

王遵娅,丁一汇. 夏季亚洲极涡的长期变化对东亚环流和水汽收支的影响. 地球物理学报, 2009, 52(1): 20~29
Wang Z Y, Ding Y H. Impacts of the long-term change of the summer Asian polar vortex on the circulation system and the water vapor transport in East Asia. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2009, 52(1): 20~29

夏季亚洲极涡的长期变化对东亚环流 和水汽收支的影响

王遵娅, 丁一汇

中国气象局国家气候中心, 北京 100081

摘 要 主要分析了 1951~2004 年夏季亚洲极涡强度和面积的长期变化趋势及其对东亚夏季环流、水汽输送和降水量的影响, 发现 1951~2004 年, 夏季亚洲极涡表现出了明显的强度减弱, 面积缩小的变化趋势, 并以面积缩小更为显著, 这正对应于北极涛动(AO)指数在该时段的显著升高. 在这种北半球中高纬大尺度环流变化的影响下, 东亚夏季高空西风急流在近 54 年显著南移, 冷空气活动的南侵程度明显增强, 从而造成低空偏北风显著增强而偏南风减弱. 与此相应, 近 54 年整个中国区域内低空纬向风速呈明显的减小趋势. 总的来看, 东亚夏季环流发生了明显减弱. 同时, 流经中国的中纬度西风水汽输送在近 54 年也表现出一致减弱的趋势, 而南风水汽输送大致以 110°E 为界, 以东的夏季风区呈显著的减弱趋势而以西则有明显的增加趋势. 这种水汽输送的变化影响了中国不同区域内水汽输送通量散度的改变, 进而使得夏季降水量发生变化. 分析表明, 夏季亚洲极涡的面积和强度与东北、华北和西北东部的水汽输送通量散度和夏季降水呈正相关, 而与长江中下游、华南、西南、青藏高原和西北西部呈显著负相关, 夏季亚洲极涡在几十年的面积缩小和强度减弱是中国夏季降水长期变化的一个可能原因.

关键词 亚洲极涡, 变化趋势, 东亚环流, 水汽输送, 中国夏季降水

文章编号 0001-5733(2009)01-0020-10

中图分类号 P467

收稿日期 2007-12-19, 2008-11-04 收修定稿

Impacts of the long-term change of the summer Asian polar vortex on the circulation system and the water vapor transport in East Asia

WANG Zun-Ya, DING Yi-Hui

National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Abstract The long-term trend of the intensity and the extension of the summer Asian polar vortex during 1951 to 2004 is analyzed and its relationships with the circulation system, the water vapor transport and rainfall amounts of the East Asian summer monsoon are discussed. The main results are shown as follows: both the intensity and the extension of the summer Asian polar vortex show significant decreasing trend from 1951 to 2004, with the change in the extension being more obvious. And the trend is consistent with the significant increase of the AO index. By the impacts of the change of the large-scale circulation in the mid-high latitude, the location of the upper-level westerly jet shifted significantly southward, the southward invasion of the cold air intensified greatly, the low-level northerly strengthened while the southerly weakened obviously and the zonal wind speed decreased to some degree in recent 54 years, presenting the obvious weakening of the East Asian summer monsoon. At the same time, the westward water vapor

基金项目 国家重点基础研究发展计划(2006CB403604), 国家自然科学基金(40775039), 国家科技支撑计划课题(2007BAC29B02)资助.
作者简介 王遵娅, 女, 1979 年生, 博士, 主要从事短期气候变化研究. E-mail: wangzy@cma.gov.cn

transport weakened consistently over China. And the southward water vapor transport showed opposite trends in the west part and the east part of China, taking about 110°E as the boundary, with the increasing trend in the west while the decreasing trend in the east. Changes in the water vapor transport affected the convergence and divergence of the water vapor in different regions of China, and then resulted in the change of the summer rainfalls. Further analyses present that these changes in the water vapor transport and its convergence and divergence are related closely to the weakening and area decrease of the summer Asian polar vortex. The summer Asian polar vortex has an important impact on the summer rainfalls in China through the circulation and the water vapor transport of the East Asian summer monsoon and its long-term change is a possible cause of the change of summer rainfalls in China.

Keywords Asian polar vortex, Linear trend, East Asian circulation, Water vapor transport, Summer rainfalls in China

1 引言

极涡一般指位于对流层中、上层且中心在极区的大尺度气旋性环流系统,是北半球重要的环流系统.它控制着泛极地半永久性活动中心和副极地短时间尺度的气旋活动,并对低层大气环流和中高纬天气气候有着重要影响.以极地和绕极中高纬地区气压距平呈反位相分布为主要特征的北极涛动(AO)^[1]或环状模(annular mode)^[2]能很好的反映极涡强度的变化特征^[3],与极涡有着密切的关系.

自 20 世纪以来,很多学者对极涡本身的气候特征、变化及其对各地天气和气候的影响等进行了研究. Angell 等^[4]对 300hPa 的北半球极涡面积和位置演变进行了讨论,并研究了其对北美气温的影响.章少卿等^[5]揭示了极涡面积的季节变化以及东、西两半球极涡的相互关系.一些研究发现,ENSO 事件会对北半球 500hPa 极涡产生影响^[6],而赤道太平洋海温、平流层准两年振荡和太阳黑子数等对 300hPa 极涡的大小和位置^[7]都会产生作用.

随着极涡研究的深入,我国很多学者也发现了极涡与我国气候之间的密切关系.顾思南等^[8]研究发现,北半球绕极涡总体一致性收缩时,冬季我国大部分地区的气温都会随之变高,而降水偏多;夏季东北、华北、西南和华南地区气温偏高,降水偏少,而江淮流域气温偏低,降水偏多.张恒德等^[9]指出,前期冬季极涡对我国春季降水具有显著影响.姚秀萍等^[10]的研究表明,12 月份或冬季的极涡强度指数与次年 8 月份或夏季我国东北地区的降水存在显著的正相关.黄嘉佑等^[11]也指出冬季极涡强弱对我国夏季降水有重要影响.

近百年来,地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化^[12],北极极涡也呈现出强度减弱,面积缩小的趋势^[6,9].同时,分析发现近 50 多年来,中国东北和华北降水显著减少,而长江中下游降水明显增多^[13,14],西北地区在 1986 年前后发生了一次明显的气候跃变,从“暖干型”转变为“暖湿型”^[15].那么,夏季亚洲极涡的长期变化特征如何?它怎样对东亚夏季环流和水汽输送产生影响?它又与中国夏季降水存在怎样的关系呢?本文将针对这些问题进行详细分析,以期加深对夏季亚洲极涡变化特征及其气候效应的理解.

2 资料和方法

本文主要使用了三份资料,一是中国气象局国家气象中心整编的中国 740 站逐日降水资料,时间从 1951 年 1 月 1 日到 2004 年 12 月 31 日.该资料已经过初步的质量控制,并在使用前对其进行了进一步处理.首先对单个缺测值进行了插值,然后将夏季(6 月 1 日~8 月 31 日)出现连续缺测的年份剔除,最后将夏季降水资料连续长度短于从 1961 年到 2004 年的站点进行了剔除.最后共剩余 568 个站点用于本文的分析.二是 NCAR/NCEP 逐月海平面气压和逐月气温资料,长度为 1951~2004 年,水平分辨率为 2.5° (经度) $\times 2.5^{\circ}$ (纬度),该资料由美国国家环境预报中心和美国大气科学研究中心(NCAR/NCEP)共同完成^[16].三是中国气象局国家气候中心制作的大气环流指数,采用了其中的亚洲极涡强度指数和面积指数,长度为 1951~2004 年.两个指数的算法如下:

面积指数:

$$S = \frac{R^2}{72} \sum_{i=1}^n (1 - \sin i),$$

强度指数:

$$I = R^2 \sum_{i,j} [H_0(M) - H_{i,j}] \cos i,$$

其中, i 为极涡南界特征等高线以北格点的纬度; R 为地球半径; ρ 为空气密度; $\Delta z = \Delta r / 72$; $H_0(M)$ 为极涡南界特征等高线值; i, j 为经度和纬度格点数; $H_{i,j}$ 为极涡南界特征等高线以北各格点的高度值. 在 500 hPa 月平均等压面上, 取接近于最大西风轴线的等高线为极涡南界, 6~8 月极涡南界特征等高线分别为: 5680, 5720, 5720 gpm. 亚洲极涡的经度范围取 $60^{\circ}E \sim 150^{\circ}E$.

本文主要采用了一元线性回归和相关分析等统计分析方法.

3 夏季亚洲极涡的变化趋势及其与中国夏季降水的关系

如图 1 所示, 夏季亚洲极涡的强度指数和面积

指数在近 54 年均表现出下降趋势. 其中面积指数从 20 世纪 50 年代中期到 70 年代中期基本为正距平, 表明极涡面积偏大. 70 年代中期以后面积明显缩小, 到 90 年代中期以后以负距平值为主, 表明极涡面积偏小. 面积指数的线性变化趋势系数为 $-3.5/10a$, 通过了 95% 的显著性检验. 强度指数的下降趋势不如面积指数显著, 而表现出了更强的准 10 年振荡特征, 其线性变化趋势系数为 $-0.43/10a$, 没有通过 95% 的显著性检验. 很明显, 夏季亚洲极涡的强度和面积具有较好的对应关系, 即当极涡强度偏强时, 则其面积偏大; 当极涡强度偏弱则其面积偏小. 计算也证实, 二者的相关系数达 0.5, 通过了 99% 的显著性检验. 事实上, 近 50 多年夏季北极涛动(AO)指数表现出了显著的上升趋势^[17], 表明在近几十年北半球热带外地区由极区气压偏高而中高纬气压偏低逐渐转变为极区气压偏低而中高纬气压偏高. 这种变化与夏季亚洲极涡的强度减弱和面积缩小是相一致的.

在近 54 年, 中国的夏季降水也发生了明显的变化. 如图 2 所示, 长江中下游华南大部、西北西部和青藏高原东部降水增加而东北、华北和西北东部降

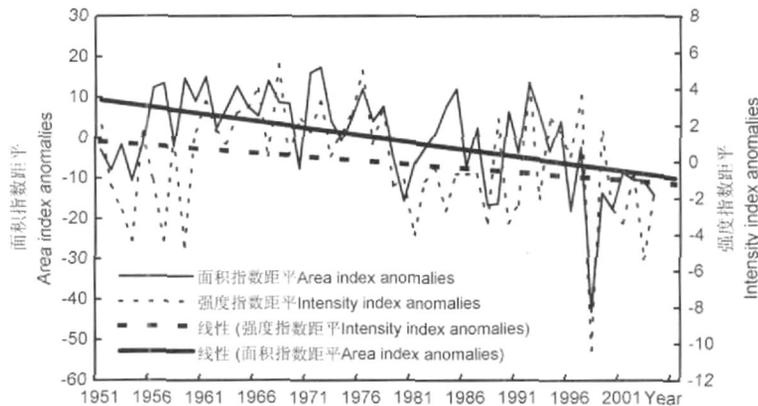


图 1 1951~2004 年夏季亚洲极涡面积和强度指数距平的时间序列及线性变化趋势
Fig. 1 Time series of the area and intensity index anomalies of the summer Asian polar vortex and the corresponding linear trends from 1951 to 2004

水减少. 其中, 长江中下游、华北和西北西部部分站点的变化趋势通过了 95% 的显著性检验. 西北西部降水的增加最为明显, 最大能达到 20%/10 年左右. 对中国平均而言, 夏季降水在近 54 年略有增加, 线性变化趋势系数仅为 0.72%/10 年, 没有达到信度. 这样的变化趋势与一般的研究结果相一致^[13, 18~20]. 中国夏季降水的变化趋势很有意思, 呈负趋势变化的区域与半干旱/半湿润区, 也即与“气候过渡带”大体一致, 而干旱区和湿润区都出现了降水的正趋势变化, 且干旱区的降水增加幅度最大.

从图 3 可以看到, 夏季亚洲极涡面积与中国夏季降水具有密切关系. 西北西部、青藏高原东部和长江中下游为负相关, 且大部分站点达到了 95% 的显著性检验. 也就是说, 夏季亚洲极涡面积偏小则这些地区夏季降水偏多; 而东北、华北、西北东部和西南南部等地为正相关分布, 即: 夏季亚洲极涡面积偏小则这些地区降水偏少. 对夏季亚洲极涡强度与中国夏季降水进行相关分析也可以发现相似的结果, 但相关关系不如面积指数显著(图略). 非常有趣的一点是, 近 54 年降水出现增加的区域都与夏季亚洲极

涡面积和强度指数呈显著的负相关,而降水减少的区域都与极涡面积和强度指数呈显著的正相关. 这表明,夏季亚洲极涡的强度和面积与中国夏季降水

量关系密切,近 54 年夏季亚洲极涡强度减弱,面积缩小是导致中国夏季降水发生变化的一个可能原因.

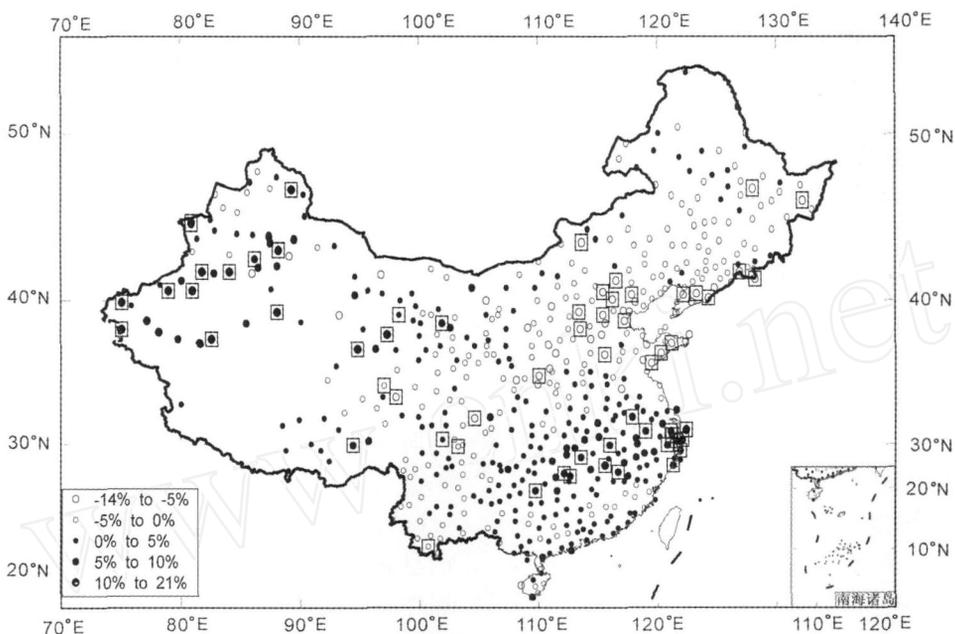


图 2 1951~2004 年中国夏季降水距平百分率的线性变化趋势系数(单位:%/10 年) 方框为通过 95% 的显著性检验

Fig. 2 Linear trend coefficients of the summer rainfall anomalous percentage in China from 1951~2004, unit: %/10a, with the square denoting exceeding the 95% confidence level

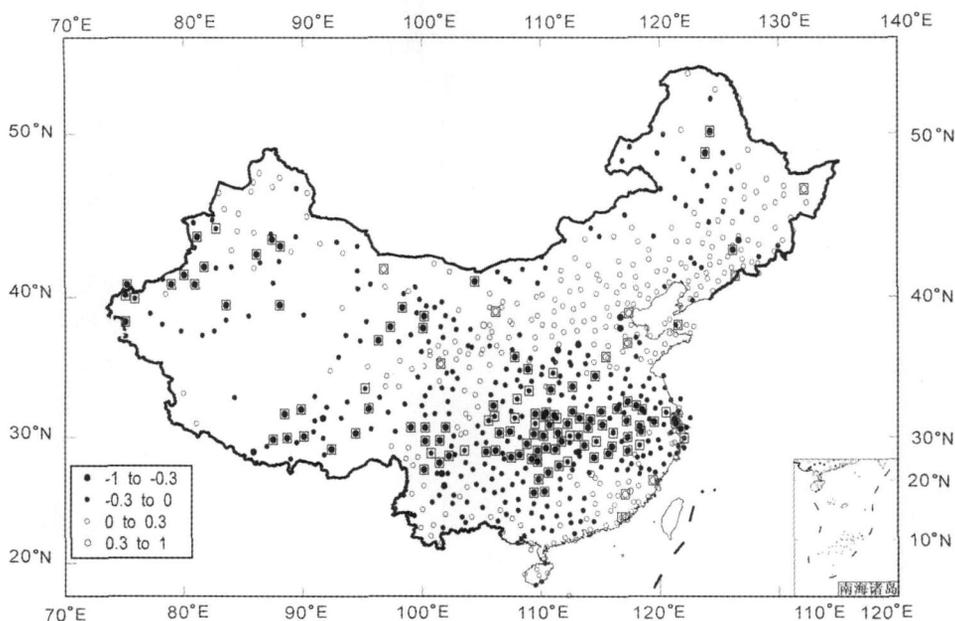


图 3 1951~2004 年夏季亚洲极涡面积指数与中国夏季降水的相关分布 方框表示通过 95% 的显著性检验

Fig. 3 Correlation coefficients between the area index of the summer Asian polar vortex and summer rainfalls in China from 1951 to 2004, with the square denoting exceeding the 95% confidence level

4 夏季亚洲极涡对东亚环流的影响

上面的分析显示夏季亚洲极涡的强度减弱和面积缩小可能导致了我国夏季降水在近几年来发生的变化.那么,极涡是如何影响中国降水的呢?

由于极涡的南边界是根据西风急流轴的位置确定的,因而极涡的强度和面积都与高空西风急流有密切关系.考虑到西风急流在 200 hPa 附近最强,因此取这一等压面进行分析.将 $70^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 范围内 200 hPa 西风急流轴的平均纬度作为影响中国的西风急流主体的纬向位置.可以看到,从 1951 年到 2004 年主要影响我国的西风急流表现出了显著的逐年南移趋势,其线性变化趋势系数为 -0.24 纬度/10a,通过了 95% 的显著性检验(图 4).通过分析发现,夏季亚洲极涡的面积和强度均与高空西风急流的纬度位置呈显著的正相关,相关系数分别为 0.28 和 0.25,通过了 95% 和 90% 的显著性检验.这就表明,夏季亚洲极涡的面积缩小,强度减弱和高空西风急流位置的南移关系密切;并反映出夏季亚洲极涡的变化影响了中高纬环流经向性的增强,而这种变化是有利于中高纬冷空气南侵的.

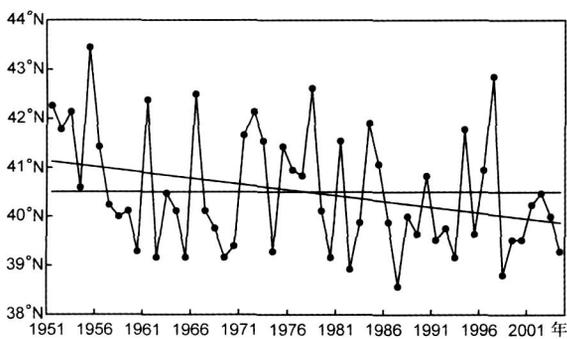


图 4 1951~2004 年夏季高空西风急流轴(200 hPa)平均纬度位置($70^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均)的时间序列
实线为线性变化趋势线

Fig. 4 Time series of the mean zonal location (averaged from 70°E to 120°E on the 200hPa level) of the upper level westerly jet in summer
The solid line denoting the linear trend.

近 54 年,在高空环流发生变化的同时,东亚低空环流也发生了明显的改变.如图 5a 所示,中国东部的经向风速 0 线出现了显著的南移(图 5a).其在 20 世纪 50 年代初处于 58°N 以北的位置,随时间逐渐南退,到 21 世纪初已达到 44°N 附近.这种变化证实了夏季我国冷空气活动南侵程度的显著增强.并

且,从图 5b 还可以清楚的看到,近 54 年温度负距平带出现了自北向南的移动.20 世纪 60 年代中期以前,其主要位于 55°N 以北,到 80 年代初移至 $40^{\circ}\text{N} \sim 60^{\circ}\text{N}$ 附近,而到 21 世纪初温度负距平中心甚至出现在 40°N 以南地区.可以发现,中高纬冷空气的强度并没有发生大的变化.冷空气南侵程度的加强非常有利于中国雨带偏南,从而使江淮流域夏季降水呈现增多而东北和华北降水呈减少趋势.另外,在中国中部和西部的中低层也表现出了冷空气南侵加强的变化趋势,但不如中国东部明显(图略).极涡作为中高纬重要的大气环流中心,是冷空气的源,其强度减弱和面积缩小对于冷空气在近 54 年南侵程度的增加具有直接影响.

伴随冷空气南侵的增强,中国区域内 850hPa 经向风速(v)和纬向风速(u)在近 54 年发生了显著的减小(图 5c),线性变化趋势系数分别为 -0.16 m/s/10a 和 -0.13 m/s/10a ,均通过了 95% 的显著性检验.夏季亚洲极涡面积指数与纬向风速和经向风速的相关系数分布为 0.29 和 0.5,都通过了 95% 的显著性检验,反映了极涡面积缩小与东亚低层环流的密切关系.并且,对 110°E 以东的中国区域 850 hPa 的经向风速进行分析,可以发现其负趋势更明显,线性变化趋势系数为 -0.2 m/s/10a .而正相反,在我国西部地区,经向风速在近 54 年出现了显著的北风减弱而南风增强的变化.一般来说,850 hPa 层上 $\omega = 335 \text{ K}$ 的等值线可用于刻画夏季风气团的前缘.分析显示 335 K 等值线在近 54 年也表现出了明显的南退趋势(图略),表明了季风气团北推范围的缩小,而也是与夏季冷空气活动的南压分不开的.

上面的分析表明,近 54 年夏季亚洲极涡发生了强度减弱,面积缩小的变化,这种变化影响了东亚地区的高空西风急流和冷空气活动在近 54 年的一致南移,从而有利于中国东部雨带偏南,使得江淮流域降水增加而东北和华北降水显著减少.

5 夏季亚洲极涡对东亚水汽收支变化的影响

如图 6 所示,我国从 1951 到 2004 年经向和纬向水汽输送发生了明显变化,纬向水汽输送呈现全国性的西风输送减弱趋势,线性趋势系数在 $-1 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})/\text{a}$ 左右,其中华北一带的负趋势非常明显.经向水汽输送表现出东西相反变化的特征,

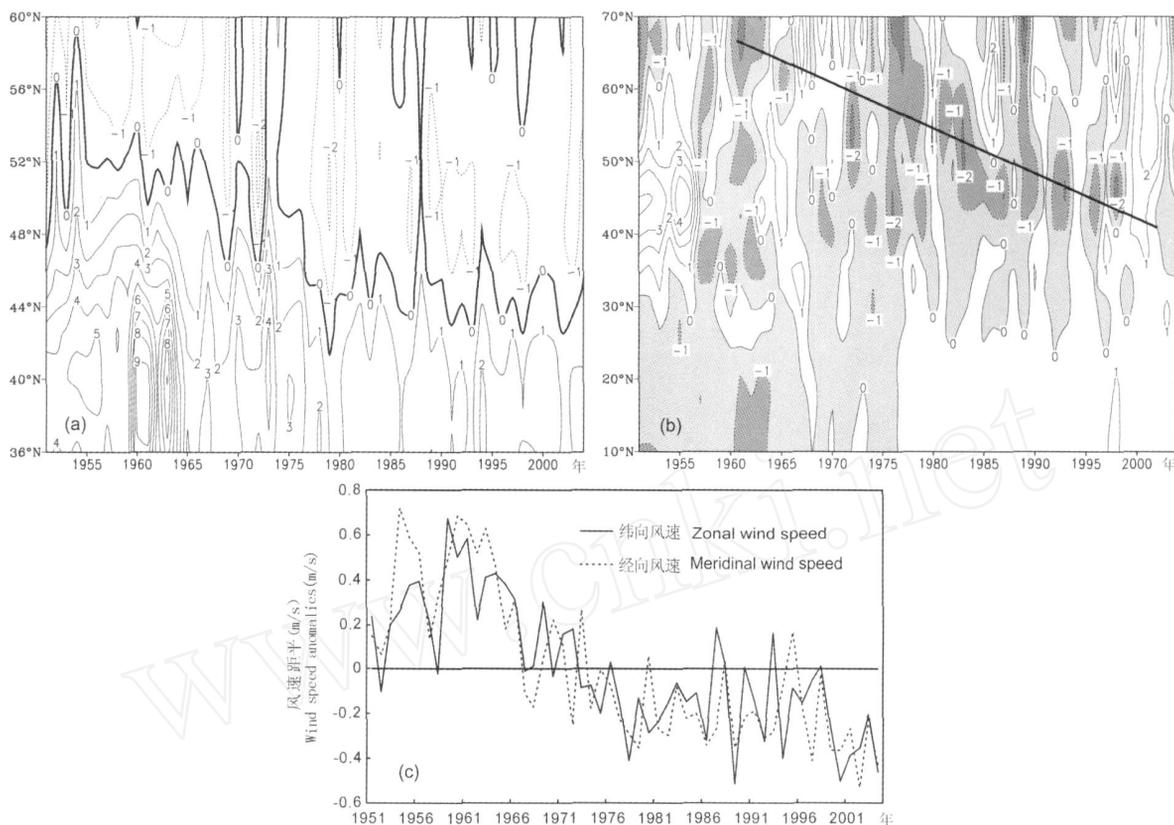


图5 (a) 1951~2004年中国东部(110°E~120°E平均)夏季经向风速的纬度-时间剖面(v ,单位:m/s); (b) 850 hPa 温度距平的时间-纬度剖面(单位:°C,阴影区为负值,粗实线示意冷中心位置); (c) 中国区域的纬向和经向风速距平序列(单位:m/s)

Fig. 5 The time-latitude section of the meridional wind speed (a, v , unit: m/s) and the temperature anomalies on the 850 hPa level (b, unit: °C, the negative value is shaded and the thick solid line denotes the location of the cold center) in summer East China (averaged from 110°E to 120°E), and the time series of the meridional and zonal wind speed over summer China (c, unit: m/s) from 1951 to 2004

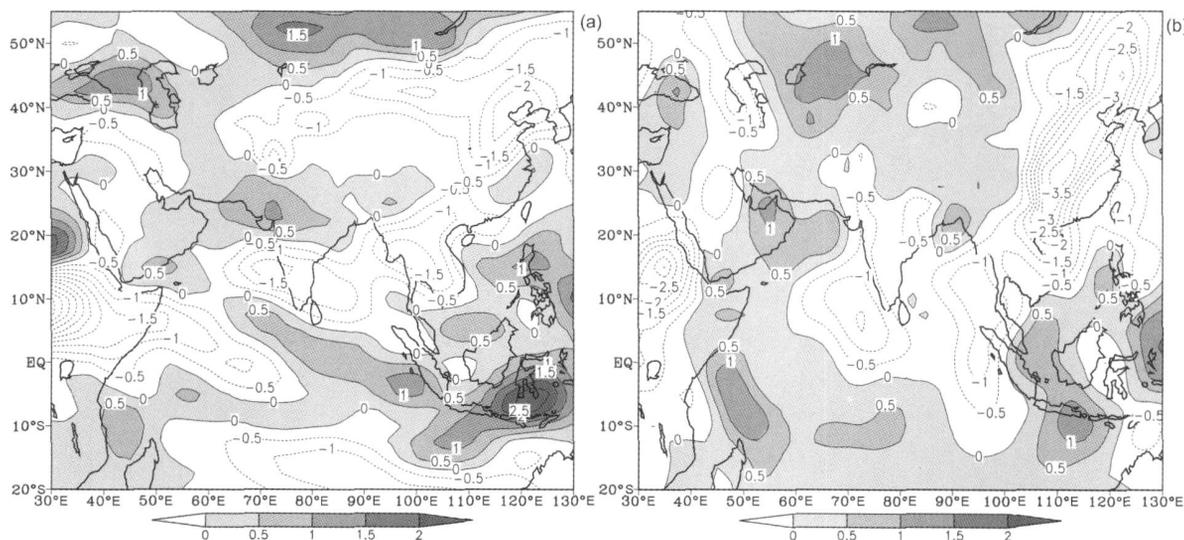


图6 1951~2004年纬向(a)和经向(b)水汽输送通量的线性变化趋势系数(单位:($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}))/\text{a}$) 正值(阴影区)分别表示向东(a)和向北(b)水汽输送增加。

Fig. 6 Linear trend coefficients of the zonal (a) and meridional (b) water vapor transport flux from 1951 to 2004 (unit: ($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}))/\text{a}$), with the positive trend being shaded and denoting the increase trend of the eastward (a) and northward (b) water vapor transport.

大致以 100°E 为界,以西地区南风水汽输送增强,以东地区南风水汽输送大幅减弱.中国西部南风水汽输送的增加趋势较弱,而东部地区南风水汽输送的减少趋势非常明显,大部分地区的线性变化趋势系数都小于 $-2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})/\text{a}$. 这表明流经中国的经向和纬向水汽输送都表现出了不同程度的减弱.

而实际上,水汽输送的变化主要通过其辐合辐散来影响降水量的多寡.这一点可以从表 1 中各区域水汽输送辐合通量与降水量的相关关系得到证实.综合考虑了中国各区域的气候特征差异及其夏季降水的线性变化趋势,将全国共分为 8 区:华南(110°E~120°E,21°N~28°N),长江中下游(110°E~120°E,28°N~35°N),华北(110°E~120°E,35°N~48°N),东北(120°E~130°E,41°N~53°N),西北东部(100°E~110°E,35°N~42°N),西南(100°E~110°E,23°N~35°N),西北西部(75°E~100°E,37°N~48°N),青藏高原东部(90°E~100°E,28°N~37°N).可以看到(表 1),东北、华北、西北东部和西南的水汽通量散度在近 54 年呈减少趋势,而华南、长江中下游、西北西部和青藏高原东部的区域水汽辐合通量散度呈增加趋势.除青藏高原外,其余地区夏季的水汽输送通量散度的变化趋势都通过了 95% 的显

著性检验.很明显,大部分区域内水汽输送通量与夏季降水量的变化趋势相一致.并且,二者具有显著的正相关关系,尤其是在长江中下游和华南地区,相关系数达到了 0.7 左右.除西北西部地区外,这种正相关关系都通过了 95% 的显著性检验.这就表明,中国夏季降水变化的直接原因是夏季水汽通量散度的变化.并且,从图 7 还可以进一步看到,华南和长江中下游都是北边界的向北水汽输送减弱最明显,华北和西南地区是南边界的向北水汽输送减弱最明显,青藏高原是南边界的向北输送增强最明显,西北东部和东北地区是西边界的西风水汽输送减弱最明显,而西北西部是东边界的西风水汽输送减弱最明显.这表明,青藏高原南风水汽输送的增加对区域内水汽输送辐合的增加起主要作用,从而影响了降水的增加;而其余降水在近 54 年增加的区域,水汽输出的减少是区域内水汽辐合量增加的主要原因;对于降水减少的区域,水汽输入的减少是导致区域内水汽辐合减少的主要原因.

从表 1 可以看到,夏季亚洲极涡面积与各区域水汽输送通量散度有很好的相关关系,尤其是华北和长江中下游地区,相关系数分别为 0.32 和 -0.52,通过了 95% 的显著性检验.而且还可以注意到,夏季

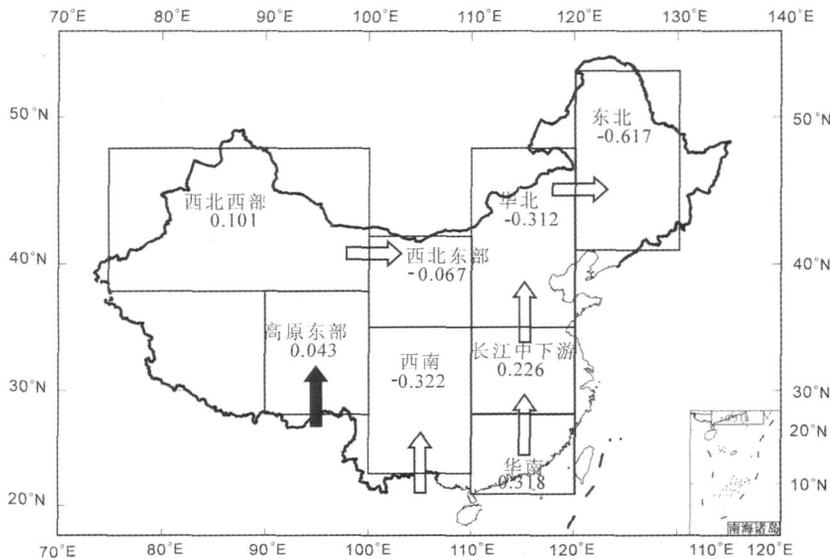


图 7 影响各区域水汽收支变化的主要边界示意
空心箭头表示输送减少,实心箭头表示输送增加,数字为区域积分层
(地面~300 hPa)水汽输送通量散度的线性变化趋势系数
(单位: $10^6 \text{ kg}/\text{s}/\text{a}$,正值表示辐合增强,负值表示辐散增强)

Fig. 7 The schematic map of the boundary mainly impacting the change of the water vapor convergence and divergence in each sub-region in China, with the hollow and solid arrow denoting the decrease and increase of the water vapor transport, respectively, and the number being the linear trend coefficient of the vertically integrated (from surface to 300 hPa) water vapor divergence in each sub-region (unit: $10^6 \text{ kg}/\text{s}/\text{a}$)

表 1 1951~2004 年中国各区域夏季水汽通量散度和夏季降水量的线性变化趋势系数及夏季水汽通量散度与夏季降水量和夏季亚洲极涡面积指数的相关系数

Table 1 Linear trend coefficients of the water vapor divergence and rainfalls in summer sub-regions of China from 1951 to 2004, and the correlation coefficients between the water vapor divergence and the rainfalls in each sub-region as well as the summer Asian polar vortex

区域	线性变化趋势系数		夏季水汽通量散度和夏季降水量的相关系数	夏季水汽通量散度和夏季亚洲极涡面积指数的相关系数
	夏季水汽通量散度(单位: 10^6 kg/s/10a)	夏季降水量(单位: mm/10a)		
东北	-6.2 *	-3.6	0.52 *	0.17
华北	-3.2 *	-8.8	0.38 *	0.32 *
西北东部	-0.7 *	-0.4	0.33 *	0.07
长江中下游	2.3 *	13.9	0.75 *	-0.52 *
华南	3.2 *	10	0.69 *	-0.08
西南	-3.2 *	0.2	0.32 *	-0.01
青藏高原东部	0.4	1	0.35 *	-0.16
西北西部	1 *	1.4	0.26	-0.19

*表示通过了 95% 的信度检验

亚洲极涡面积与东北、华北和西北东部区域的水汽输送通量散度呈正相关关系,而这些区域在近 54 年水汽输送通量散度和夏季降水量都出现了明显的减少趋势。正好相反,亚洲极涡面积与长江中下游、华南、西南、青藏高原和西北西部地区的水汽输送通量呈负相关关系,这些区域在近 54 年水汽输送通量散度和夏季降水量基本都为增加趋势。相似的结果也能在亚洲极涡强度与水汽输送通量散度的相关分析中得到。这就表明,当夏季亚洲极涡面积缩小而强度减弱时,水汽输送通量散度和夏季降水在东北、华北和西北东部减少而在长江中下游、华南、西南、青藏高原和西北西部地区增加,这恰好是和观测事实相符合的。由此可见,夏季亚洲极涡可能通过影响东亚夏季的水汽输送量而改变中国各区域内水汽输送通量的辐合辐散,最终影响各区域内夏季降水的变化。

为了更直观的显示近 54 年夏季亚洲极涡的变化及其与东亚夏季环流和水汽输送的关系,以 1976 年(M-K 检验中夏季亚洲极涡面积指数显著减少的起始年份)为时间界限进行了对比分析。如图 8 所示,在 1951 到 1976 年间,500 hPa 北极极区为正高度距平而亚洲中高纬地区为负高度距平,表明极区气压偏高而亚洲中高纬地区气压偏低,极涡偏强且

面积偏大。这与北极涛动低指数模态相一致。亚洲中高纬地区强的异常低压中心有利于西风加强,使环流呈现纬向型分布,影响高空西风急流位置偏北且不利于冷空气南下。东亚地区强的偏南风水汽输送也是非常显著的,水汽可一直到达中高纬地区。而在 1977~2004 年间,情况刚好相反。极区气压偏低而亚洲中高纬地区气压偏高,极涡偏弱且面积偏小。亚洲中高纬地区强的异常高压中心有利于西风减弱,使环流呈现出经向型分布,影响高空西风急流位置偏南且有利于冷空气南下。从图 8b 确实可以看到,高层(200 hPa)西风正距平中心位于 35°N 附近,较前一时段显著偏南。并且,整层积分的水汽输送也呈现出经向水汽输送偏弱的状态。虽然东亚夏季水汽输送减弱是与近几十年来东亚夏季风的显著减弱所分不开的,但中高纬环流的调整和冷空气南侵程度的明显加强也从中起到了重要作用,它们使得东亚中高纬地区北风异常加强,同时南侵程度加大。简而言之,夏季亚洲极涡偏大偏强,则亚洲中高纬以纬向环流为主,高层西风急流位置偏北,低层北风偏弱而水汽经向输送偏强,影响中国夏季降水北方偏多而南方偏少;夏季亚洲极涡偏小偏弱则情况相反。夏季亚洲极涡在近 54 年的变化对东亚夏季环流和水汽输送以及中国降水的变化具有重要影响。

6 结 论

本文对 1951~2004 年夏季亚洲极涡面积和强度的变化趋势及其与东亚环流和水汽输送的关系进行了讨论,结果表明:

(1) 1951~2004 年,夏季亚洲极涡表现出了强度减弱,面积缩小的变化趋势,以面积缩小更为显著。这种变化与近 54 年夏季北极涛动(AO)指数的显著增高是一致的。

(2) 在夏季亚洲极涡面积减小和强度减弱的影响下,东亚中高纬地区经向环流加强,高空西风急流在近 54 年显著南移,同时低空南风减弱而北风增强,纬向风速减弱,冷空气活动的南侵程度明显增强。并且,近 54 年流经中国的西风水汽输送表现出一致减弱的趋势,而南风水汽输送大致以 110°E 为界,以东地区呈显著的减弱趋势而以西为明显的增加趋势。水汽输送的变化使得中国各区域的水汽通量散度产生改变,而区域内水汽通量散度与降水量呈明显的正相关关系。

(3) 夏季亚洲极涡的面积和强度指数大致与中

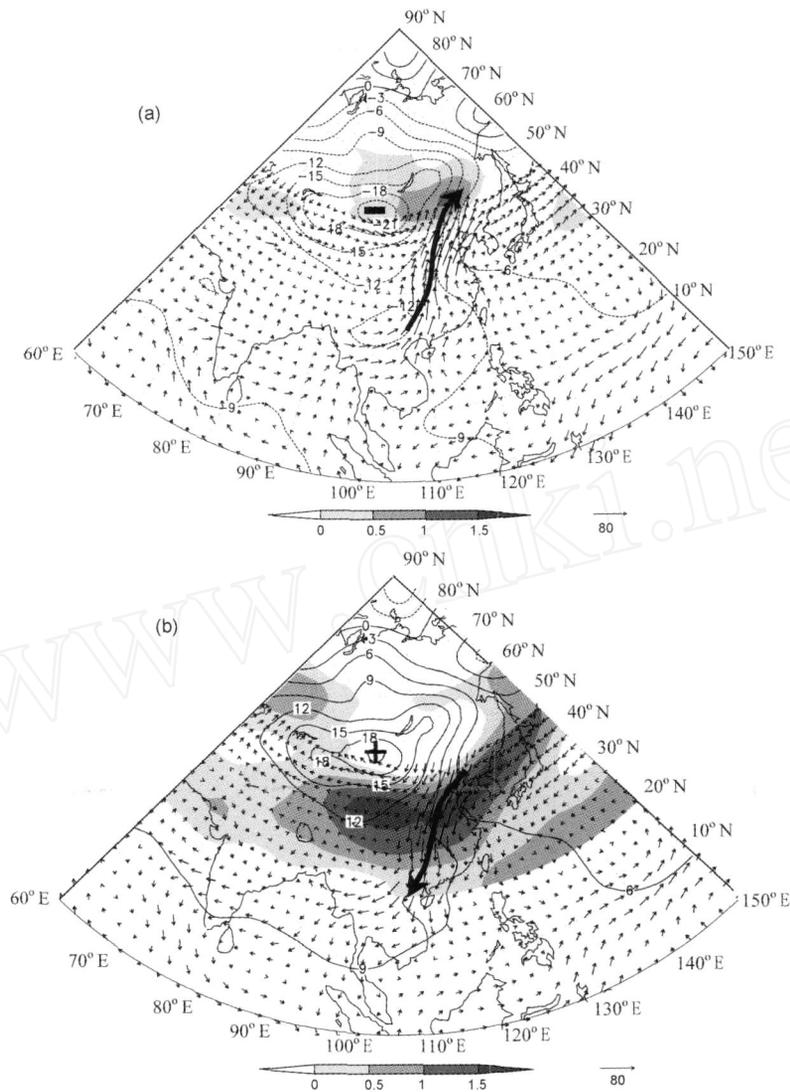


图8 1951~1976年(a)和1977~2004年(b)500 hPa高度场距平

(等值线,实线表示正值,虚线表示负值,“-”表示负值中心,“+”表示正值中心,单位:gpm),200 hPa正西风距平(阴影区,单位:m/s)以及垂直积分水汽输送通量距平(矢量箭头,粗实箭头示意水汽输送方向,单位:kg/(m·s)).

Fig. 8 Height anomalies on 500 hPa level (unit : gpm)

The solid line, dashed line, “-” and “+” denoting the positive anomaly, negative anomaly, the negative center and the positive center, respectively, the positive westerly anomalies on 200 hPa level (shaded areas, unit : m/s) and the vertically integrated water vapor transport flux anomalies (the vector, unit : kg/(m·s)), with the thick arrow denoting the direction of the water vapor transport from 1951 to 1976 (a) and from 1977 to 2004 (b).

国东北、华北和西北东部水汽输送通量散度和夏季降水量呈正相关,而与长江中下游、华南、西南、青藏高原和西北西部水汽输送通量散度和夏季降水量呈显著负相关.夏季亚洲极涡的长期变化通过影响东亚环流及其水汽输送和收支,进而影响中国夏季降水发生变化,是中国夏季降水长期变化的一个可能原因.

需要指出的是,有研究表明^[21,22] NCEP/NCAR 资料不适合用于亚洲大陆大气环流的年代际变化研

究.因此,我们还采用了 ERA-40 逐月资料对结果进行验证,发现:采用两种资料所做出的结果是相一致的.但用 ERA-40 逐月资料计算出的线性变化趋势较 NCEP/NCAR 资料的结果偏小;并且两种资料所表现出的年代际突变点存在差异,相应年代际变化幅度也有所不同.

参考文献 (References)

[1] Thompson D W, Wallace J M. The Arctic oscillation

- signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25**(9): 1297 ~ 1300
- [2] Thompson D W, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation Part I: month to month variability. *J. Climate*, 2000, **13**(5): 1018 ~ 1036
- [3] 孙兰涛, 吴辉碇, 李 响. 对北极极涡的认识. 极地研究, 2006, **18**(1): 52 ~ 62
Sun L T, Wu H D, Li X. Our understanding of Arctic vortex. *Chinese Journal of Polar Research* (in Chinese), 2006, **18**(1): 52 ~ 62
- [4] Angell J K, Korshover J. Variation in size and location of the 300 mb north circumpolar vortex between 1963 and 1975. *Mon. Wea. Rev.*, 1977, **105**: 19 ~ 25
- [5] 章少卿, 于通江, 李方友. 北半球极涡面积、强度的季节变化及其与中国东北地区气温的关系. 大气科学, 1985, **9**(2): 178 ~ 185
Zhang S Q, Yu T J, Li F Y. The seasonal variations of area and intensity of polar vortex in Northern Hemisphere and relationship with temperature in Northeast China. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1985, **9**(2): 178 ~ 185
- [6] Frauenfeld O W, Davis R E. Northern Hemisphere circumpolar vortex trends and climate change implications. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108**(D14): 4423 ~ 4436
- [7] Angell J K. Relations of size and displacement of the 300 mbar north circumpolar vortex to QBO, El nino, and sunspot number, 1963 ~ 2000. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**(D23): 31787 ~ 31794
- [8] 顾思南, 杨修群. 北半球绕极涡的变化及其与我国气候异常的关系. 气象科学, 2006, **26**(2): 135 ~ 142
Gu S N, Yang X Q. Variability of the northern circumpolar vortex and its association with climate anomaly in China. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2006, **26**(2): 135 ~ 142
- [9] 张恒德, 高守亭, 张友妹. 北极涡年代际变化及其与我国春季降水的关系. 气候与环境研究, 2006, **11**(5): 593 ~ 604
Zhang H D, Gao S T, Zhang Y S. The interdecadal variation of north polar vortex and its relationship with spring precipitation in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11**(5): 593 ~ 604
- [10] 姚秀萍, 董 敏. 东北三江流域夏季旱涝基本特征分析. 应用气象学报, 2000, **11**(3): 297 ~ 303
Yao X P, Dong M. Research on the features of summer rainfall in Northeast China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, **11**(3): 297 ~ 303
- [11] 黄嘉佑, 刘 舸, 赵昕奕. 副高、极涡因子对我国夏季降水的影响. 大气科学, 2004, **28**(4): 517 ~ 526
Huang J Y, Liu G, Zhao X Y. The influence of subtropical high indexes and polar vortex indexes on the summertime precipitation in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28**(4): 517 ~ 526
- [12] Houghton J T, Ding Y H, Griggs D J, et al. Climate change 2001: the scientific basis. The United States of America: Cambridge University Press, 2001
- [13] 王遵娅, 丁一汇, 何金海等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报, 2004, **62**(2): 228 ~ 236
Wang Z Y, Ding Y H, He J H, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62**(2): 228 ~ 236
- [14] Ding Y H, Wang Z Y, Sun Y. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: Observed evidences. *Int. J. Climatol.*, 2007
- [15] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号/影响和前景初步探讨. 冰川冻土, 2002, **24**(3): 219 ~ 226
Shi Y F, Shen Y P, Hu R J, et al. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China. *Journal of Glaciology and Cryopedology* (in Chinese), 2002, **24**(3): 219 ~ 226
- [16] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCAR/NCEP 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, (77): 437 ~ 471
- [17] 王鹏祥, 何金海, 郑有飞等. 夏季北极涛动与西北夏季干湿特征的年代际关系. 中国沙漠, 2007, **27**(5): 883 ~ 889
Wang P X, He J H, Zheng Y F, et al. Interdecadal relationship between summer Arctic oscillation and aridity-wetness feature in Northwest China. *Journal of Desert Research* (in Chinese), 2007, **27**(5): 883 ~ 889
- [18] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬等. 近四十年我国气候变化的初步分析. 应用气象学报, 1991, **2**(2): 164 ~ 174
Chen L X, Shao Y N, Zhang Q F, et al. Preliminary analysis of climate change during the last 39 years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1991, **2**(2): 164 ~ 174
- [19] 翟盘茂, 邹旭恺. 1951 ~ 2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响. 气候变化研究进展, 2005, **1**(1): 16 ~ 18
Zhai P M, Zou X K. Changes in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951 ~ 2003. *Advances in Climate Change Research* (in Chinese), 2005, **1**(1): 16 ~ 18
- [20] 闵 岫, 钱永甫. 我国近 40 年各类降水事件的变化趋势. 中山大学学报(自然科学版), 2008, **47**(3): 106 ~ 111
Min S, Qian Y F. Trends in all kinds of precipitation events in China over the past 40 years. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (in Chinese), 2008, **47**(3): 106 ~ 111
- [21] Inoue T, Matsumoto J. A comparison of summer sea level pressure over east Eurasia between NCEP - NCAR reanalysis and ERA-40 for the period of 1960 ~ 1999. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 2004, **82**: 951 ~ 958
- [22] Wu R G, Kinter J L. Discrepancy of interdecadal changes in the Asian region among the NCEP-NCAR reanalysis, objective analyses, and observations. *J. Climate*, 2005, **18**: 3048 ~ 3067

(本文编辑 汪海英)