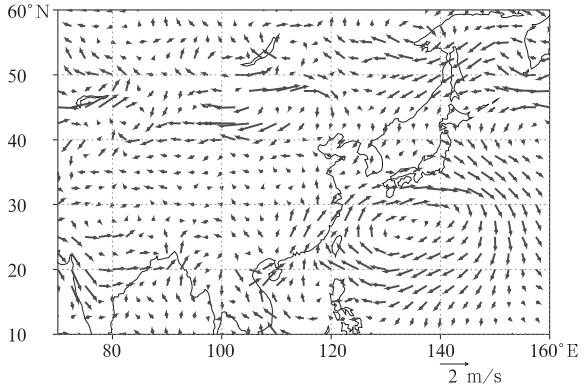

图4 1990—2001年和1975—1989年两个时段夏季(6—8月)850 hPa风场差值(单位:m/s)

Fig. 4 Difference of summer (JJA) winds between 1990—2001 and 1975—1989 (unit: m/s)

3 与欧亚大陆春季积雪变异的联系

Wu等(2008b)利用奇异值分解(SVD)方法,分析了欧亚大陆春季雪水当量(SWE)与中国夏季降水之间的关系。图5给出了欧亚大陆春季雪水当量与中国夏季降水SVD的第一模态分布。可看出,欧亚大陆春季积雪(图5a)除了在南部和东部的边沿区域外,其主体部分基本上具有一致性的变化。对应于这种一致性的积雪分布,中国东部北方降水与南方相反,南方夏季降水(图5b)与图2所示的80年代末年代际转型前后的降水差值图符合得非常好。对比图2和图5b可看出,除了中国南方具有几乎一样的分布外,两者在山东半岛以西及河套附近的小区域中也具有一致性的分布,在中国南方云南东部104°E附近也具有一致性。由此可看出,中国东部夏季降水在80年代末的年代际转型与欧亚大陆春季积雪之间确有密切的联系。

图6给出了欧亚大陆春季雪水当量与中国夏季降水SVD的第一模态的时间系数,可明显看出欧亚

大陆春季雪水当量与中国夏季降水的时间系数具有非常一致的变化,二者的相关系数高达 0.80。无论是积雪还是降水,都可以看到与东亚夏季风一样,在 80 年代末发生了显著的变化。在 80 年代末以前都为负,在此之后基本上为正值,表明春季欧亚大陆积雪下降对应着中国北方夏季降水的减少,华南夏季降水的增加。对比图 5 可知,80 年代末以前欧亚大陆积雪偏多,中国南方降水偏少;80 年代末以后欧亚大陆积雪偏少,中国南方降水偏多。说明欧亚大陆春季积雪与中国夏季气候年代际气候转型有关的南方降水增多有密切联系。

为了说明春季欧亚大陆积雪对中国夏季降水影响的物理过程,Wu 等 (2008b)利用 SVD 第一模态春季欧亚大陆积雪时间系数,分别计算出了春季和夏季 500 hPa 位势高度的线性回归场。结果表明,在春季 500 hPa 位势高度回归场中,欧亚大陆积雪在欧亚大陆上空 40°N 以北激发出明显的遥相关波列,与此遥相关波列相联系的位势高度场在贝加尔湖以西出现了高压,此高压控制了中国北方地区。夏季 500 hPa 位势高度回归场与春季类似,说明欧亚大陆春季积雪激发出的遥相关波列从春季一直持续到了夏季,夏季 500 hPa 位势高度回归场在中国

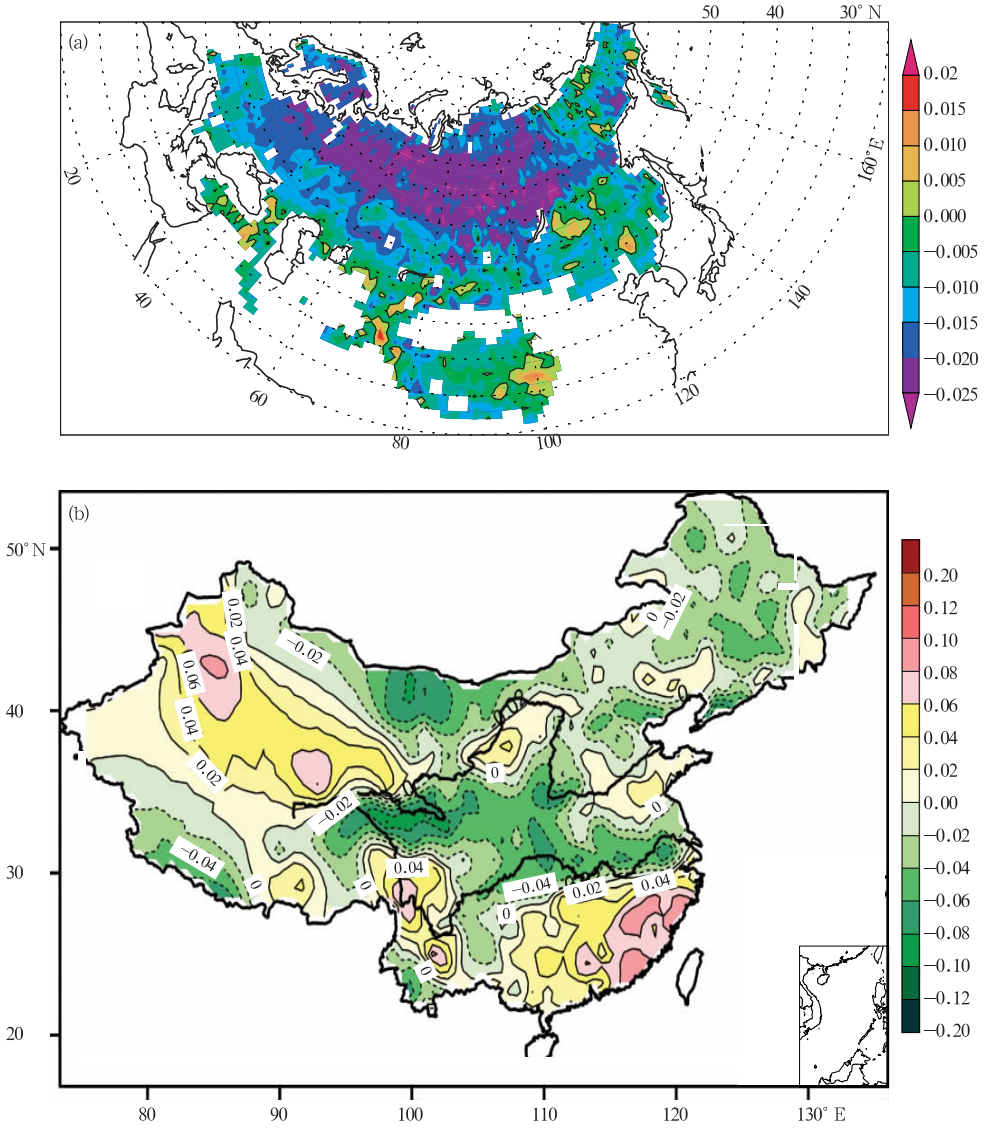

图 5 (a)欧亚大陆春季雪水当量与(b)中国夏季降水 SVD 的第一模态分布(Wu,et al, 2008b)

Fig. 5 Spatial distributions (a, SWE) and (b, summer rainfall in China of the leading SVD mode (from Wu,et al, 2008b)

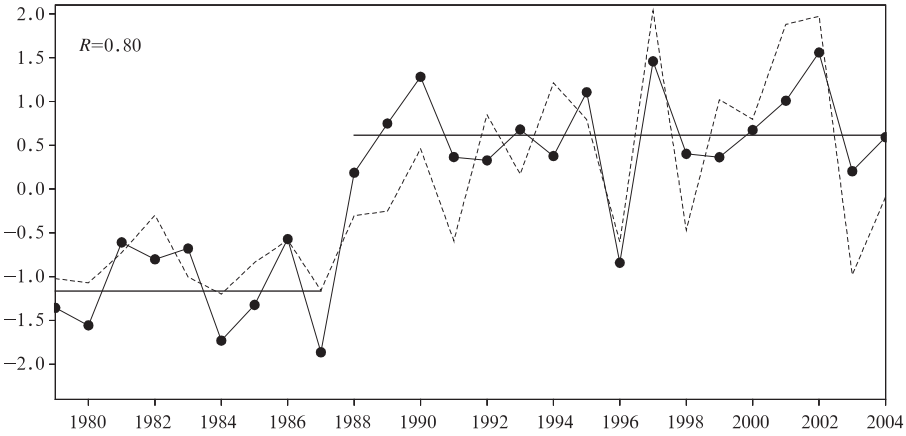

图 6 欧亚大陆春季雪水当量与中国夏季降水 SVD 第一模态的时间系数
(实线和虚线分别代表欧亚大陆春季雪水当量和中国夏季降水)(Wu,et al, 2008b)
Fig. 6 Time series of the SVD leading mode for SWE (real line) and summer rainfall in China (dotted line) (from Wu,et al, 2008b)

北方地区同样为高压控制,不利于降水的产生,而在中国南方地区为微弱的低压控制,使得中国夏季雨带偏南,南方降水增多。由此可知,80 年代末中国南方夏季降水增多与欧亚大陆春季积雪激发出的高纬度遥相关波列有密切的关系,这种遥相关可以一直延续到夏季,这说明了欧亚大陆春季积雪影响夏季中国东部气候年代际转型的物理过程。

4 与西北太平洋海面温度变异的联系

武炳义和张人禾(2007)对西北太平洋夏季海面温度(SST)进行了经验正交函数(EOF)分解,图 7 和 8 分别给出了前两个主分量和与之相对应的时间

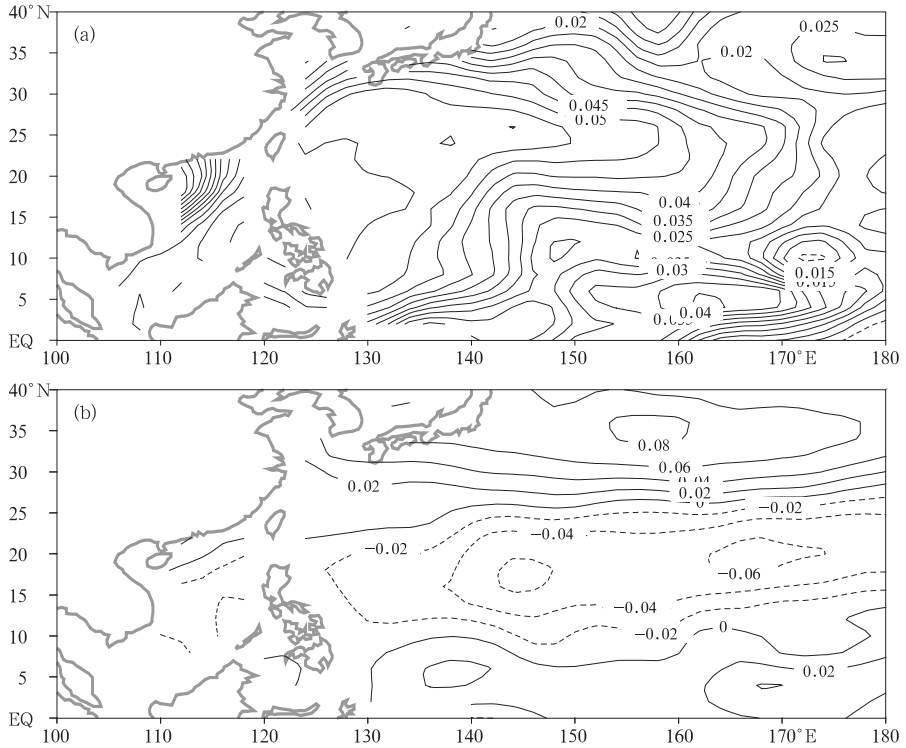

图 7 西北太平洋夏季海面温度经验正交函数(a)第 1 和(b)第 2 主分量
(武炳义和张人禾,2007)
Fig. 7 (a) EOF1 and (b) EOF2 of the summer sea surface temperature in the western North Pacific (from Wu and Zhang, 2007)

系数分布。第 1 和第 2 主分量所占的方差贡献分别为 30.5%和 15.2%。由图 7 可看出,第 1 个主分量(EOF1)表现出全区一致型的海面温度分布(图 7a),而第 2 主分量(EOF2)则表现为东西向带状海面温度在南北方向"+ − +"的"三极型"分布(图 7b)。由图 8 所示的时间系数的演变可看出,第 1 个主分量的时间系数(图 8a)具有明显的年代际变化,年代际转变发生在 80 年代末,在此之前基本上以负值为主,而在此之后基本上以正值为主。参照图 7a 可知,西北太平洋全区一致型的的海面温度在 80 年代末发生了明显的年代际转型,即在 80 年代末以前西北太平洋海面温度偏冷,主要表现为负距平;其后西北太平洋海面温度偏暖,表现出明显的正距平。第 2 主分量的时间系数(图 8b)没有明显的年代际变化,主要表现为年际变化。

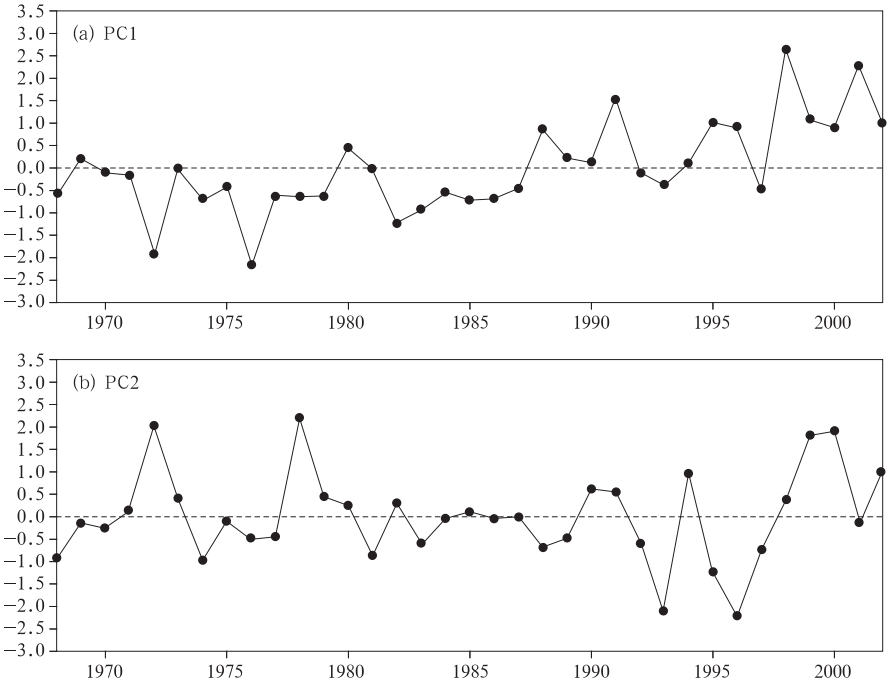

图 8 西北太平洋夏季海面温度经验正交函数(a)第 1 和(b)第 2 主分量的时间系数(武炳义和张人禾,2007)

Fig. 8 Time series of (a) EOF1 and (b) EOF2 of the summer sea surface temperature in the western North Pacific (from Wu and Zhang, 2007)

为了分析前述西北太平洋夏季海面温度 EOF 第 1 主分量对中国夏季降水年代际变化及在 80 年代末东亚夏季气候转型中的作用,我们对 EOF 第 1 主分量的时间系数进行了 5 a 滑动平均,计算了5 a 滑动平均后的 EOF 第 1 主分量时间系数与中国夏季降水的相关,图 9 给出了相关系数分布。可看出在中国南方为明显的正相关,即西北太平洋海温偏低时,中国南方降水偏少;而西北太平洋海温偏高时,对应着中国南方降水偏多。由图 8 可知,80 年代末以前西北太平洋海温偏低,在此之后海温偏高,这说明了 80 年代末中国夏季气候转型与西北太平洋海温的变化密切相关。将图 9 与图 2 相比较,可看出中国 80 年代末之前与之后的夏季降水差值图与图 9 所示的相关系数在中国东部有很相似的分布,甚至在山东半岛以西、河套附近以及在云南以东 104°E 附近的一些小区域中都有一致的分布。在这些较小区域也具有一致性的特征,进一步说明西北太平洋夏季海面温度在 80 年代末之后的升高与中国夏季气候在 80 年代末的年代际转型有着非常密切的联系。

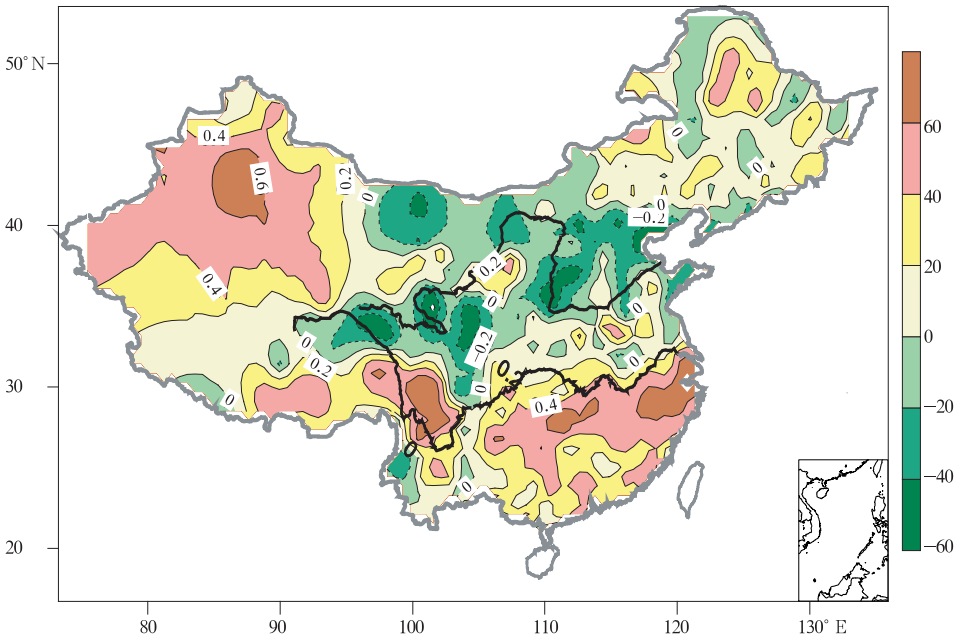

图 9 5 a 滑动平均后的西北太平洋夏季海温第 1 主分量时间系数和中国夏季降水的相关系数分布

Fig. 9 Correlation coefficients between the summer precipitation in China and 5-year running means of the EOF1 time series of the western North Pacific SST

5 结论和讨论

本文根据两种夏季风指数的演变特征，指出这两个季风指数都表现出明显的年代际变化特征，并且两者的变化具有非常好的一致性。从 70 年代中期至 80 年代末期，夏季风指数为高值期；在 90 年代，夏季风指数为低值期，两个夏季风指数从高值向低值的转折都发生在 80 年代末，即东亚夏季风在 80 年代末出现了一次年代际转型。

对应于 80 年代后期东亚夏季风的年代际转型，中国夏季降水和东亚季风环流都出现了明显的变化。1990—2001 年与 1975—1989 年两个时段中国夏季平均降水的差值分布表明，在中国东部南方地区降水明显增多。与 1975—1989 年时段相比，1990—2001 年时段内西太平洋副热带高压西伸并南北范围变大，有利于中国南方南风加强。两个时段 850 hPa 风场的差值表现为在西北太平洋出现了明显的反气旋，反气旋西部的南风出现在长江以南，有利于水汽输送加强，使更多的降水出现在长江以南。

利用奇异值分解(SVD)方法分析了欧亚大陆春季雪水当量(SWE)与中国夏季降水之间的关系。结果表明，无论是积雪还是降水，都可以看到与东亚夏季风一样，在 80 年代末发生了显著的变化。80 年代末以前欧亚大陆积雪偏多，中国南方降水偏少；80 年代末以后欧亚大陆积雪偏少，中国南方降水偏多。说明欧亚大陆春季积雪与中国夏季气候年代际转型有关的南方降水增多有密切联系。为了说明欧亚大陆春季积雪影响夏季中国东部气候年代际转型的物理过程，利用 SVD 第 1 模态春季欧亚大陆积雪时间系数，分别计算出了春季和夏季 500 hPa 位势高度的线性回归场。发现欧亚大陆春季积雪可以在 40°N 以北激发出遥相关波列，所激发出的遥相关波列从春季一直持续到了夏季，使得中国北方地区为高压控制，不利于降水的产生，而在中国南方地区为微弱的低压控制，造成中国夏季雨带偏南，南方降水增多。这说明高纬度系统在东亚气候的年代际变化中具有重要的作用。事实上，武炳义等(2008c)发现，北极夏季大气环流与东亚夏季气候一样，在 80 年代末也出现了明显的年代际气候转型。

对西北太平洋夏季海面温度(SST)进行了经验正交函数(EOF)分解，第 1 个主分量(EOF1)表现出全区一致型的海面温度分布，时间系数具有明显的年代际变化，年代际转型发生在 80 年代末，在此之前基本上以负值为主，而在此之后基本上以正值为

主。说明西北太平洋全区一致型的海面温度在 80 年代末发生了明显的年代际转型,即在 80 年代末以前西北太平洋海面温度偏低,主要表现为负距平;其后西北太平洋海面温度偏高,表现出明显的正距平。中国夏季降水与 EOF 第 1 主分量的时间系数之间的相关系数分布表明,在中国南方为明显的正相关,即西北太平洋海温偏低时,中国南方降水偏少;而西北太平洋海温偏高时,对应着中国南方降水偏多。80 年代末以前西北太平洋海温偏低,在此之后海温偏高,说明了 80 年代末中国夏季气候转型与西北太平洋海温的变化密切相关。关于西北太平洋夏季海温影响东亚夏季降水的物理过程,可以认为海温的增高减小了海陆之间的温度差异,使得夏季风变弱,导致中国华南地区降水增多。

本文的分析表明,对于中国东部夏季气候在 80 年代末出现的年代际转型,欧亚大陆春季积雪和夏季西北太平洋海面温度是重要的可能影响因素。从图 5 和 9 可明显看出,欧亚大陆春季积雪和夏季西北太平洋海面温度与中国西北的降水也密切相关,事实上,已有研究表明,中国新疆降水在 80 年代末有突变发生,在此之后降水明显增多(史玉光等,2008)。因此,欧亚大陆春季积雪和夏季西北太平洋海面温度在年代际尺度上对中国西北降水的影响是一个值得深入研究的问题。另外,欧亚大陆春季积雪和夏季西北太平洋海面温度的年代际变化对中国夏季气候年代际变化的影响,尚需要利用气候模式进行深入研究,以便进一步证实本文的资料诊断结果。同时,对于欧亚大陆春季积雪和夏季西北太平洋海面温度的年代际变化本身也应进行研究,目前还不清楚究竟是什么原因导致了欧亚大陆春季积雪和夏季西北太平洋海面温度的年代际变化。

References

Chen L T. 1999. Regional features of interannual and interdecadal variations in summer precipitation anomalies over North China. Plateau Meteor (in Chinese), 18(4):477-485

Chen L X, Zhu W Q, Wang W, et al. 1998. Study on climate change in China in recent 45 years. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 56(3):257-271

Ding Y H. 2007. The variability of the Asian summer monsoon. J Meteor Soc Japan, 85B: 21-54

Huang R H, Xu Y H, Zhou L T. 1999. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China. Plateau Meteor (in Chinese), 18(4):465-476

Li C Y, Xian P. 2003. Atmospheric anomalies related to interdecadal variability of SST in the North Pacific. Adv Atmos Sci, 20: 859-874

Li C Y, He J H, Zhu J. 2004. A review of decadal/interdecadal climate variation studies in China. Adv Atmos Sci, 21: 425-436

Lu R Y, Dong B W, Ding H. 2006. Impact of the Atlantic multidecadal oscillation on the Asian summer monsoon. Geophys Res Lett, 33, L24701, doi:10.1029/2006GL027655

Menon S, Hasen J, Nazarenko L, et al. 2002. Climate effects of black carbon aerosols in China and India. Science, 297: 2250-2253

Qing D H. 2005. Climate and Environment Changes in China (in Chinese). Beijing: Science Press, 562pp

Shi N, Chen J Q, Tu Q P. 1995. 4-phase climate change features in the last 100 years over China. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 53(4): 431-439

Shi X H, Xu X D. 2007. Regional characteristics of the interdecadal turning of winter/summer climate modes in Chinese mainland. China Sci Bull, 52 (1): 101-112

Shi Y G, Sun Z B, Yang Q. 2008. Characteristics of area precipitation in Xinjiang region with its variations. J Appl Meteor Sci (in Chinese),19(3): 326-332

Wang B, Wu R G, Lau K M. 2001. Interannual variabllity of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the western North Pacific-East Asian monsoon. J Climate, 14: 4073-4090

Wang B, Li T, Ding Y H, et al. 2005. Eastern Asian-Western North Pacific monsoon: A distinctive component of the Asian-Australian monsoon system // Chang C-P, Bin Wang, Lau N-CG. The Global Monsoon System: Research and Forecast. WMO/TD No. 1266 (TMRP Report No. 70): 72-94

Wang S W, Gong D Y, Ye J L, et al. 2000. Seasonal precipitation series of eastern China since 1880 and the variability. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 55(3):281-293

Wu B Y, Zhang R H. 2007. Interdecadal shift in the western North Pacific summer SST anomaly in the late 1980s. Chin Sci Bull, 52(18): 2559-2564

Wu B Y, Zhang R H, Ding Y H, et al. 2008a. Distinct modes of the East Asian summer monsoon. J Climate, 21: 1122-1138

Wu B Y, Yang K, Zhang R H. 2008b. Eurasian snow cover variability and its association with summer rainfall in China. Adv Atmos Sci, (in press)

Wu B Y,Zhang R H, Rosanne D. 2008c. Arctic dipole anomaly and summer rainfall in Northeast China. Chin Sci Bull, 53(14): 2222-2229

Xu Q. 2001. Abrupt change of the mid-summer climate in central east China by the influence of atmospheric pollution. Atmos Envir, 35:5029-5040

Xu X D, Shi X H, Xie L A, et al. 2007. Consistency of interdecadal variation in the summer monsoon over eastern China and het-

erogeneity in springtime surface air temperatures. J Meteor Soc Japan, 85A: 311-323

Yang X Q, Zhu Y M, Xie Q, et al. 2004. Advances in Studies of Pacific Decadal Oscillation. Chinese J Atmos Sci (in Chinese), 28(6):979-992

Yu R, Wang B, Zhou T J. 2004. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. Geophys Res Lett, 31, L22212, doi: 10. 1029/2004GL021270

Zhang Q, Wu G X. 2001. The large area flood and draught over Yangtze River valley and its relation to the South Asia high. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 59(5):569-577

Zhao P, Chen L X. 2001. Climatic features of atmospheric heat source/sink over the Qinghai-Xizang Plateau in 35 years and its relation to rainfall in China. Sci China (Series D), 44: 858-864

Zhao P, Zhuo Z J. 2005. East Asian subtropical summer monsoon index and its relationships to rainfall. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 63(6): 933-941

Zhao P, Nan S L. 2006. Some advances in climate and climate change research. J Appl Meteor Sci (in Chinese),17(6): 725-735

Zhao P, Zhu Y N, Zhang R H. 2007. An Asian-Pacific teleconnection in Summer tropospheric temperature and associated Asian climate variability. Clim Dyn, 29: 293-303. doi 10. 1007/s00382-007-0236-y

附中文参考文献

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. 高原气象,18(4):477-485

陈隆勋,朱文琴,王文等. 1998. 中国近 45 年来气候变化的研究. 气象学报,56(3):257-271

黄荣辉,徐予红,周连童. 1999. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象,18(4):465-476

秦大河. 2005. 中国气候与环境演变(上卷). 北京: 科学出版社, 562pp

施能,陈家其,屠其□. 1995. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征. 气象学报,53(4):431-439

施晓辉,徐祥德. 2007. 中国大陆冬夏气候型年代际转折的区域结构特征. 科学通报,51(17):2075-2084

史玉光,孙照渤,杨青. 2008. 新疆区域面雨量分布特征及其变化规律. 应用气象学报,19(3):326-332

王绍武,龚道溢,叶瑾林,等. 2000. 1880 年以来中国东部四季降水量序列及其变率. 地理学报,55(3):281-293

武炳义,张人禾. 2007. 20 世纪 80 年代后期西北太平洋夏季海表温度异常的年代际变化. 科学通报,52(10):1190-1194

武炳义,张人禾,D'Arrigo Rosanne. 2008. 北极偶极子异常与中国东北夏季降水. 科学通报,53(12),1422-1428

杨修群,朱益民,谢倩等. 2004. 太平洋年代际振荡的研究进展. 大气科学,28(6):979-992

张琼,吴国雄. 2001. 长江流域大范围旱涝于南亚高压的关系. 气象学报,59(5):569-577

赵平,陈隆勋. 2001. 近 35 年来青藏高原大气热源气候变化特征及其与中国降水关系的研究. 中国科学(D 辑),3:327-332

赵平,周自江. 2005. 东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系. 气象学报,63(6): 933-941

赵平,南素兰. 2006. 气候和气候变化领域的研究进展. 应用气象学报,17(6):725-735