

我国华北地区春季降水的年代际变化特征 及其可能成因的探讨

周连童 黄荣辉

中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100080

摘要 利用我国160个台站1951~2000年逐月和华北地区80个台站逐日降水观测资料, 分析了我国, 特别是华北地区春季降水的年代际变化特征。分析结果表明: 华北地区春季降水具有明显的年代际变化, 1951~1965年华北地区春季降水略偏少, 1966~1976年华北地区春季降水更加偏少, 春旱较严重, 1977~2000年为华北春季降水明显偏多, 这时期5~6月降水比1966~1976年有明显增多; 并且, 分析结果也表明了华北地区和黄河流域春季降水存在着与夏季降水相反的年代际变化特征。另外, 作者还利用欧洲中心ERA40资料集的1958~2000年月平均700 hPa风场再分析资料, 分析了东亚上空春季700 hPa风场的年代际异常情况, 从而来探讨华北地区春季降水年代际变化的成因。其分析结果表明: 1965年以前, 蒙古高原上空存在着明显的反气旋距平环流, 我国华北地区有偏北风距平, 这使得我国华北地区在1965年以前春季降水偏少; 1966~1976年, 我国华北地区仍为偏北风距平, 且我国东部沿海到南海上空的偏北风距平增强, 这使得华北地区春季降水进一步减少; 1977~2000年, 东亚上空700 hPa环流场发生了一个明显的变化, 华北地区出现偏南风距平, 且我国东部沿海到南海上空的偏南风距平增强, 这使得我国南方暖湿气流易输送到华北地区, 从而造成我国华北地区春季降水增加。

关键词 降水 年代际变化 跃变 环流异常

文章编号 1006-9585 (2006) 04-0441-10 **中图分类号** P463 **文献标识码** A

Characteristics of Interdecadal Variability of Spring Precipitation in North China and Its Possible Cause

ZHOU Lian-Tong and HUANG Rong-Hui

*Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*

Abstract The characteristics of the interdecadal variability of spring (MAM) precipitation in China, especially in North China, are analyzed by using the observed data at 160 observational stations of China and 80 observational stations in North China during 1951—2000. The analyzed results show that the spring rainfall's variability in North China have an obvious interdecadal variability and the variation can be divided into three stages interdecadal time-scale from 1951 to 2000. The period of 1951—1965 was a period of below normal of spring rainfall in North China. And during the period of 1966—1976, spring rainfall was still below normal, and it obviously decreased and droughts were severe in spring. However, the period of 1977—2000 was a period of above normal of spring rainfall in North China, especially, the rainfall was more obvious in May and June of this period than that in the period of 1966—1976. Moreover, there was an opposite interdecadal variability between spring and summer precipitation. In

收稿日期 2004-12-15 收到, 2005-11-02 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40231005 与中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-218

作者简介 周连童, 男, 1974年出生, 在职博士生, 主要从事气候年代际变化及机理研究。E-mail: zlt@mail.iap.ac.cn

order to explain the cause of the interdecadal variability of spring rainfall in North China, the interdecadal variability of the East Asian circulation anomaly in spring is analyzed by using the monthly mean wind field at 700 hPa of the ERA 40 reanalysis data of ECMWF during 1958—2000. The analyzed results show that there was an obvious anti-cyclonic anomaly circulation over the Mongolian Plateau and the northerly wind anomaly distribution over North China before 1965, which caused below normal of rainfall in spring in this region. Moreover, the anomalies of northerly wind were still strong and the northerly wind anomalies were intensified over the eastern part of China and the South China Sea in the period of 1966—1976, which caused the further decrease of the spring rainfall in this region. However, up to the period of 1977—2000, an obvious change occurred in the 700 hPa circulation anomaly over East Asia, the southerly wind anomalies appeared over North China and the southerly wind anomalies were intensified over the eastern coast of China. This could cause that the warm and wet air-flow were easily transported from South China into North China, which can cause the increase of spring rainfall in North China.

Key words rainfall, interdecadal variability, abrupt variability, circulation anomaly

1 引言

最近几年,关于气候的年代际变化(inter-decadal variability of climate)在国际上掀起研究热潮,这是因为气候年代际变化严重地影响气候的年际变化。我国气候的年代际变化也引起了许多学者的重视,黄荣辉等^[1]利用最近 40 年中国降水资料分析了中国夏季降水的年代际变化,他们的研究结果表明了中国降水有明显的年代际变化。特别是华北地区从 20 世纪 70 年代后期开始发生了持续性干旱,引起严重的气候灾害,这不仅严重影响此地区的工农业生产,而且导致此地区水资源缺乏;然而长江流域却降水增多且经常发生洪涝,造成了极大的经济损失。周连童和黄荣辉^[2]利用 1951~2000 年中国观测站 50 年的降水和气温观测资料,详细地分析了我国华北地区夏季气候的年代际变化特征,研究结果表明,我国 1951~2000 年夏季降水在年代际时间尺度上的变化明显存在着 3 个时段:1951~1965 年为华北地区夏季降水偏多期;1966~1976 年为华北地区夏季降水的偏多变为偏少的过渡期;在 1976 年前后华北地区夏季降水发生了一次明显的跃变,华北地区和黄河中、下游流域夏季降水明显减少,出现持续干旱。与此同时,关于我国气候年代际变化的成因也开始受到关注, Huang 等^[3]从热带太平洋海温和东亚夏季风的年代际变化说明了华北地区夏季降水的年代际变化的成因;黄刚和周连童^[4]从中纬度地区青藏高原西側夏季绕流的年代际变化来说明华北地区从 1976 年之后夏季降水的

减少的成因;并且,周连童和黄荣辉^[5]进一步从中国西北干旱、半干旱区春季感热的年代际变化来说明华北地区夏季降水的年代际变化的成因。

由于东亚冬、夏季风的活动是年循环现象^[6],东亚冬季风对于夏季风的变化有很大的影响。对于东亚冬季风的变化及其与夏季风关系的研究, Chen 等^[7]、Huang 等^[8]和陈文^[9]已做了很多研究,他们指出,东亚冬季风存在着明显的年际变化,且它的强弱影响着第二年夏季的降水。

如前所述,对于气候年代际变化的研究,特别是对于中国气候年代际变化的研究,主要集中在冬、夏季气候的变化,而对春季气候变化的研究还很少。然而,春季气候的变化对于我国农业生产是非常关键的,春季正值农作物播种以及冬小麦返青和生长的季节,因此,春季降水严重影响着农作物的播种以及冬小麦的生长;并且,我国北方春季降水影响着此地区的生态环境,特别是严重影响着沙尘暴的形成与发生^[10];此外,由于华北地区不仅是我国气候的年代际变化较显著的地区之一,还是我国人口密集,土地、矿产资源丰富、经济发达的地区,也是我国工农业主要产地之一,因此,有必要利用更详细和更长的降水资料来分析中国春季气候的年代际变化特征,特别要深入讨论华北地区春季降水年代际变化特征,并且,前面所述的研究主要从冬、夏季东亚季风的年代际变化来说明冬、夏季我国气候的变化,而对于东亚冬季风的年代际变化对我国春季气候,特别是降水的影响,目前研究还不多,因此,也有必要从东亚冬季风的年代际变化来分析华北地区春季降水的年代际变化的成因。为此,

本文利用我国常用的 160 个台站的 1951~2000 年春季降水的观测资料,以及从全国 730 多个台站中挑选出的华北地区 80 个台站的降水逐日资料,详细地分析我国,特别是华北地区春季降水的年代际变化特征,并比较了华北地区春、夏季气候的年代际变化特征的异同。本文还利用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的 ERA40 再分析资料来分析春季东亚上空环流的年代际变化,以探讨华北地区春季降水年代际变化的成因。

2 中国春季降水的年代际变化特征

为了分析华北地区春季降水的年代际变化特征,首先有必要分析和研究中国气候的年代际变化,以便能够深入认识华北地区春季降水变化的气候背景。为此,本文分别分析了 20 世纪 50~90 年代春季(3~5 月)中国降水距平百分率的分布,图 1a~e 分别是中国 20 世纪 50、60、70、80 和 90 年代春季(3~5 月)降水距平百分率的分布。从图 1a 可以看到,50 年代我国新疆北部、东北北部、内蒙古以及长江以南降水偏多,而华北地区、黄淮流域以及西北降水偏少;如图 1b 所示,到了 60 年代,除东北北部和华南降水偏少以外,华北、西北地区和江淮流域降水偏多;到了 70 年代,如图 1c 所示,华北地区、西北地区和黄河流域降水又开始减少,江淮流域仍然偏多,并且华南降水从偏少转变为偏多;由图 1d 可见,80 年代华北地区、西北地区和黄河流域降水又变为偏多,华南地区降水继续偏多,而长江流域降水变为减少;如图 1e 所示,到了 90 年代,华北地区和西北地区降水仍然偏多,尤其是华北北部和南部和西北的新疆春季降水比气候平均值偏多了 20%~30%,并且长江流域下游也开始增多,但是,降水偏少地区从长江中游地区分别扩展到关中地区和华南地区。

从上述降水距平的年代际变化可以看到,我国春季降水的年代际变化是明显的。华北地区春季降水从 20 世纪 50 年代到 90 年代经历了偏少、偏多、偏少、偏多的变化过程,特别在 80 和 90 年代有明显的偏多;并且,长江和淮河流域春季降水从 80 年代开始从偏多变成偏少。这是与在引言所述的我国夏季降水的年代际变化特征截然相反的变化趋

势。分析结果还表明:西北地区与华北地区春季降水的年代际变化有相似的特征,从 20 世纪 80 年代起西北地区春季降水也明显偏多,特别在新疆偏多了 30%~40%。正是由于西北和华北地区春季降水在 80~90 年代偏多,而降水偏多则有利于土壤墒情的保持,不利于沙尘暴的形成,因此,我国在 20 世纪 90 年代沙尘暴明显减少^[10,11]。

3 华北地区春季降水的年代际变化及其跃变

黄荣辉等^[1]以及周连童和黄荣辉^[2]指出了我国夏季气候,特别是华北地区在 1965 和 1976 年前后都存在着明显的跃变,其中 1976 年更加明显,并指出我国东部由于地处东亚强季风区,气候跃变从降水方面反映尤其明显。春季降水是否也存在着这种跃变?这是值得进一步深入研究的问题。为了分析我国春季气候跃变情况,本节将深入分析我国华北地区春季(3~5 月)区域平均的降水距平的年际变化情况(见图 2)。从图 2 中可以看到:华北地区在 1965 年以前春季降水比气候值偏少;1966~1976 年期间比 1965 年以前更加偏少,春旱严重;然而从 1976 年后,华北地区春季降水有明显的增多。为了清楚地看到我国春季降水在 1965 和 1976 年的跃变以及为了在后面与夏季降水年代际变化进行比较,我们分别对华北地区春季降水距平在 1951~1965 年、1966~1976 年和 1977~2000 年作了平均。这 3 个时间段的春季降水距平平均值分别 -3.79、-11.24 和 6.25 mm(如图 2 中从左至右的水平直线所示)。从图 2 可以看到,我国华北地区春季降水 1977 年之后明显比 1966~1976 年偏多,它们的距平平均值从 -11.24 mm 跃变为 6.25 mm。从 1976 年之后,华北地区春季降水从比气候平均值偏少转变成偏多。为了更好的显示我国春季降水在 1976 年前后的气候跃变,我们分析了 1977~2000 年与 1966~1976 年春季降水距平百分率之差(见图 3)。从图 3 可以看到:从 1977 年起到 2000 年,华北地区春季降水明显比 1977 年之前偏多,特别是华北南部的降水比气候值偏多了 30%~40%;并且,从 1977 年之后,东南沿海地区、西北和西南地区春季降水也有明显增多。然而,长江流域春季降水

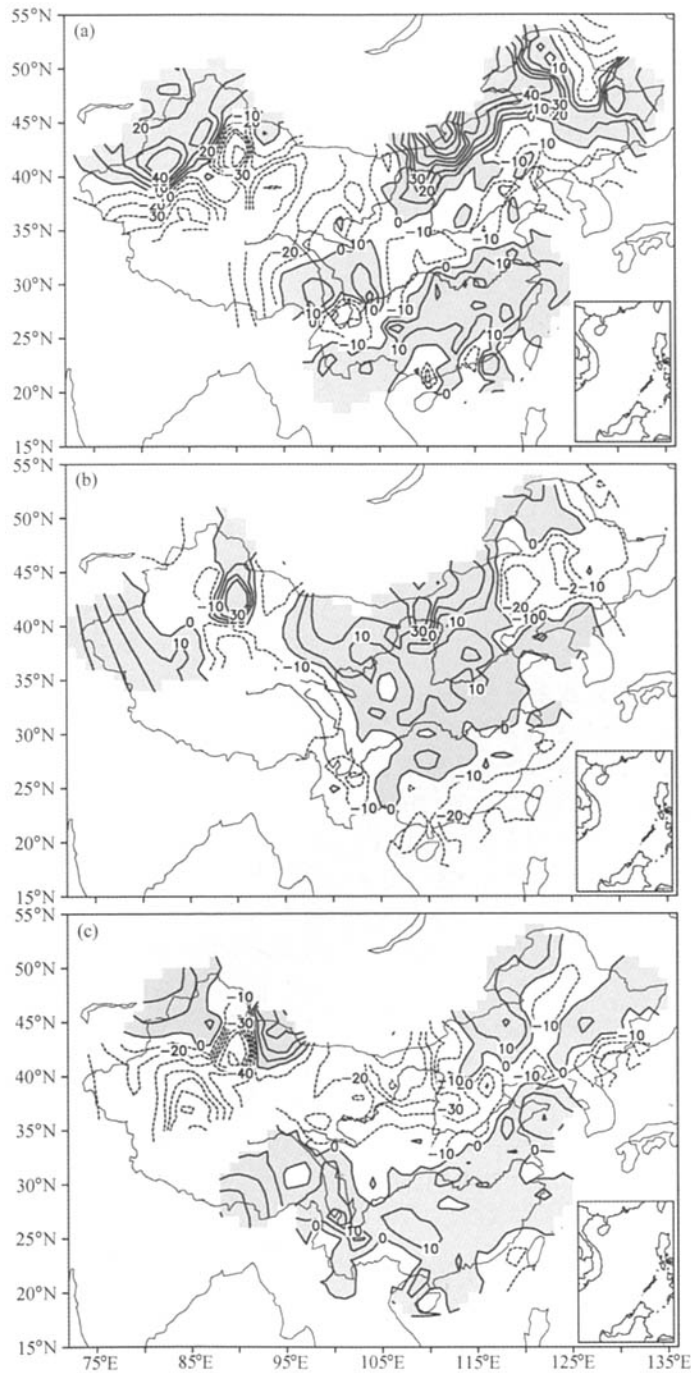


图1 我国20世纪各年代春季(3~5月)降水距平百分率的分布(单位:‰): (a) 50年代; (b) 60年代; (c) 70年代; (d) 80年代; (e) 90年代。取1961~1990年春季各月降水的气候平均值作为正常值,图中实线和阴影区表示正距平,虚线表示负距平

Fig. 1 Distributions of precipitation anomaly percentage in spring (MAM) in China in the 1950s (a), the 1960s (b), the 1970s (c), the 1980s (d) and the 1990s (e) (units: ‰). The climatological mean of monthly precipitation averaged for 1961-1990 is taken as their normal, respectively. The solid and dashed lines indicate positive and negative values, respectively, and the positive anomaly areas are shaded

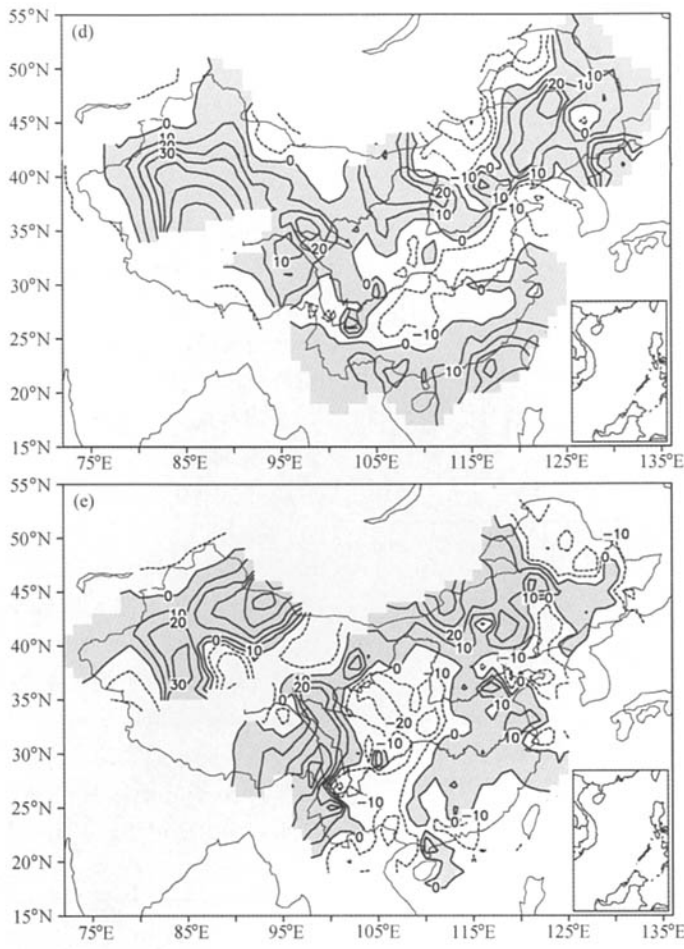


图 1 (续)

明显比 1977 年之前减少。

4 华北地区春季与夏季降水年代际变化特征的比较

正如在引言中所述，周连童和黄荣辉^[2]已经详细地分析了我国夏季气候的年代际变化特征。为了把上述我国春季气候的年代际变化特征与夏季气候的年代际变化进行比较，本研究特别给出了 1977~2000 年期间与 1966~1976 年期间平均的中国夏季降水距平百分率的分布之差（见图 4），可以发现，我国春季、夏季的降水年代际变化特征有很大的差别（比较图 3 与图 4）。

比较图 3 与图 4，我们可以清楚地看到：无论

春季或夏季，我国降水的年代际变化都是明显的，但春季降水的年代际变化特征与夏季降水的变化特征有明显的不同，有的甚至截然相反。相比于 1966~1976 年期间，在 1977~2000 年时期华北、东北南部和黄河中、下游地区的夏季降水明显减少，发生了持续性干旱（见图 4），然而，从图 3 可以看到华北地区在 1977~2000 年期间的春季降水却明显增加，特别是在华北南部；并且，从 1977~2000 年开始，长江和淮河流域夏季降水从偏少变成偏多，洪涝灾害时常发生，然而，这个地区在此时期春季降水却偏少，经常出现春旱现象，而长江上游地区在春季降水偏多。此外，西北地区从 1977~2000 年期间春、夏季降水均增加。虽然，西北地区春季降水的年代际变化特征

与华北春季降水相类似,但夏季降水的年代际变化却与华北地区降水的变化有相反的趋势。因此,我国气候的年代际变化有很大的区域性。

为了清楚地显示华北地区春、夏季降水的差

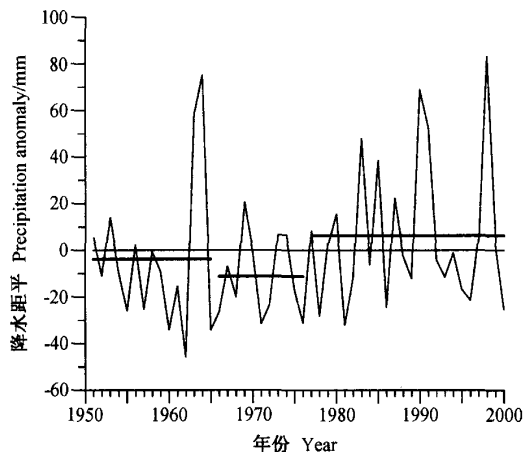


图2 我国华北地区春季(3~5月)降水距平年际变化(单位: mm)。图中水平直线为各年代际降水距平的平均值。取1961~1990年30年各月降水的气候平均值作为正常值

Fig. 2 Interannual variations of precipitation anomaly in spring (MAM) in North China (units: mm). The climatological mean of monthly precipitation averaged for 1961—1990 is taken as normal

异,本研究对华北地区春、夏季降水距平做8次多项式拟合(图5)。从图5可以清楚地看到,华北地区春、夏季降水出现截然相反的振荡位相,春季降水距平从70年代末期开始增加,80、90年代高于平均值,90年代后期又开始减少;而夏季降水从70年代末期开始明显减少,除了在90年代中期有小幅增加外,大部分时间都低于平均值。

为了更好地比较华北地区春、夏季降水的年代际变化的异同,我们利用全国730多个台站的降水资料集,并选取了其中华北地区80个站的观测资料,详细分析和比较了1951~1965年、1966~1976年和1977~2000年这3个时期平均的华北地区各月降水距平的变化,特别是比较了这3个时期的春、夏季降水距平变化趋势的异同。图6分别为1951~1965年、1966~1976年和1977~2000年平均的降水距平月变化。比较图6中这3个时期平均的华北地区春季(3~5月)与夏季(6~8月)降水距平的变化,可以明显看到:在1951~1965年(见图6点虚线),华北地区春季降水距平在平均值以下,而夏季降水距平远远高于平均值,降水最大的月份在7月,这表明1951~1965年是华北地区夏季降水的偏多期,而春季降水是偏少期;到了1966~1976年(见图6长虚

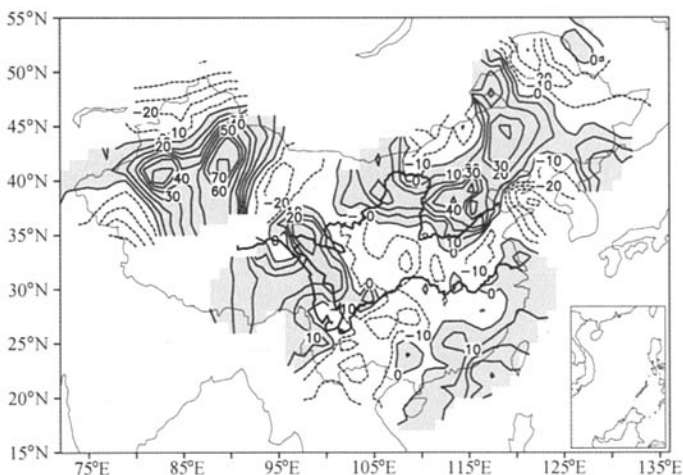


图3 1977~2000年期间与1966~1976年期间平均的中国春季(3~5月)降水距平百分率之差的分布(单位:%)。取1961~1990年30年各月降水的气候平均值作为正常值。图中实线和阴影区表示正值,虚线表示负值

Fig. 3 Difference between the spring (MAM) precipitation anomalies (percentage) averaged for 1977—2000 and those averaged for 1966—1976 in China (units: %). The climatological mean of monthly precipitation averaged for 1961—1990 is taken as normal. The solid and dashed lines indicate positive and negative values, respectively, and the positive anomaly areas of precipitation are shaded

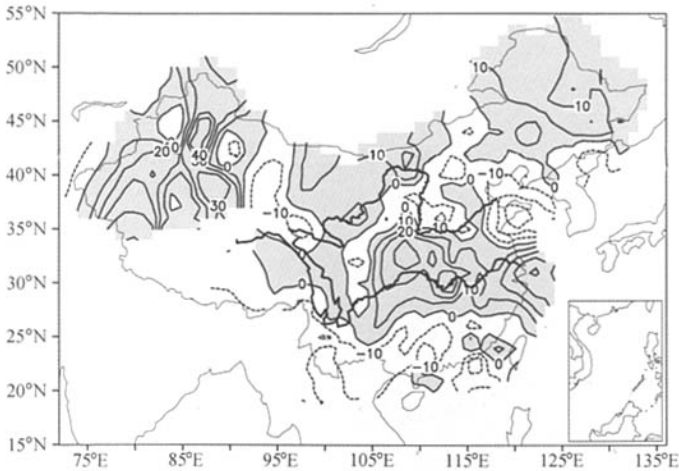


图4 1977~2000年期间与1966~1976年期间平均的中国夏季(6~8月)降水距平百分率之差的分布(单位:%)。取1961~1990年30年各月降水的气候平均值作为正常值。图中实线和阴影区表示正值,虚线表示负值
Fig. 4 Difference between the summer (JJA) precipitation anomalies (percentage) averaged for 1977—2000 and those averaged for 1966—1976 in China (units: %). The climatological mean of monthly precipitation averaged for 1961—1990 is taken as normal. The solid and dashed lines indicate positive and negative values, respectively, and the positive anomaly areas of precipitation are shaded

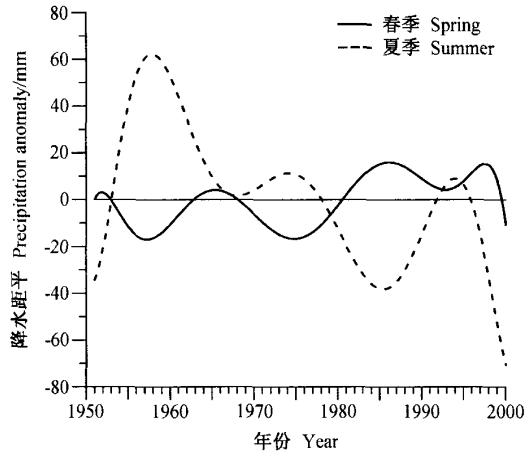


图5 用8次多项式拟合的我国华北地区春季和夏季降水的变化趋势
Fig. 5 Trend of spring (solid line) and summer (dashed line) precipitation in North China by polynomial degree 8

线), 可以看到春季降水距平仍然低于平均值, 而夏季降水距平虽然高于平均值, 但比1951~1965年时期的降水距平还是减少了很多, 特别是6和7月已经低于平均值, 这表明1966~1976年是华北地区夏季降水由偏多变为偏少的过渡期, 春季降水仍为偏少期; 然而, 到了1977~2000年(见图6实线), 可以发现, 华北地区春季降水距平高于

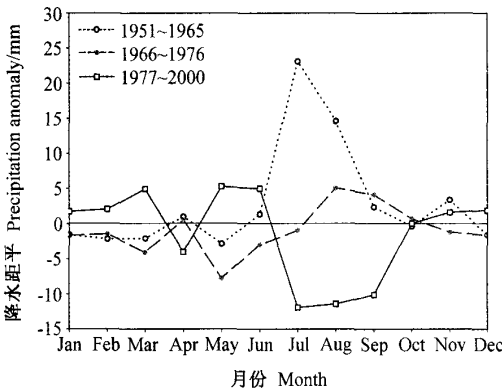


图6 我国华北地区1951~1965年、1966~1976年和1977~2000年平均的月降水距平的变化(单位:mm)。取1961~1990年30年各月气候平均值作为正常值
Fig. 6 Variations of monthly precipitation anomaly in North China averaged for 1951—1965 (dotted line), 1966—1976 (dashed line) and 1977—2000 (solid line), respectively (units: mm). The climatological mean of monthly precipitation averaged for 1961—1990 is taken as normal

平均值, 比1951~1965和1966~1976年有一个很明显的增加, 然而, 这时期的夏季的降水却比1951~1965年和1966~1976年降水明显减少了, 特别是7、8月份的降水距平明显低于平均值, 而6月份却高于平均值。

上面的分析结果清楚地表明, 1951~1965 年为华北地区夏季降水偏多期, 这时期华北夏季降水明显偏多, 但春季降水略偏少; 1966~1976 年为华北地区降水变化的过渡期, 此时期华北地区夏季降水开始减少, 但仍比气候平均值偏多, 且春季降水明显减少, 春旱较严重; 然而, 1977~2000 年为华北降水偏少期, 这段时期的夏季主汛期(7~8 月) 华北地区降水明显偏少, 比气候平均值偏少很多, 产生了持续性干旱, 但这时期 5~6 月降水却比 1966~1976 年有明显增多, 比气候平均值偏多。陆日宇^[12]的研究也表明了从年代际时间尺度看, 华北地区在 1977 年之后夏季降水的减少主要在 7~8 月, 而 6 月降水并没有减少。因此, 华北地区春季降水与夏季降水有相反的变化趋势, 华北地区夏季降水虽然从 1977 年开始明显减少, 但是春季降水却增加了。

5 东亚春季环流的年代际变化及其对华北地区春季降水的影响

上面已经分析了华北地区春季降水的年代际变化特征及其与夏季降水年代际变化的差异。为什么华北地区春季的降水从 1976 年之后反而增加了? 这是值得深入讨论的问题, 它有可能与春季东亚上空环流的年代际变化有关。Yeh 等^[13]发现了东亚地区上空在 6 月上、中旬存在着行星尺度环流突变, 这个突变带来了东亚夏季风的爆发和冬季风的结束, 这表明东亚冬季风在春季仍然控制着我国东部, 特别是华北地区。为此, 下面利用欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) ERA40 资料集 1958~2000 年月平均 700 hPa 风场资料来分析春季 (3~5 月) 东亚上空环流的年代际变化, 即利用春季上空的环流变化来反映东亚冬季风的变化, 从而来探讨华北地区春季降水年代际变化的可能成因。

图 7a~c 分别表示 1958~1965 年、1966~1976 年和 1977~2000 年 3 个时期平均的春季 (3~5 月) 700 hPa 风场距平的分布。从图 7a 可以看到, 在 1958~1965 年, 在蒙古高原上空存在着一个明显的反气旋环流距平中心, 使我国华北地区上空出现明显的偏北风距平; 在 1966~1976 年, 如图 7b 所示, 我国华北地区上空仍然是偏北

风距平, 且在我国东部沿海直到南海上空的偏北风距平明显增强; 然而, 到了 1977~2000 年, 如图 7c 所示, 我国的西南、华中到华北南部出现了有明显的西南风距平, 华北地区出现偏南风距平。且在我国东部沿海直到南海上空的偏北风距平跃变为偏南风距平。

上面的分析结果表明了在 1965 年以前的春季在华北上空有强的冬季风, 这使得我国华北地区在 1965 年以前春季降水偏少; 并且在 1966~1976 年春季, 华北地区上空仍然受冬季风控制, 且在我国东部沿海一直到南海上空偏北风距平增强, 这样造成在此期间的华北地区春季降水进一步减少, 因此, 在 1977 年以前, 华北地区的春季降水明显偏少; 然而, 到了 1977~2000 年, 我国华北和东部春季冬季风明显减弱了, 并出现西南风的异常气流, 这意味着夏季风到达我国南海和华南的时间提前, 使得较多暖湿气流输送到我国北方, 从而引起我国华北地区春季降水增加, 特别是晚春到初夏 (5~6 月) 降水明显偏多。

6 结论和讨论

本研究利用我国气象观测站 1951~2000 年春季 (3~5 月) 月降水观测资料以及欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) ERA40 的风场资料, 分析了我国, 特别是华北地区春季气候的年代际变化特征及其与夏季气候变化的异同, 并从东亚上空环流异常讨论了华北地区春季降水的可能成因。

降水观测资料的分析结果表明: 1977~2000 年期间华北地区和黄河中、下游流域春季降水明显增加, 比正常值偏多, 而在这之前则是偏少; 这个时期华北地区夏季降水明显偏少, 发生了持续严重干旱, 而在这之前是偏多。因此, 我国华北地区春季降水的年代际变化与夏季降水的变化存在着相反的变化趋势。

本研究还讨论了我国, 特别是华北地区春季降水的年代际变化的成因。从 ERA40 资料集的月平均 700 hPa 风场资料的分析结果表明: 在 1958~1965 年期间, 我国华北上空存在着明显的偏北风距平, 这说明在这个时期春季东亚冬季风偏强使得我国华北地区春季降水偏少; 并且, 在 1966~1976 年, 在我国华北上空仍为偏北风距平,

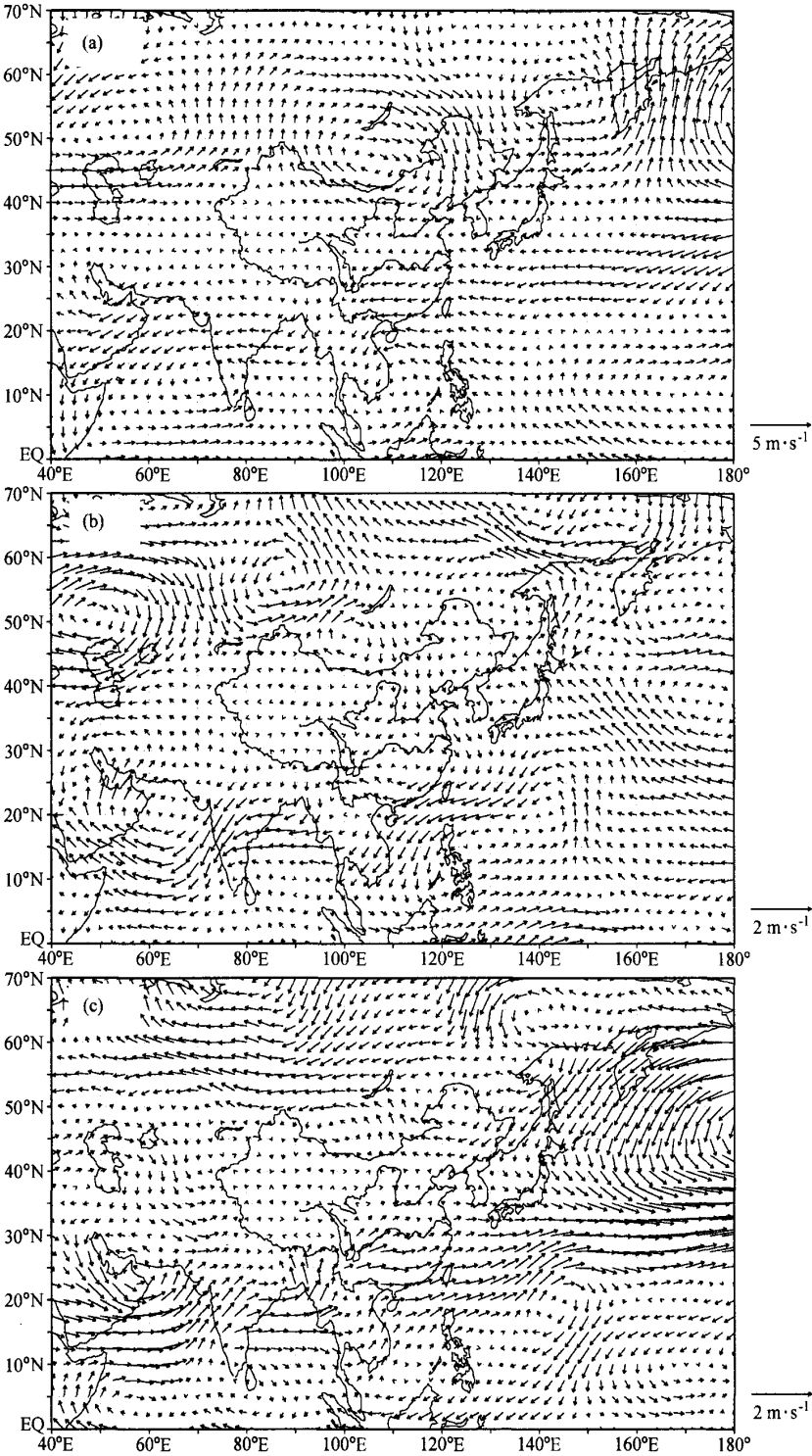


图 7 1958~1965 年 (a)、1966~1976 年 (b) 和 1977~2000 年 (c) 平均的春季 (3~5 月) 700 hPa 风场距平分布。取 1961~1990 年 30 年各月气候平均值作为正常值

Fig. 7 Distributions of anomalous wind field at 700 hPa in spring (MAM) averaged for 1958—1965 (a), the 1966—1976 b) and the 1977—2000 (c), respectively. The climatological mean of monthly wind field at 700 hPa averaged for 1961—1990 is taken as normal

且在我国东部沿海直到南海上空的偏北风距平明显增强,即东亚冬季风增强。因此,在这个时期,华北地区春季降水更加偏少;然而,在1977~2000年,华北地区出现偏南风距平。且在我国东部沿海直到南海上空的偏北风距平跃变为偏南风距平,这表明在1977~2000年期间,我国华北地区和东部春季偏北气流严重减弱,即春季东亚冬季风减弱,东亚夏季风开始出现,这使得夏季风到达我国南海和华南时间提前,从而造成暖湿气流容易从我国南方输送到我国北方,从而引起我国华北地区春季降水增加,特别是晚春到初夏(5月和6月)降水明显增加。

这里应该指出,由于受东亚夏季风的影响,因此,华北地区降水主要集中在夏季,夏季降水可占全年降水的60%~70%。虽然从1977~2000年华北地区春季降水增加,但由于夏季降水明显减少,因此年降水量还是减少的,且由于华北地区气温上升,蒸发加强,故华北地区的干旱并不会因春季降水的增加而缓和,只是春季华北地区的空气湿度和土壤墒情有所改善而已。

参考文献 (References)

- [1] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, **18**: 465~475
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The interdecadal variation of summer precipitation in China and the drought trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 465~475
- [2] 周连童, 黄荣辉. 关于中国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. 气候与环境研究, 2003, **8**: 274~290
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8**: 274~290
- [3] Huang Ronghui, Zhou Liantong, Chen Wen. The progresses of recent studies on the variabilities of the East Asian monsoon and their causes. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20**: 55~69
- [4] 黄刚, 周连童. 青藏高原西侧绕流风系的变化及其与东亚夏季风和我国华北地区夏季降水的关系. 气候与环境研究, 2004, **9**: 316~330
Huang Gang, Zhou Liantong. The variability of the wind system circulating round the west side of the Tibetan Plateau and its relation to the East Asian summer monsoon and summer rainfall in North China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9**: 316~330
- [5] 周连童, 黄荣辉. 中国西北干旱、半干旱区春季地气温差的年代际变化特征及其对华北夏季降水年代际变化的影响. 气候与环境研究, 2006, **11**: 1~13
Zhou Liantong, Huang Ronghui. Characteristics of interdecadal variability of the difference between surface temperature and surface air temperature in spring in arid and semi-arid region of Northwest China and its impact on summer precipitation in North China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11**: 1~13
- [6] 黄荣辉, 陈文, 丁一汇, 等. 关于季风动力学与 ENSO 循环相互作用的研究. 大气科学, 2003, **27**: 484~502
Huang Ronghui, Chen Wen, Ding Yihui, et al. Studies on the monsoon dynamics and the interaction between monsoon and ENSO cycle. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**: 484~502
- [7] Chen Wen, Graf Hans-F, Huang Ronghui. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2000, **17**: 46~60
- [8] Huang Ronghui, Chen Wen, Yan Banliang, et al. Recent advances in studies of the interaction between the East Asian winter and summer monsoons and ENSO cycle. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, **21**: 407~424
- [9] 陈文. El Nino 和 La Nina 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. 大气科学, 2002, **26**: 595~610
Chen Wen. Impacts of El Nino and La Nina on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2002, **26**: 595~610
- [10] 周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究. 应用气象学报, 2002, **13**: 193~200
Zhou Zijiang, Wang Xiwen, Niu Ruoyun. Climate characteristics of sandstorm in China in recent 47 years. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2002, **13**: 193~200
- [11] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究. 大气科学, 2003, **27**: 770~787
Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong, et al. Studies on the relationship between the severe climatic disasters in China and East Asia climate system. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**: 770~787
- [12] 陆日宇. 华北夏季不同月份降水的年代际变化. 高原气象, 1999, **18**: 509~519
Lu Riyu. Interdecadal variations of precipitations in various months of summer in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 509~519
- [13] Yeh Tucheng (Ye Duzheng), Dao Shihyen (Tao Shiyan), Li Meitsun (Li Maicun). The abrupt change of circulation over the Northern Hemisphere during June and October. *The Atmosphere and the Ocean in Motion*. New York: The Rockefeller Institute Press in association with Oxford University Press, 1959. 249~267