

郝立生, 闵锦忠, 顾光芹. 华北夏季降水减少与北半球大气环流异常的关系[J]. 大气科学学报, 2010, 33(4): 420-426.

Hao Li-sheng, Min Jin-zhong, Gu Guang-qin. Relationship between summer precipitation reduction in North China and atmospheric circulation anomalies in Northern Hemisphere[J]. Trans Atmos Sci, 2010, 33(4): 420-426.

华北夏季降水减少与北半球大气环流异常的关系

郝立生^{1,2,3}, 闵锦忠¹, 顾光芹^{2,3}

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 河北省气候中心, 河北 石家庄 050021;

3. 河北省气象与生态环境实验室, 河北 石家庄 050021)

摘要:利用华北地区20站夏季降水资料和NCEP/NCAR再分析资料,采用趋势分析、合成分析等方法,对华北夏季降水减少与北半球大气环流异常进行对比分析。结果表明,华北夏季降水量1951—2008年呈显著减少趋势,平均每10 a减少13.4 mm,1965年发生了气候突变,之后降水量减少更加明显。北半球大气环流在1965年前后有明显不同:1)1951—1965年夏季500 hPa高度场欧洲大槽、贝加尔湖槽较深,乌拉尔山高压脊较强,经向环流表现突出;而1966—2008年夏季欧洲大槽、贝加尔湖槽较浅,乌拉尔山高压脊较弱,纬向环流表现突出。2)1951—1965年夏季500 hPa蒙古冷槽位置偏北偏西,冷空气活动经常影响华北地区;而1966—2008年夏季蒙古冷槽位置东移南压到河套附近,冷空气经常影响华北以南以东地区。3)1951—1965年夏季海平面气压场蒙古低压异常强大,而1966—2008年蒙古低压明显减弱。4)1951—1965年夏季850 hPa东亚夏季风一直伸展到华北、东北地区,蒙古地区存在明显的气旋性环流,在河套附近产生风向辐合;而1966—2008年东亚夏季风在到达30°N附近风速显著减小,很少越过长江到达华北地区,在长江流域形成了风速辐合,同时蒙古地区的气旋性环流消失,河套附近的风向辐合变的很弱。1951—1965年华北多雨是由于东亚夏季风水汽的有效输送和河套附近的风向辐合造成的,而1966—2008年长江流域多雨是由于东亚夏季风在这里产生了风速辐合造成的。华北夏季降水减少与北半球大气环流异常有很好的联系。

关键词:华北;夏季降水;减少;大气环流;异常

中图分类号:P467 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-7097(2010)04-0420-07

Relationship between Summer Precipitation Reduction in North China and Atmospheric Circulation Anomalies in Northern Hemisphere

HAO Li-sheng^{1,2,3}, MIN Jin-zhong¹, GU Guang-qin^{2,3}

(1. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;

2. Hebei Climate Center, Shijiazhuang 050021, China;

3. Hebei Meteorological and Ecological Environment Laboratory, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: Based on NCEP/NCAR reanalysis data and summer rainfall data from the 20 stations in North China, by using trend analysis and composite analysis methods, the relationship between the summer rainfall reduction in North China and northern hemisphere's circulation anomalies was investigated. The results show that summer rainfall in North China presents a significant decreasing tendency from 1951 to 2008 with an average reduction of 13.4 mm in every 10 years. This trend has been even more significant since 1965. There are obvious differences in northern hemisphere atmospheric circulation be-

收稿日期:2009-04-20;改回日期:2009-10-16

基金项目:河北省重大基础研究项目(08966711D)

作者简介:郝立生(1966—),男,河北廊坊人,高级工程师,研究方向为季风和气候变化, hls54515@163.com.

fore and after 1965. Firstly, at 500 hPa height field in the summer during the period of 1951—1965, there were a shallower polar vortex and deeper trough over the European and Lake Baikal and a strong high-pressure ridge over the Ural mountain, which formed a “- + -” Eurasian teleconnection pattern resulting in outstanding meridional circulation; however, in 1966—2008, there were a deeper polar vortex and shallower trough over Europe and Lake Baikal and a weaker high-pressure ridge over the Ural mountain, which formed a “+ - +” Eurasian teleconnection pattern resulting in outstanding zonal circulation. Secondly, at 500 hPa temperature field in the summer during the period of 1951—1965, the Mongolian cold trough located northerly and westerly with cold air often affecting North China region while in 1966—2008, the Mongolian cold trough location moved southeastward to the Yellow River Loop area with cold air often affecting eastern and southern regions of North China. Thirdly, at sea level pressure field in the summer during the period of 1951—1965, Mongolia low pressure was unusually large and strong but obviously weakened in the summer of 1966—2008. Fourthly, at 850 hPa wind field in the summer of 1951—1965, the East Asian summer monsoon extended to Northeast China. Meanwhile, there was an obvious cyclonic circulation in Mongolia area, which resulted in a wind direction convergence near the Yellow River Loop; in the summer of 1966—2008, the East Asian summer monsoon in the subtropical areas significantly weakened and rarely went over the Yangtze River to arrive in North China. It produced a convergence of wind speed in the Yangtze River Basin. At the same time, Mongolia cyclonic circulation disappeared and the convergence of the wind direction near the Yellow River Loop area became very weak. The rainy season in North China in the summer of 1951—1965 was a result of the effective water vapor transmission through East Asian summer monsoon and the wind direction convergence near the Yellow River Loop area. The rainy season in the Yangtze River Basin in the summer of 1966—2008 was caused by the wind speed convergence of the East Asian summer monsoon. There is a significantly obvious relationship between the summer precipitation reduction in North China and the circulation anomalies in northern hemisphere.

Key words: North China; summer precipitation; reduction; atmospheric circulation; anomaly

0 引言

20 世纪 60 年代中期以后,华北夏季降水呈减少趋势,特别是 70 年代以来,其减少趋势更加明显^[1-2]。由于夏季降水减少而引起的该地区干旱化问题引起了气象学者们的广泛关注^[3-7],很多学者从不同方面对华北夏季降水减少进行了很好的研究^[8-10]。黄荣辉等^[11]分析我国夏季降水年代际变化特征及华北干旱化趋势,发现夏季降水在 1965 年前后发生了一次气候跃变,这种气候变化可能主要是由于 60 年代中期和 80 年代到 90 年代初赤道东太平洋海表温度明显升高所致;张庆云^[12]将华北地区降水变化归因于西太平洋副热带高压的异常;彭京备等^[13]研究青藏高原雪盖变化与中国夏季降水的关系,发现积雪在 20 世纪 70 年代后期发生了一次年代际气候跃变,积雪由少雪期向多雪期转化,与华北夏季降水变化有很好的对应关系;很多学者还研究了夏季水汽输送变化与华北降水减少的联系^[14-16];更多的研究表明,华北夏季降水减少与东亚夏季风减弱有密切的关系^[17-20]。

虽然很多学者从各个角度对华北夏季降水减少成因进行了分析,但对华北夏季降水变化规律把握上仍然存在很大难度,表现在对夏季降水预测的水平不高,因此,有必要对华北地区夏季降水减少原因作进一步深入的研究。本文对华北夏季降水突然开始减少前后北半球大气环流异常变化进行对比分析,寻找其与华北夏季降水减少的联系,为改进华北夏季降水预测提供一些科学参考依据。

1 资料和方法

本文用到两种资料:1) 华北地区夏季降水资料。使用国家气候中心整理的位于华北地区的承德、张家口、北京、天津、石家庄、德州、邢台、安阳、烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽、郑州、南阳、信阳、长治、太原、临汾 20 站 1951—2008 年 6—8 月月降水资料;2) 大气环流分析使用 NCEP/NCAR 再分析的 1951 年 1 月—2008 年 12 月的月平均 500 hPa 高度场和气温场,850 hPa 风场、海平面气压场资料。多年夏季平均是指 1951—2008 年夏季的平均,距平是相对于 1951—2008 年平均值的距平。

本文所用的分析方法主要有线性趋势分析、Mann-Kendall 突变检验,环流合成对比分析等。

2 华北夏季降水变化

图 1 描述的是 1951—2008 年华北夏季降水距平变化情况,细实线是年际变化,粗实线是 11 a 滑动平均,代表变化趋势,虚线是线性倾向。可以看到,华北夏季降水量年际变化波动较大,趋势线反映出明显的年代际变化特征,如果以降水极小值为节点,可划分为三个主要周期,即 1951—1969、1970—1984、1985—2008,三个阶段平均降水量呈逐渐减少的趋势。线性趋势分析通过了 95% 的显著性检验,表明线性减少趋势显著,近 58 a 平均每 10 a 减少 13.4 mm。

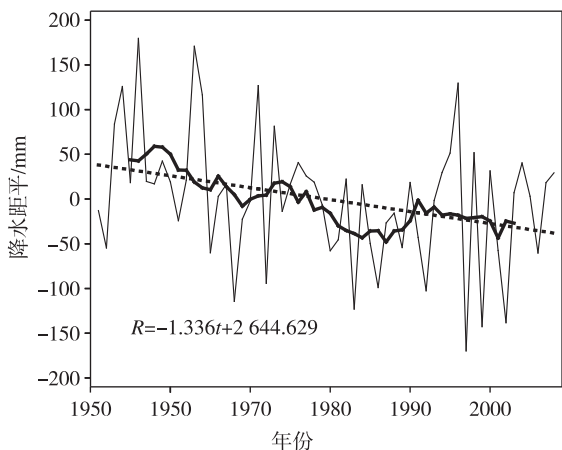


图 1 1951—2008 年华北夏季降水距平变化(细线是年际变化,粗线是 11 a 滑动平均,虚线是线性倾向)

Fig. 1 Summer precipitation variation in North China during 1951—2008 (thin solid line for annual variation, thick solid line for running 11-yr mean, dashed line for linear tendency)

因为 Mann-Kendall 检验具有特殊的优点,尤其是可以确定突变发生的时间,这里用该方法检验华北夏季降水量变化有无突变发生。用原序列构造统计量 C_1 ,用原序列的反序列构造统计量 C_2 ,给定 $\alpha = 0.05$,作 M-K 检验曲线。若 C_1 的值大于零,则表明序列呈上升趋势, C_1 小于零则表明序列呈下降趋势,当 C_1 超过临界值时,表明上升或下降趋势明显。如果 C_1 和 C_2 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的的时间就是突变发生的时间。图 2 是 1951—2008 年华北夏季降水量变化的 Mann-Kendall 突变检验情况,实线代表统计量 C_1 ,虚线代表统计量 C_2 。从图上发现, C_1 曲线和 C_2 曲线在 1965 年出现了交点,说明华北夏季降水量在 1965 年发生了突变,之后降水量明显减少。

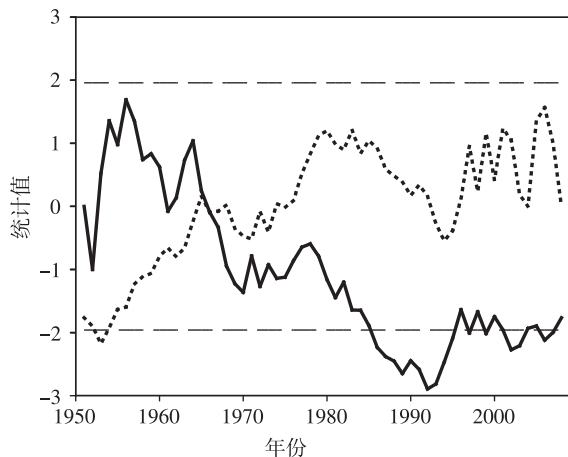


图 2 华北夏季降水量的 Mann-Kendall 突变检验(实线代表 C_1 ,点线代表 C_2 ,虚线是 95% 的显著性水平)

Fig. 2 Mann-Kendall test of summer precipitation in North China (solid line for C_1 , dotted line for C_2 , dashed line indicates significance at 95% confidence level)

3 环流异常分析

华北夏季降水在 1965 年发生了突变,这里以 1965 年为界,分别对 1951—1965 年、1966—2008 年的 500 hPa 高度场和气温场、850 hPa 风场、海平面气压场作合成对比分析,以便认识华北夏季降水减少与大气环流异常之间的关系。

3.1 500 hPa 高度场变化

图 3 是 1965 年前后北半球夏季 500 hPa 高度场变化,图 3a 是 1951—1965 年与多年平均的差值场,图 3b 是 1966—2008 年与多年平均的差值场。在图 3a 上,极为为正距平,说明 1951—1965 年极涡偏浅;北大西洋欧洲沿岸为负距平,乌拉尔山正距平,贝加尔湖至青藏高原负距平,从欧洲、乌拉尔山到东亚形成了一个“— + —”的欧亚遥相关型,这时欧洲大槽、贝加尔湖至青藏高原北部高空槽较深,乌拉尔山高压脊较强,使得槽脊活动非常明显,经向环流表现突出,有利于冷暖空气南北交换。图 3b 形势与图 3a 基本相反,但距平值比图 3a 明显要小。在极为为负距平,表明极涡在 1966—2008 年偏深;北大西洋欧洲沿岸为正距平,乌拉尔山负距平,贝加尔湖至青藏高原正距平,从欧洲、乌拉尔山到东亚形成了一个“+ - +”的欧亚遥相关型,这时欧洲大槽、贝加尔湖至青藏高原北部高空槽较浅,乌拉尔山高压脊较弱,使得槽脊活动变弱,纬向环流表现突出,不利于冷暖空气南北交换。

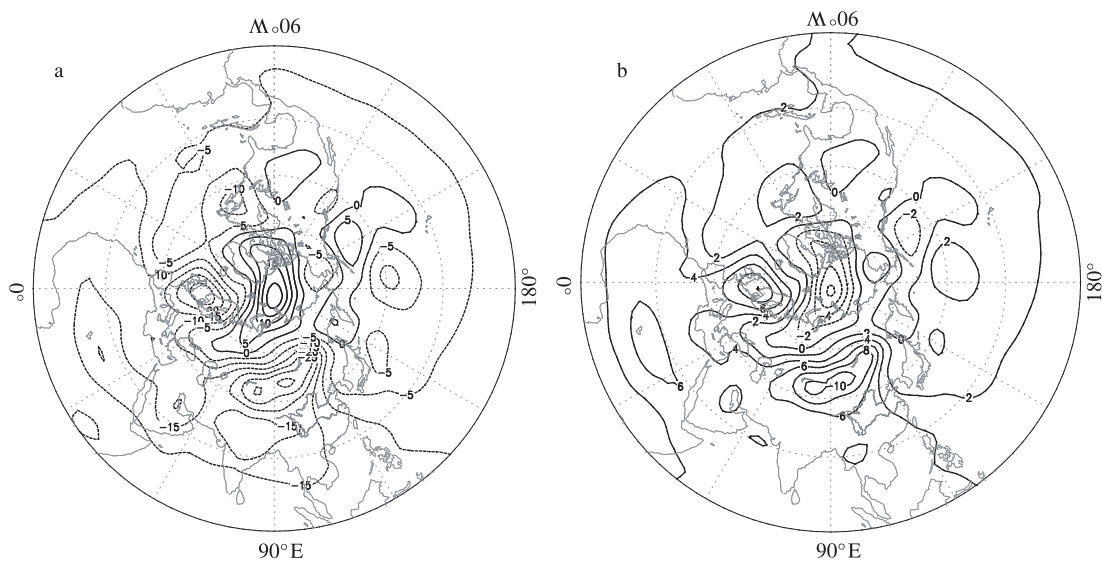


图 3 1951—1965 年(a)、1966—2008 年(b)夏季 500 hPa 高度场与多年平均的差值场(单位:gpm)
Fig. 3 Differences of 500 hPa height field in summer between (a) 1951—1965, (b) 1966—2008 and the mean level during 1951—2008 (units:gpm)

3.2 500 hPa 气温场变化

为了认识高空锋区和冷暖空气变化对华北夏季降水的影响,这里对 500 hPa 气温场进行分析。图 4 是 1965 年前后北半球夏季 500 hPa 气温场变化,图 4a 是 1951—1965 年与多年平均的差值场,图 4b 是 1966—2008 年与多年平均的差值场。在图 4a 上,北大西洋副热带为正距平,北大西洋高纬至欧洲、北美洲沿岸为负距平,欧洲高纬正距平,乌拉尔山为较小的正距平,鄂霍次克海至河套为强度最大、范围最

广的正距平,这表明,在 1951—1965 年夏季 500 hPa 层上,蒙古冷槽偏浅,这里冷空气势力偏弱。图 4b 形势与图 4a 基本相反,但距平值比图 4a 要小一些,在鄂海至河套为强度最大、范围最广的负距平,这表明在 1966—2008 年,蒙古冷槽偏深,这里冷空气势力较强。另外,在 1951—1965 年夏季平均 500 hPa 气温场上(图略),冷槽位置偏北偏西,冷槽中的冷空气活动经常东移南下影响到其东南方向的华北地区;而 1966—2008 年夏季平均 500 hPa 气温场上

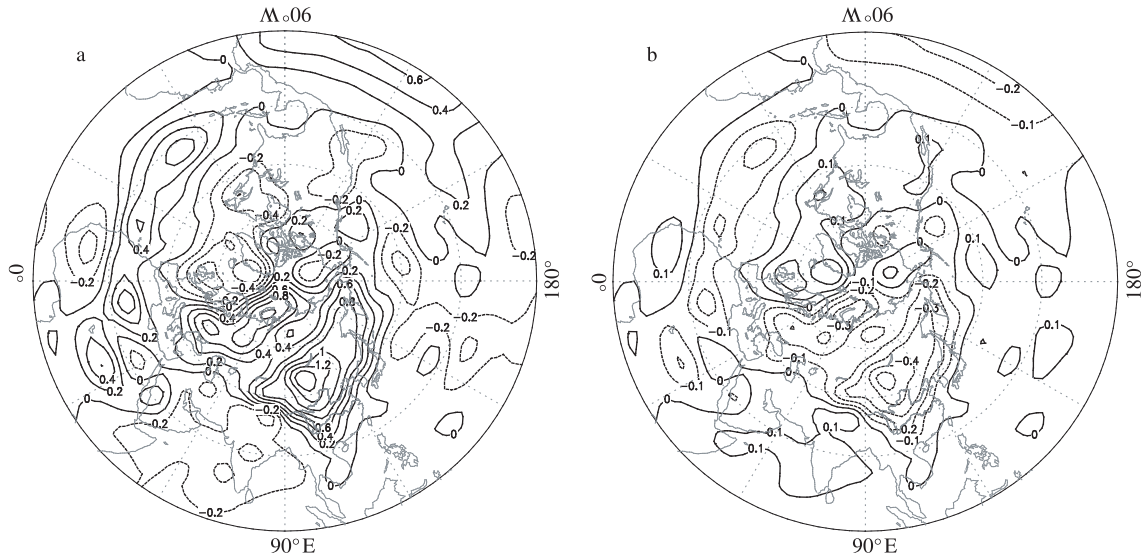


图 4 1951—1965 年(a)、1966—2008 年(b)夏季 500 hPa 气温与多年平均的差值场(单位:°C)
Fig. 4 Differences of 500 hPa temperature in summer between (a) 1951—1965, (b) 1966—2008 and the mean level during 1951—2008 (units:°C)

(图略),冷槽位置明显东移南压到蒙古和河套附近,冷槽中的冷空气活动影响的范围偏南偏东,这一时期,华北以南以东地区降水应该增多。

3.3 850 hPa 风场变化

由于 850 hPa 风场对夏季降水起重要的水汽输送作用,其变化对华北降水有很大的影响,下面对 850 hPa 风场变化进行对比分析。图 5 是夏季 850 hPa 水平风场变化,图 5a 是 1951—1965 年平均,图 5b 是 1966—2008 年平均,图 5c 是 1951—1965 年与多年平均的差值场,图 5d 是 1966—2008 年与多年平均的差值场。

比较图 5a 与图 5b 可以看到,印度夏季风主要由西向东吹,而且 1966—2008 年和 1951—1965 年相比风速大小没什么变化,这与印度夏季降水减少趋势不明显是一致的^[2];东亚夏季风主要由南海向华北、东北吹。在图 5a 上,1951—1965 年夏季,东亚夏季风与印度夏季风风速大小相当,由南海一直

吹到中国东北地区;另外,在亚洲高纬的蒙古地区存在明显的气旋性环流,在河套附近产生风向辐合。图 5b 与图 5a 明显不同,首先,东亚夏季风在到达 30°N 附近风速显著减小,这表明在 1966—2008 年夏季,东亚夏季风很少越过长江到达华北、东北地区,在长江流域产生了风速辐合;其次,在亚洲高纬蒙古地区的气旋性环流消失了,河套附近的风向辐合变的很弱。所以,1951—1965 年夏季华北多雨可能是由于东亚夏季风水汽的有效输送和河套附近的风向辐合造成的,而 1966—2008 年长江流域多雨可能是由于东亚夏季风在这里产生了风速辐合造成的,两地多雨的性质不一样。1966—2008 年华北少雨可能与缺乏有效的水汽来源和河套附近风向辐合减弱有关。

为了进一步分析 850 hPa 风场异常变化情况,分别计算了 1951—1965 年、1966—2008 年夏季水平风速与多年平均的差值。在图 5c 上,印度夏季风

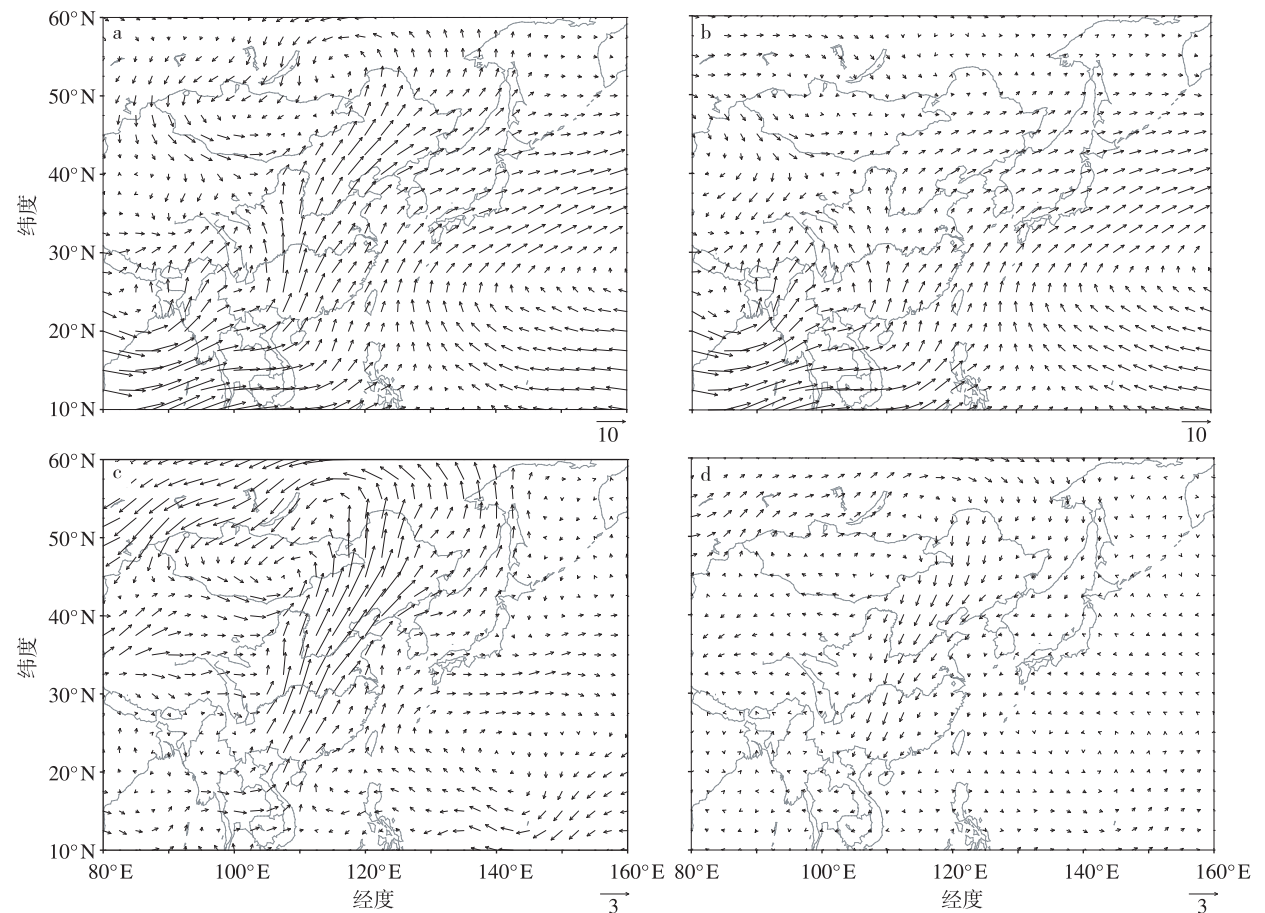


图 5 夏季 850 hPa 水平风速变化(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) a. 1951—1965 年平均;b. 1966—2008 年平均;c. 1951—1965 年减多年平均值;d. 1966—2008 年减多年平均值

Fig. 5 Horizontal wind speed at 850 hPa in summer (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) a. mean during 1951—1965;b. mean during 1966—2008;c. 1951—1965 minus mean level during 1951—2008;d. 1966—2008 minus mean level during 1951—2008

基本没什么异常变化,东亚夏季风为明显的南风异常,亚洲高纬蒙古地区为气旋性环流,在河套附近形成明显的风向辐合,而西北太平洋为弱的反气旋性环流。图 5d 形势与图 5c 基本相反,印度夏季风同样没什么异常,东亚地区出现明显的北风异常,亚洲高纬蒙古地区为反气旋性环流,在河套附近形成风向辐散。

综合起来,1966—2008 年夏季与 1951—1965 年夏季相比,印度夏季风强弱基本没发生变化,而东亚夏季风风速明显减小。1951—1965 年夏季,东亚夏季风在中纬度的偏南风非常强,一直吹到中国东北地区,东亚夏季风强偏南气流将水汽有效地输送到华北地区,与蒙古地区气旋环流外围西北气流挟带冷空气东移南下在河套附近相遇,产生辐合上升运动,造成华北夏季降水偏多;1966—2008 年夏季,东亚夏季风风速在中纬度减小非常明显,偏南风的水汽输送很难越过 30°N 到达华北,加上蒙古西部的冷气流也变得非常弱,辐合上升运动减弱,造成华北夏季降水大量减少。

3.4 海平面气压场变化

海平面气压场的变化对预测夏季降水非常重要,因此,这里对 1965 年前后气压场变化进行对比分析。在多年平均夏季海平面气压场上(图略),阿拉伯半岛至印度是低压中心,蒙古地区是另一个低压中心,北太平洋和北大西洋是强大的高压。阿拉

伯半岛至印度地区低压可能对印度夏季风的强弱变化有重要影响,而蒙古低压可能对东亚夏季风的强弱变化有重要影响。图 6 是 1965 年前后夏季北半球海平面气压场变化,图 6a 是 1951—1965 年与多年平均的差值场,图 6b 是 1966—2008 年与多年平均的差值场。比较图 6a 和图 6b 可以看到,在 1951—1965 年夏季,蒙古地区为明显的负距平,而 1966—2008 年夏季蒙古地区为弱的正距平,阿拉伯半岛至印度气压场基本没什么变化。这表明,1951—1965 年夏季蒙古低压异常强大,而 1966—2008 年夏季蒙古低压明显减弱,1965 年之后夏季华北降水减少可能与蒙古低压减弱有关。

4 小结

华北 1951—2008 年夏季降水量呈线性减少趋势,平均每 10 a 减少 13.4 mm,在 1965 年发生了气候突变,之后降水量减少更加明显。北半球夏季大气环流在 1965 年前后有明显不同。

在 1951—1965 年夏季 500 hPa 高度场上,欧洲大槽、贝加尔湖至青藏高原北部高空槽较深,乌拉尔山高压脊较强,从欧洲、乌拉尔山到中亚形成了一个“- + -”的欧亚遥相关型,这使得槽脊活动非常明显,经向环流表现突出,有利于冷暖空气南北交换,华北夏季降水偏多;而在 1966—2008 年夏季,欧洲大槽、贝加尔湖至青藏高原北部高空槽较浅,乌拉尔

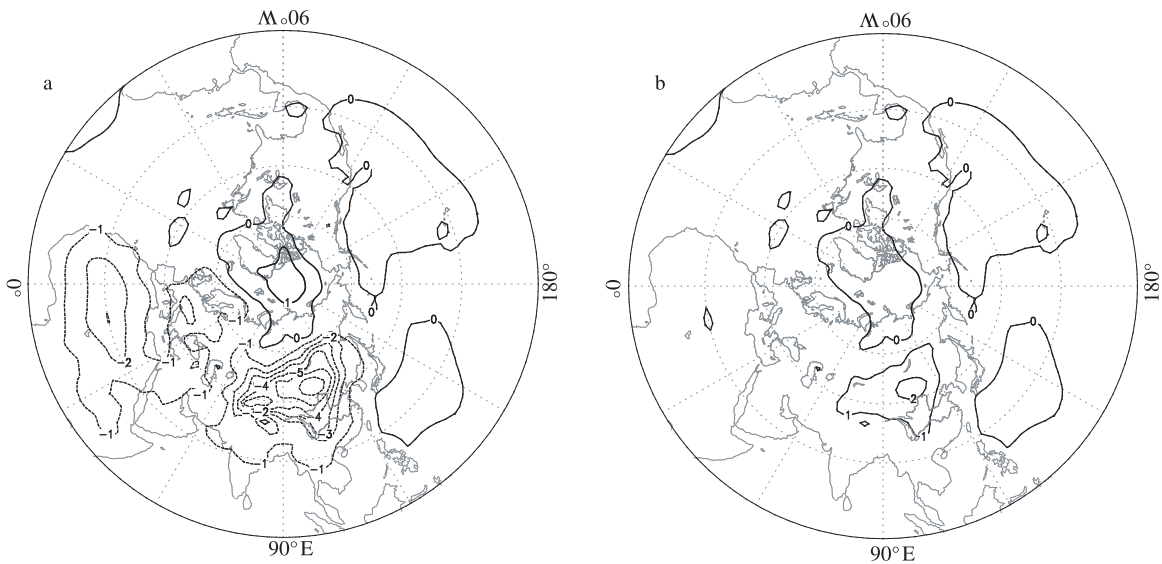


图 6 1951—1965 年(a)、1966—2008 年(b)夏季海平面气压与多年平均的差值场(单位:hPa)

Fig. 6 Differences of sea level pressure in summer between (a) 1951—1965, (b) 1966—2008 and the mean level during 1951—2008 (units: hPa)

山高压脊较弱,从欧洲、乌拉尔山到中亚形成了一个“+ - +”的欧亚遥相关型,这使得槽脊活动减弱,纬向环流表现突出,不利于冷暖空气南北交换,华北夏季降水偏少。

1951—1965 年夏季 500 hPa 层蒙古冷槽位置偏北偏西,冷槽中的冷空气活动经常东移南下影响其东南方向的华北地区,华北夏季降水偏多;而在 1966—2008 年夏季蒙古冷槽位置明显东移南压到蒙古和河套附近,冷空气活动影响的范围偏南偏东,华北以南和以东地区降水应该增多。

1951—1965 年夏季 850 hPa 风场上,东亚夏季风在中纬度的偏南风非常强,一直吹到中国东北地区,蒙古地区存在明显的气旋性环流,在河套附近产生风向辐合;而 1966—2008 年夏季,东亚夏季风在到达 30°N 附近风速迅速减小,很难越过长江到达华北地区,而在长江流域形成了风速辐合,河套附近辐合变得非常弱。1951—1965 年夏季华北多雨是由于东亚夏季风对水汽的有效输送和河套附近的风向辐合造成的,而 1966—2008 年夏季长江流域多雨是由于东亚夏季风在这里产生了风速辐合造成的,两地多雨的性质是不一样的。1966—2008 年华北少雨与缺乏有效的水汽来源和河套附近风向辐合减弱有关。

1951—1965 年夏季海平面气压场上,蒙古低压异常强大,而 1966—2008 年夏季蒙古低压明显减弱。1951—1965 年夏季华北多雨可能与蒙古低压强大有关,而 1966—2008 年夏季华北少雨可能与蒙古低压减弱有关。

华北夏季降水量减少不是局地现象,而是由于大气环流发生异常改变造成的。对于环流异常的原因及变化规律有待作进一步深入的研究,以便改进华北夏季降水的预测水平。

参考文献:

[1] 叶笃正,黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M]. 济南:山东科学技术出版社,1996.

[2] 郝立生,闵锦忠,姚学祥. 华北和印度夏季风降水变化的对比分析[J]. 气候变化研究进展,2007,3(5):271-275.

[3] 徐桂玉,杨修群,孙旭光. 华北降水年代际、年际变化特征与北半球大气环流的联系[J]. 地球物理学报,2005,48(3):

511-518.

[4] 杨修群,谢倩,朱益民,等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J]. 地球物理学报,2005,48(4):789-797.

[5] 谭桂容,孙照渤,陈海山. 华北夏季旱涝的环流特征分析[J]. 气象科学,2003,23(2):135-143.

[6] 建军,余锦华,荣艳淑. 华北地区降水的准周期信号及其阶段件变化特征[J]. 南京气象学院学报,2005,28(6):770-777.

[7] Huang J B, Wang S W. Instability of the teleconnection of summer rainfall between North China and India[J]. Journal of Tropical Meteorology,2007,13(1):1-7.

[8] 建军,余锦华. 登陆我国台风与华北夏季降水的相关[J]. 南京气象学院学报,2006,29(6):819-826.

[9] 李春,罗德海,方之芳,等. 北极涛动年代际变化与华北夏季降水的联系[J]. 南京气象学院学报,2005,28(6):755-762.

[10] 蔡学湛,温珍治,扬义文. 东亚夏季风异常大气环流遥相关及其对我国降水的影响[J]. 气象科学,2009,29(1):46-51.

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

[12] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化[J]. 高原气象,1999,18(4):486-495.

[13] 彭京备,陈烈庭,张庆云. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 的多尺度变化及其与中国夏季降水的关系[J]. 高原气象,2006,24(3):366-377.

[14] Fan Z Q, Liu C Z. Analysis on the process of water vapor transfer over North China during 1980-1987[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,1992,16(5):548-555.

[15] 张人禾. El Nino 盛期印度夏季风水汽输送在我国华北地区夏季降水异常中的作用[J]. 高原气象,1999,18(4):567-574.

[16] 谢坤,任雪娟. 华北夏季大气水汽输送特征及其与夏季旱涝的关系[J]. 气象科学,2008,28(5):508-514.

[17] Dai X G, Wang P, Chou J F. Multiscale characteristics of the rainy season rainfall and interdecadal decaying of summer monsoon in North China[J]. Chinese Science Bulletin,2003,48(24):2730-2734.

[18] Ding Y H, Chan J C L. The East Asian summer monsoon: An overview[J]. Meteorol Atmos Phys,2005,89(1):117-142.

[19] Ding Y H, Wang Z Y, Sun Y. Interdecadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: Observed evidences[J]. Int J Climat,2007,28(9):1139-1161.

[20] 丁一汇,刘芸芸. 亚洲—太平洋季风区的遥相关研究[J]. 气象学报,2008,66(5):670-682.

(责任编辑:倪东鸿)