

李想,高辉,赵振国,等. 2013. 东亚经圈环流年代际变化及对海河降水影响. 气象, 39(9):1119-1124.

东亚经圈环流年代际变化及对海河降水影响^{*}

李 想 高 辉 赵振国 陈兴芳

国家气候中心,北京 100081

提 要: 基于 NCEP/NCAR 和 ERA-40 两套再分析资料及中国 160 个站月降水资料,分析了海河流域夏季降水的变化特征及受东亚夏季风的影响,并定义了东亚夏季经圈环流指数,研究了东亚夏季风的年际和年代际气候变化特征及与海河流域夏季降水的关系。结果表明:近 30 年来,夏季东亚地区对流的低层和高层的西风均呈现反位相的变化特征,同时东亚地区对流的低层南风分量异常减弱,中低纬度的经圈环流也呈现减弱趋势,夏季风的强度随之减弱,不利于夏季雨带向北推进。文中定义的东亚夏季经圈环流指数与海河流域夏季降水存在显著的正相关关系,说明经圈环流指数值越大,东亚经圈环流强度越强,利于夏季东亚季风向北推进,从而使海河流域夏季降水偏多。反之,当东亚夏季风偏弱时,东亚经圈环流也偏弱,不利于海河流域降水偏多。本文结果表明,东亚经圈环流的年代际减弱是海河流域近 30 年处于少雨期的一个直接原因。

关键词: 海河, 夏季风, 降水, 东亚经圈环流

中图分类号: P461

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.09.005

Decadal Variation of East Asian Summer Meridional Circulation and Its Influence on Precipitation over Haihe River Basin

LI Xiang GAO Hui ZHAO Zhenguo CHEN Xingfang

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Decadal variations of the East Asian summer monsoon and the summer precipitation are investigated by using the NCAR/NCAP and ERA-40 reanalysis dataset and the monthly rainfall data at 160 Chinese stations during 1951–2010. For better illustration, an East Asian summer meridional circulation index (EASMCI) is defined in this paper and its relationship with the summer precipitation over the Haihe River Basin is analyzed as well. Results indicate that the westerly winds at both the lower and the higher troposphere in East Asia show anti-phase variations since the 1980s. Results also indicate the meridional wind speed at lower troposphere and the EASMCI have decreased in recent 30 years, weakening the summer monsoon and blocking the northward movement of the summer rain belt. Statistical analysis shows a significant positive correlation between the summer precipitation over the Haihe River Basin and the EASMCI. Under the positive phase of the index, the East Asian summer meridional circulation is strengthened and accelerates the south wind to blow more northward, favoring the summer precipitation over the basin. However, under the negative phase of the index, the precipitation is less. In a word, the results in this paper demonstrate that the decadal weakening of the EASMCI is possibly a direct reason for the decrease of the precipitation over the Haihe River Basin in recent 30 years.

Key words: Haihe River Basin, summer monsoon, precipitation, East Asian meridional circulation

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306033),科技部国际合作项目(2009FDA23010)和国家自然科学基金项目(41005037)共同资助
2012 年 12 月 24 日收稿; 2013 年 7 月 4 日收修定稿
第一作者:李想,主要从事气候监测预测研究. Email: lxiang@cma.gov.cn

引 言

海河流域东邻渤海,西倚太行,南界黄河,北接蒙古高原,是华北地区工、农业重要的用水来源。受夏季风影响,其降水年际变率大,旱涝灾害时有发生。近 50 年来,由于年降水量减少导致年径流量显著减少,使得水供应量形势紧张(张建云等,2007)。尤其是近十多年,受流域内北京、天津等大城市经济飞速发展和人口膨胀的影响,用水量日益增加。因此,海河流域的旱涝灾害已成为气象工作者重要的研究课题之一。研究表明,海河流域夏季总降水量和总降水小时数以及长、短历时降水量均呈减少趋势(殷水清等,2012;周兵等,2012)。

华北地区夏季降水极易受到夏季风强弱的影响。早在 1934 年,竺可桢(1934)就对夏季风进退及其与我国降水的关系进行了研究。其后涂长望等(1944),陶诗言等(1957)、叶笃正等(1958)等老一辈气象学家都做了深入分析。20 世纪 80 年代以来,越来越多的气象工作者从不同的角度深化了这一研究(李聪等,2012;石文静等,2013),这已成为现阶段预报预测业务和研究中重要的领域之一。

除年际变化外,东亚夏季风也具有较强的年代际变化特征(王绍武等,1999;Xue,2001)。近半个世纪,最典型的突变发生在 20 世纪 70 年代中期,该时段前后大气环流和北太平洋海温等均发生了突变(Graham,1994;李崇银等,1999;袁佳双等,2005)。与之相对应,东亚夏季风也在该时期发生了显著突变。李峰等(2000)分析了东亚夏季风和北太平洋海温的关系,指出两者之间相互作用存在着年代际变化特征。之前的众多分析集中在东亚夏季风的结构、性质以及与海温等外强迫因子的联系上,本文拟从东亚经圈环流角度研究东亚夏季经向和纬向风场的变化,进而揭示东亚夏季风年代际变化特征,并借鉴郭其蕴(1983),赵汉光等(1996),张庆云等(2003)和施能(1996)定义季风指数的方法定义了东亚经圈环流指数。该指数通过计算对流层高层和低层经向风差来表征东亚夏季经圈环流的强度,并初步探讨了东亚经圈环流指数与海河流域夏季降水的联系。

1 资料和东亚经圈环流指数定义

本文采用美国 NCEP/NCAR 1951—2010 年风

场和比湿场逐月再分析资料,该资料垂直空间层为 1000~10 hPa 共 17 层,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度网格。另外,本文还采用了 ERA-40 再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度网格,资料长度为 1958—2002 年。1951—2010 年中国 160 个站月降水资料由中国气象局国家气候中心提供。

为量化表示经圈环流强度,定义($10^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$)区域平均的 850 和 100 hPa 的标准化经向风的风速差作为东亚经圈环流指数。关于该指数详细说明见本文第三部分。

2 海河流域降水的变化趋势及其与经圈环流关系

受季风气候影响,海河流域降水量年内分配极不均匀,全年降水量主要集中在夏季(6—8 月),其多年平均(1981—2010 年)夏季降水量为 329 mm,占全年降水量的 65% 左右。从近 60 年海河流域夏季降水量(图 1)的演变曲线上不难发现,海河流域夏季降水在 20 世纪 80 年代发生了突变,在 80 年代之前降水明显偏多,之后则大为减少。统计表明,海河降水的减少趋势通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

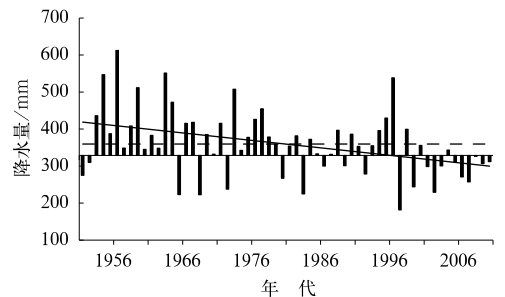


图 1 1951—2010 年海河流域夏季降水量演变曲线(直方图,单位:mm)及其线性趋势(粗实线)和研究时段内平均值(虚线)

Fig. 1 Interannual variations of summer precipitation (histogram, unit: mm) over the Haihe River Basin during 1951—2010 and the linear trend (solid line) and the average values within the study period (dashed line)

海河流域夏季降水和源自热带的经向水汽输送或经向风有密切联系。当低层南风分量偏强时,其降水易偏多,反之偏少。图 2 为其降水量与 850 hPa 经向风的线性相关。相关结果验证了已有工作成

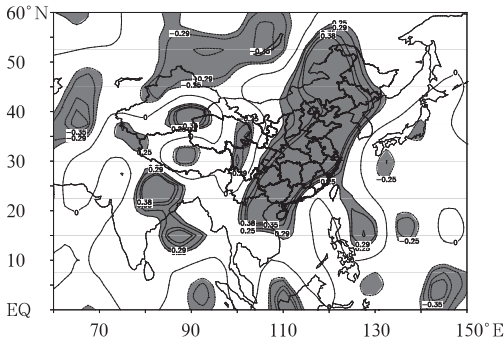


图 2 海河流域夏季降水与 850 hPa 经向风相关 (阴影区域通过了 $\alpha=0.10$ 的显著性水平检验)
 Fig. 2 Correlation coefficients between summer precipitation over Haihe River Basin and meridional wind speed at 850 hPa (Values exceeding the significance test at the level $\alpha=0.10$ are shaded)

果。在我国东部地区,除东南沿海局部外,其他地区均为通过了 $\alpha=0.10$ 的显著性水平检验的显著高相关区。这也表明,海河流域夏季降水的变化可能是由于东亚地区大气环流尤其是经向环流发生了明显的异常变化所导致。因此有必要对东亚地区大气环流的年代际变化进行研究,以便找出海河流域夏季降水在 20 世纪 80 年代发生转折的原因。

亚洲大气环流并非孤立系统,其和高低层环流都有一定联系。为此,分别计算了 1981—2010 年和 1951—1980 年的高、低层经、纬向风场差值(图 3)。在对流层低层,我国大陆上空大部分地区以负距平为主,说明近 30 年上述地区夏季西风分量较之前明显减弱。100 hPa 的风场差值结果与低层差值结果基本相反,在 45°N 以北地区,近 30 年西风分量有所减弱,而在以南地区西风分量明显加强。

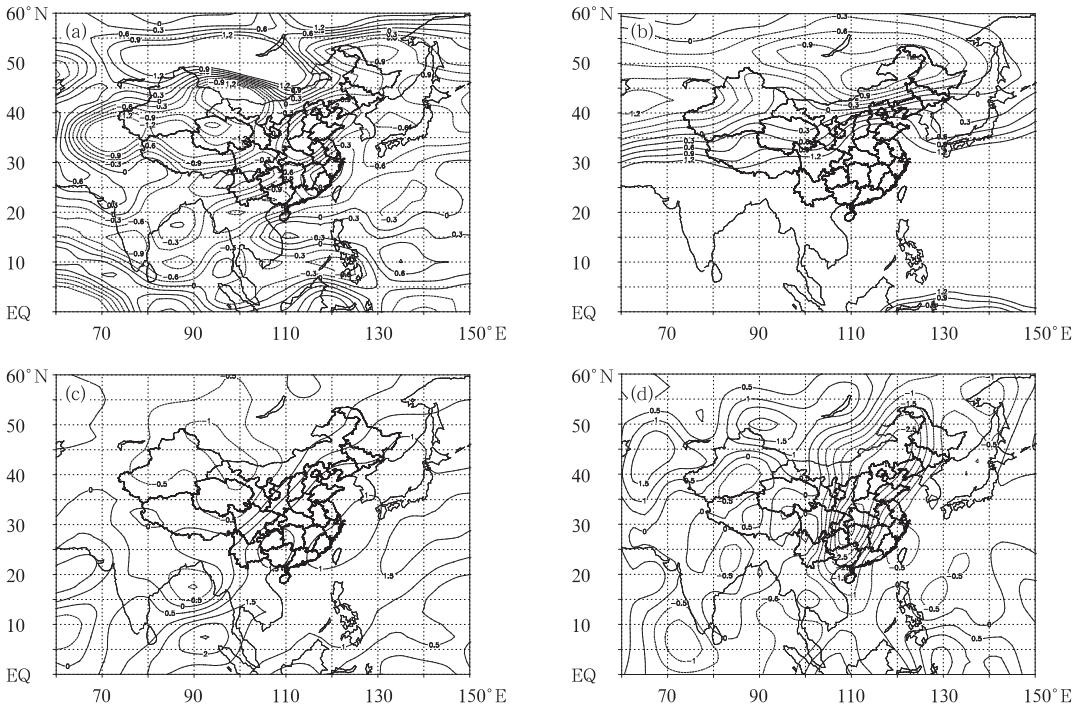


图 3 1981—2010 年与 1951—1980 年夏季平均风场差值(单位: $m \cdot s^{-1}$)

(a) 850 hPa 纬向风, (b) 100 hPa 纬向风, (c) 850 hPa 经向风, (d) 100 hPa 经向风
 Fig. 3 Difference of the summer mean wind speeds between 1981—2010 and 1951—1980 (a) zonal wind at 850 hPa, (b) zonal wind at 100 hPa, (c) meridional wind at 850 hPa, (d) meridional wind at 100 hPa

在经向风差值场上,对流层低层,我国东部地区在近 30 年南风分量减弱的异常明显,表明这一时期对流层低层东亚夏季风有所减弱,不利于夏季雨带向北推进,易使夏季多雨区位于我国大陆的南方。

对于对流层高层,我国东部大部分地区为广大的正值区,而西部地区为负值区,说明后一时段中国东部地区对流层高层南风分量有所加强,而西部地区的北风分量逐渐增强。

3 东亚夏季经圈环流的年际和年代际变化

图 4 给出了沿 120°E 的夏季经向风纬度-时间剖面。图中显示对流层低层,夏季 850 hPa 高度南风分量随时间呈现明显的年代际变化趋势,在 20 世纪 60 年代和 70 年代,南风分量的影响范围要明显偏北,之后,到了 20 世纪 80 年代,南风分量的影响范围和强度较前期明显偏弱、偏南,90 年代之后,南风分量的影响较 80 年代略有增强。南风分量中心强度和影响范围的变化特征可能与我国北方地区夏季降水偏少有紧密的联系。

从气候上来说,7 月是长江流域梅雨结束、北方

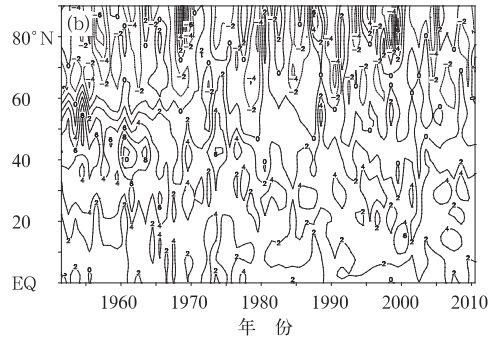
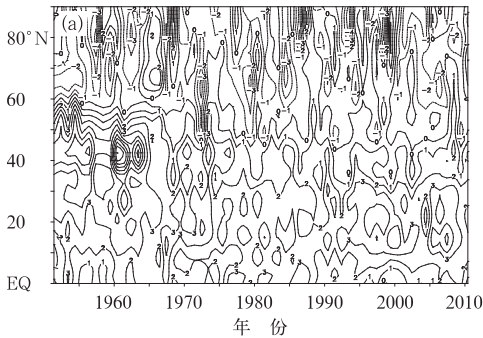


图 4 夏季(a)和 7 月(b)850 hPa 沿 120°E 的经向风纬度-时间剖面(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 4 Latitude-time cross section of the meridional wind speed at 850 hPa along 120°E in summer (a) and in July (b) (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

前面已指出,海河流域夏季降水与东亚地区 850 hPa 经向风场存在显著的正相关关系。图 3 和图 4 又揭示了 20 世纪 80 年代之后东亚夏季风逐渐减弱,影响范围也较之前偏南,尤其是经圈环流的强度减弱和位置偏南。为了量化表示经圈环流的强度,定义($10^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$)区域平均的 850 和 100 hPa 的标准化经向风的风速差作为东亚经圈环流指数。指数值越大,说明经圈环流越强,东亚夏季风越强,反之则表示经圈环流越弱,东亚夏季风也越弱。图 5 是 1951—2010 年夏季东亚经圈季风指数的标准化序列。从图可见,东亚夏季经圈季风指数具有显著的年际和年代际变化,20 世纪 80 年代之前东亚夏季经圈环流处于年代际偏强阶段,之后则处于年代际偏弱阶段。将该曲线序列与我国 160 个站夏季降水做相关分析(图略),发现该曲线的演变趋势与我国东部夏季降水存在一定的相关关系,

进入主汛期的月份,当 7 月季风雨带北上推迟时,长江流域梅雨结束明显偏晚,我国北方地区的雨季就来得晚,导致 7 月降水分布出现南多北少的趋势,反之,就出现南少北多的分布趋势。从图 4b 可以看出,在 20 世纪 70 年代末期之前,南风分量呈现南北两个中心区域,在 60 年代中期之前北方中心的强度还强于南方中心,同时南风影响范围能达到 50°N 甚至更北地区;到了 70 年代末期,南风的南北两个中心逐渐合并,其强度较前期明显减弱,中心位置基本上在 30°N 以南地区;到了 90 年代末期开始,南风的中心逐渐形成南北两个中心,北部中心的位置较前期有所北抬,影响的范围也逐步向北推进。这一结果和图 3 所揭示的年代际变化特征一致。

尤其是在海河流域、黄河中下游地区以及淮河流域存在明显的正相关关系,相关关系通过了 $\alpha=0.10$ 的显著性水平检验。进一步分析了东亚经圈环流指

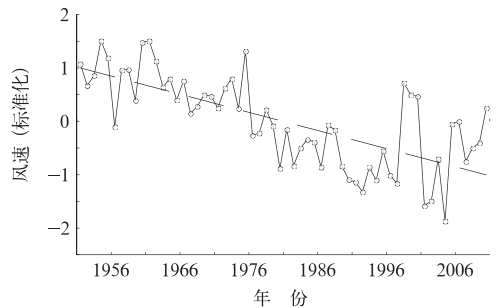


图 5 夏季经圈环流指数年际变化图 (虚线为线性趋势)

Fig. 5 Interannual variation of meridional circulation index (solid line with open circles) and its linear trend (dashed line) in summer

数与海河降水的相关,相关系数为 0.28,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。说明经圈环流指数值越大,东亚经圈环流强度偏强,越有利于夏季东亚季风向北推进,从而使海河流域夏季降水偏多。反之,经圈季风指数值越小,表明东亚经圈环流强度越弱,不利于东亚夏季风向北推进,导致上述地区夏季降水偏少。

图 6 是两个时段的水汽输送通量。在前一个时段,东亚夏季风偏强,有利于水汽向海河流域输送,使海河流域上空大气中水汽含量明显偏多,为海河流域的降水提供了较好的水汽条件,使该地区这一

时期内的降水明显偏多。从环流场形势来看,海河地区的水汽主要来源于东亚夏季风,暖湿气流被西南气流输送至海河流域,使海河流域大气中的可降水量增加。这是海河流域的主要水汽来源(图 6a)。而在后一个时段,海河流域的水汽通量变化以及导致该区域降水减少的环流因素发生了明显改变。显然,这一时期内,东亚夏季风偏弱,不利于水汽向海河流域上空输送,导致大气中的水汽含量明显偏少,暖湿的西南气流也被干燥的偏西气流替代,这一环流形势不利于海河流域的降水增加,因而在这段时期内,海河流域的降水明显减少(图 6b)。

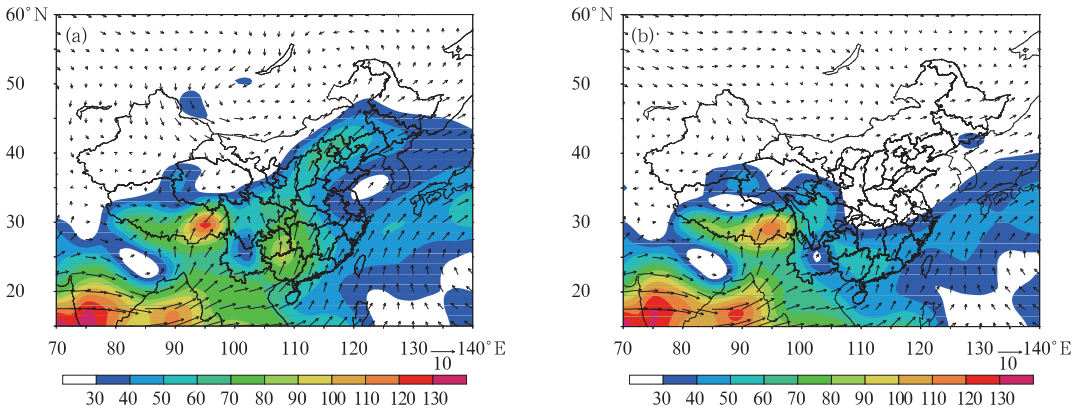


图 6 850 hPa 多年平均的夏季水汽通量(单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$)变化与风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a) 1951—1980 年; (b) 1981—2010 年

Fig. 6 Variation of summer mean water vapor flux (shaded bar, unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$) and the wind (vector, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 850 hPa in 1951—1980 (a) and in 1981—2010 (b) respectively

4 与 ERA-40 资料的比较

文中上述分析都是基于 NCEP/NCAR 资料的结果,为了证实以上结果的真实性和正确性,本文利用 ERA-40 资料做了相同的分析,但由于 ERA-40 资料时间长度较短,本文取 1958—2002 年与 NCEP/NCAR 结果进行比较。分析结果表明,两套资料虽然在空间场上的分布存在一些差异,但在本文所研究的对海河流域夏季降水关系密切的东亚夏季风区差异很小,更主要的是针对本文的研究内容,两套资料的分析结果比较一致。限于篇幅,这里仅给出利用海河流域夏季降水与 ERA-40 的经向风场相关(图 7a),同时,利用上文的东亚经圈环流指数的定义方法,采用 ERA-40 资料计算了 1958—2002 年东亚经圈环流指数与 NCEP/NCAR 结果进行比较(图

7b)。将图 7a 与图 2 相比较,图中阴影部分表示通过了 $\alpha=0.10$ 的显著性水平检验。对比两张图不难发现,海河流域夏季降水和我国东部地区经向风呈现显著正相关关系,两套资料分析结果的差异仅仅在于正相关显著区域在华南地区有所差异。另外,利用 ERA-40 资料计算的夏季经圈环流指数表明,东亚夏季经圈环流指数具有显著的年际和年代际变化特征,这与上文利用 NCEP/NCAR 的结果是一致的,计算两套资料计算出的指数序列相关,相关系数为 0.70,通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性水平的 t 检验。综合来看,ERA-40 资料和 NCEP/NCAR 资料都能共同表现出东亚夏季经圈环流的年际和年代际变化特征。

5 结 论

基于 NCEP/NCAR 和 ERA-40 两套再分析资

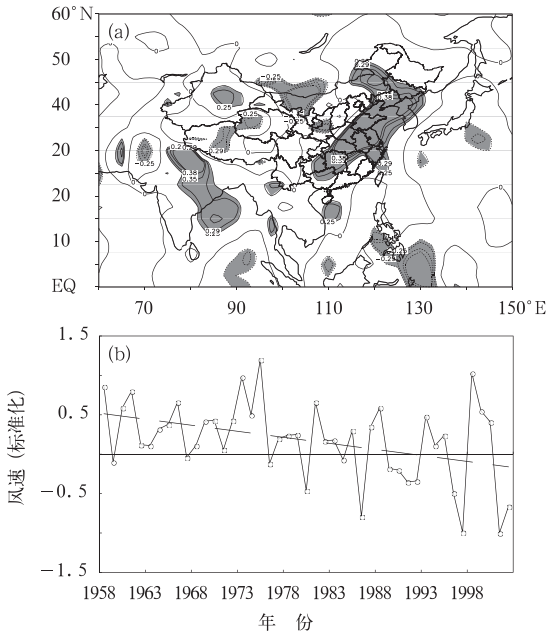


图 7 ERA-40 资料得到的海河流域夏季降水与 850 hPa 经向风相关(a)和夏季经圈环流指数年际变化(b)

Fig. 7 Correlation coefficients between the summer precipitation over Haihe River Basin and meridional wind speed at 850 hPa level (a) and interannual variation of meridional circulation index (b) (solid line with open circles) and its linear trend (dashed line) in summer based on ERA-40 data

料及中国 160 个站降水资料,分析了夏季海河流域降水的变化特征及受东亚夏季风的影响,并定义了东亚夏季经圈环流指数,研究了东亚夏季风的年际和年代际气候变化特征及与海河流域夏季降水的关系。统计分析结果表明,近 30 年来,东亚 45°N 以南地区对流层低层夏季西风分量明显减弱,高层西风分量则明显加强,东亚 45°N 以北地区则呈现相反的变化趋势。同时,东亚地区对流层低层南风分量异常减弱,中低纬度的经圈环流也呈现减弱趋势,夏季风的强度随之减弱,其影响范围也逐渐偏南,不利于夏季雨带向北推进。

研究还表明,东亚夏季经圈环流指数具有显著的年际和年代际变化特征,近 30 年处于年代际偏弱阶段,之前则处于偏强阶段。东亚夏季经圈环流指数与海河流域夏季降水存在显著的正相关关系,说明经圈季风指数值越大,东亚经圈环流强度偏强,利于夏季东亚季风向北推进,从而使海河流域夏季降

水偏多。反之,当东亚夏季风偏弱时,东亚经圈环流也偏弱,进入海河流域的水汽明显减少。因此,东亚经圈环流的年代际减弱是海河流域近 30 年处于少雨期的一个直接原因。这一结果可为海河流域的短期气候预测提供一定的参考信息。

致谢:感谢中国气象局短期气候预测国家级创新团队提供的技术指导。

参考文献

- 郭其蕴. 1983. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析. 地理学报, 38(3):207-216.
- 李聪, 肖子牛, 张晓玲. 2012. 近 60 年中国不同区域降水的气候变化特征. 气象, 38(4):419-424.
- 李崇银, 李桂龙, 龙振夏. 1999. 中国气候年代际变化的大气环流形势对比分析. 应用气象学报, 10(增刊):1-8.
- 李峰, 何金海. 2000. 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化. 热带气象学报, 16(3):260-271.
- 施能. 1996. 近 40 年东亚冬季风强度的多时间尺度变化特征及其与气候的关系. 应用气象学报, 7(2):175-182.
- 石文静, 肖子牛. 2013. 近 60 年索马里急流越赤道水汽输送的变化特征及对中国初夏降水的影响. 气象, 39(1):39-45.
- 陶诗言, 陈隆勋. 1957. 夏季亚洲大陆上空大气环流的结构. 气象学报, 28(3):234-247.
- 涂长望, 黄士松. 1944. 中国夏季风之进退. 气象学报, 18(1):81-92.
- 王绍武, 朱锦红. 1999. 几个方兴未艾的气候学问题. 应用气象学报, 10(增刊):104-113.
- 叶笃正, 朱报真. 1958. 大气环流的若干基本问题. 北京:科学出版社, 159pp.
- 殷水清, 高歌, 李维京, 等. 2012. 1961—2004 年海河流域夏季逐时降水变化趋势. 中国科学:地球科学, 42(2):256-266.
- 袁佳双, 郑庆林. 2005. 热带海表温度持续异常对东亚初夏大气环流的影响. 气象, 31(12):10-17.
- 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 2007. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究. 水科学进展, 18(2):230-234.
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. 气象学报, 61(4):559-568.
- 赵汉光, 张先恭. 1996. 东亚季风和我国夏季雨带的关系. 气象, 22(4):8-12.
- 竺可桢. 1934. 东南季风与中国之雨量. 地理学报, 1:1-27.
- 周兵, 王晓敏, 刘秋峰, 等. 2012. 2011 年 7 月七大江河流域气候特点及降水异常成因分析. 气象, 38(5):608-614.
- Graham N E. 1994. Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: Observations and model results. Climate Dyn, 9:135-162.
- Xue Feng. 2001. Interannual to interdecadal variations of East Asian summer monsoon and its association with the global atmospheric circulation and sea surface temperature. Adv Atmos Sci, 18:567-575.