

汪靖, 吕江津. 天津地区雨季降水异常年大气环流特征分析[J]. 气象, 2011, 37(8): 950-955.

# 天津地区雨季降水异常年大气环流特征分析<sup>\*1</sup>

汪 靖<sup>1</sup> 吕江津<sup>2</sup>

1 天津市气象台, 天津 300074

2 天津市气象局, 天津 300074

**提 要:** 利用 1958—2009 年天津地区和中国 160 站月总降水资料以及 NCEP/NCAR 月平均再分析数据资料集, 采用相关分析和合成分析, 分别研究了天津地区雨季降水的变化特征以及异常年同期(7—8 月)和前期(前一年 12 月至当年 6 月)大气环流的特征。结果表明: 天津地区的降水大部分集中于雨季且雨季降水存在着年际变化和年代际变化。天津地区雨季降水偏多年同期, 西太平洋副热带高压主体偏北, 天津地区西北部有低值系统发展, 对流层低层有正涡度发展, 辐合上升运动较强, 南亚高压和高空副热带西风急流偏北, 西南暖湿气流输送较强; 雨季降水偏少年同期情况正好相反。此外, 天津地区雨季降水与前期夏季 6 月 SAM(南半球环状模)存在显著的反相关关系, 这为天津地区雨季降水的短期气候预测提供了有参考意义的前兆信号。

**关键词:** 雨季降水, 大气环流异常, SAM, 短期气候预测

## Analyses of the Atmospheric Circulation Characteristics over Tianjin Area in the Years of Anomalous Precipitation in Rainy Season

WANG Jing<sup>1</sup> LV Jiangjin<sup>2</sup>

1 Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074

2 Tianjin Meteorological Service, Tianjin 300074

**Abstract:** Based on the 1958—2009 monthly total precipitation data of 4 stations over Tianjin area, 160 stations over China and the NCEP/NCAR reanalysis data set, the variation characteristics of precipitation over Tianjin area and atmospheric circulation features in the same term of July to August as well as in the previous months from the preceding December through June for the anomalous years are investigated respectively by employing the simple correlation and composite analysis. The results show that the precipitation over Tianjin area is mainly concentrated in the rainy season. There exist interannual and interdecadal variations about the rainfall in rainy season. During the simultaneous term of the more precipitation years, the western Pacific subtropical high lies more northward, the low value systems develop on the northwest side of Tianjin area. Positive vorticity develops in the lower troposphere and the convergence ascending movement is more intense accordingly. The South Asia high and the subtropical upper westerly jet lie more northward. Meanwhile, warm and wet flow coming from southwest is stronger. For the less precipitation years the situations are just opposite. Additionally, there is a significant negative correlation between the precipitation and SAM (Southern Hemisphere Annular Mode) in the preceding June, which provides meaningful references for the short-term climate prediction of precipitation over Tianjin area.

**Key words:** precipitation in rainy season, general circulation anomalies, SAM (Southern Hemisphere Annular Mode), short-term climate prediction

\* 天津市科技计划项目(07ZCGYSF03300)资助

2010 年 7 月 18 日收稿; 2010 年 12 月 18 日收修定稿

第一作者: 汪靖, 主要从事天气预报技术研究. Email: nuistwangjing@163.com

## 引 言

中国夏季气候受东亚夏季风的影响显著<sup>[1-7]</sup>,华北雨季的形成与东亚夏季风季节性北进密切相关<sup>[8-9]</sup>。天津地区地处华北平原东北部,是环渤海湾的中心,东临渤海,是华北经济发达城市。随着滨海新区的开发以及天津地区的持续性干旱<sup>[10]</sup>,人们越来越关注天津地区的气候异常。研究表明<sup>[11-12]</sup>,干旱是最复杂而且又是被人们了解得最少的自然灾害,它对人类所造成的灾害要远远超过其他的自然灾害。干旱问题导致天津地区降水匮乏,严重影响了社会经济的发展和人民生活水平的提高。因此,深入研究天津地区降水的变化及进行降水的短期气候预测有利于天津地区经济的发展,有助于南水北调工程发挥其最佳的经济效益,具有重要的社会经济意义。

前人对华北地区夏季降水的相关问题已有了一定研究。黄荣辉等<sup>[13]</sup>研究了华北地区夏季降水的变化趋势并指出:20世纪80年代以后华北干旱化日趋严重,水资源严重减少。宋正山等<sup>[14]</sup>和张庆云<sup>[15]</sup>认为华北地区夏季降水存在显著的年际和年代际变化特征。周连童等<sup>[16]</sup>将华北地区划分为京津唐地区、胶东地区、华北中南部和华北西部地区,并详细分析了各个分区水资源的变化特征。

然而,从上述研究结果来看,前人的研究主要侧重于华北地区夏季降水的时空变化特征,对华北地区特别是天津地区雨季降水异常年前期及同期大气环流异常特征的研究相对较少。天津地区雨季降水异常年前期及同期大气环流异常特征是什么?天津地区雨季降水短期气候预测的前兆信号有没有?若有,是什么?鉴于上述研究的重要社会经济意义,因此,本文在资料分析的基础上,对上述问题作进一步探讨,为天津地区雨季降水的短期气候预测提供科学的参考依据。

## 1 资料和方法

挑选天津地区具有代表性且时间序列长的4个观测站:天津(代表中部)、蓟县(代表北部)、塘沽(代表东南部)和西青(代表西南部)。由于各站的建站时间不统一,所以选取上述4站的共有年份,即1958—2009年。

本文使用1958—2009年上述4站和中国160

站月降水资料以及NCEP/NCAR月平均再分析数据资料集<sup>[17]</sup>。主要采用的方法为相关分析<sup>[18-19]</sup>和合成分析。

## 2 天津地区降水的变化特征

图1给出了1958—2009年天津地区的天津、蓟县、塘沽和西青月降水总量的逐月变化。由图1可见,天津地区的降水主要集中于夏季。受东亚夏季风向北推进的影响,华北雨季一般发生在每年的7—8月<sup>[20]</sup>,计算后发现天津地区雨季降水量在平均状况下占全年的59%,有着较大的比重,因此,天津地区7—8月的降水量在很大程度上决定了全年的降水量。

图2是天津地区雨季(7—8月)降水量 $P$ 的年际变化,其中降水的平均值为339.9 mm,均方差为119.9 mm。由图2可见,降水最多的年份为1978

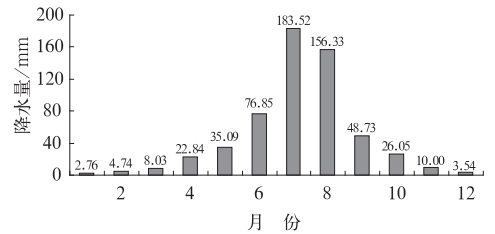


图1 1958—2009年天津地区降水量的逐月变化(单位:mm)

Fig. 1 Monthly variation of 50-year mean precipitation in Tianjin area during 1958—2009 (unit: mm)

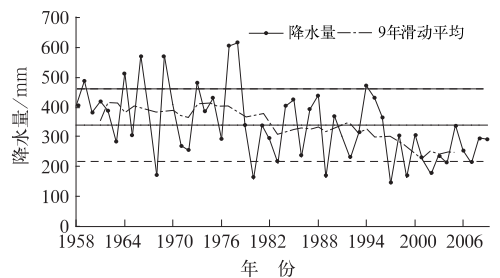


图2 1958—2009年天津地区雨季降水量的年际变化

单位:mm,水平实线表示时间序列的平均值,水平虚线表示时间序列的均方差,点划线为9年滑动平均曲线

Fig. 2 Time series of yearly mean precipitation in rainy season over Tianjin area during 1958—2009

The mean value for the time series is indicated by a horizontal solid line. The parallel dashed lines represent the standard deviation and the dash-dotted line the 9-year running mean (unit: mm)

年(616.2 mm),降水最少的年份为 1997 年(142.7 mm),两者竟相差 473.5 mm。由此可见,天津地区雨季降水存在着年际变化,这和张庆云<sup>[15]</sup>的研究结果相一致。从图 2 滑动平均曲线可见,降水偏多年集中于 1980 年以前,而降水偏少年集中于 1980 年以后,天津地区雨季降水还存在一定的年代际变化。

### 3 天津地区雨季降水异常年(7—8 月)大气环流背景特征

为探讨天津雨季降水异常与大尺度大气环流的关系,先给出天津地区雨季降水与同期中国 160 站降水量的相关分布(图 3)。图 3 阴影部分为通过 0.001 的显著性水平检验的区域,表明雨季降水与天津地区雨季降水有高度一致的同位相关性,我们称之为广义的天津地区,简记为 A 区域。由图 3 可见,160 站中除了天津以外,A 区域中还有北京、承德、朝阳、张家口和太原 5 个站。

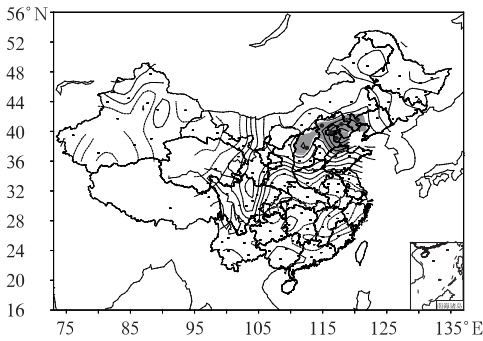


图 3 1958—2009 年天津地区雨季降水序列与同期中国 160 站降水量的相关系数分布阴影表示通过 0.001 的显著性水平检验的区域,图中黑色圆点表示 160 站中位于阴影内的站点

Fig. 3 Correlation coefficients between precipitation in rainy season over Tianjin area and the simultaneous precipitation of 160 weather stations across China for 1958–2009

The regions with 0.001 significance level are shaded and the black dots denote the stations within the shaded area

为获取更为客观的信息和研究结论,根据上述 5 个站雨季降水和天津地区雨季降水平均值(记为  $R$ )的年际变化(图 4)来研究 A 区域雨季降水异常年大尺度大气环流系统特征因子。本文将  $R$  大于平均值一个标准差的年份定义为降水偏多年,反之为降水偏少年。由图 4 可见,降水偏多年份为 1959、1964、1966、1969、1973、1978、1985、1994 和 1996 年;降水偏少年份为 1968、1980、1989、1997、

1999、2002、2003 和 2006 年。降水偏多年和偏少年统称为降水异常年。值得注意的是,从图 4 滑动平均曲线可见,绝大多数降水偏多年集中于 1980 年以前,而绝大多数降水偏少年集中于 1980 年以后,A 区域雨季降水和天津地区雨季降水有着相同的年代际变化特征,这可能与 20 世纪 70 年代末大气环流突变<sup>[21]</sup>有关。

图 5 为  $R$  序列与同期 500 hPa 位势高度场的相关系数分布,由图可见,在朝鲜半岛至日本群岛中南部一带存在一个显著正相关区。除了这一显著正相关区域以外,A 区域西北部的中高纬广大区域为显著负相关区所控制,显著负相关中心位于贝加尔湖和蒙古一带,这一负相关中心与上述正相关中心构成一个西北—东南方向的跷跷板结构,A 区域正好位于正负显著相关区域的过渡区域。上述结构表

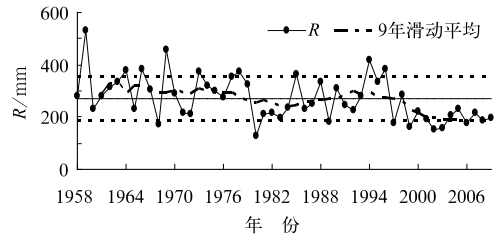


图 4 1958—2009 年 A 区域雨季降水量平均值的年际变化

单位: mm, 水平实线表示时间序列的平均值, 水平虚线表示时间序列的均方差, 点划线为 9 年滑动平均曲线

Fig. 4 Time series of yearly mean  $R$  (rainfall averaged over A region) in rainy season during 1958–2009

The mean value for the time series is indicated by a horizontal solid line. The parallel dashed lines represent the standard deviation and the dash-dotted line the 9-year running mean (unit: mm)

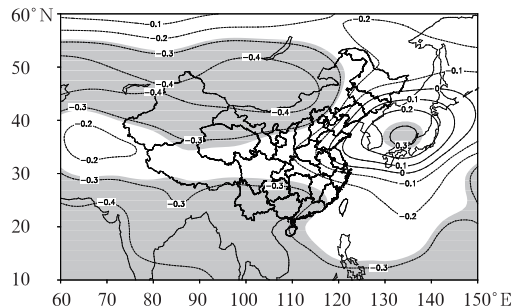


图 5 1958—2009 年  $R$  序列与同期 500 hPa 位势高度场的相关系数分布阴影区表示通过 0.05 的显著性水平检验区域

Fig. 5 Correlation coefficients between  $R$  and the simultaneous 500 hPa geopotential height the regions with 0.05 significance level are shaded

明,雨季降水偏多年,副高主体的位置偏北,主体位于朝鲜半岛至日本群岛中南部一带,并且天津及周边区域西北部有低值系统发展,冷暖空气在天津及周边区域交汇,这一带降水增多;反之,副高处于偏南的位置,冷暖空气不易在 A 区域交汇,降水因而偏少。

计算了 A 区域雨季降水异常年 850 hPa 合成相对涡度差值场(图 6)。由图可见,降水偏多年,A 区域为一个正相对涡度差值中心所控制,低层正涡度中心常常伴随着低层辐合及其上方上升运动的加强,使得该区域在雨季辐合上升运动较强,有利于 A 区域降水的增加;反之,辐散下沉运动明显,这种形势有利于降水减少。

位于亚洲南部上空的南亚高压是亚洲夏季风系统的一个重要成员,空间尺度大且稳定,与北半球大气环流和亚洲天气气候密切相关。图 7 给出了天津地区雨季降水异常年 100 hPa 合成位势高度场。如图所示,降水偏多年,中纬度亚欧大陆一直到西太平洋地区为大范围正差值区所控制,30°N 以南亚欧大

陆低纬地区为大范围负差值区。从图 7 中还可以看出,降水偏多年,有利于南亚高压出现东部环流型,高压异常中心位于山东半岛北部至朝鲜半岛上空,南亚高压位置偏北,高空副热带西风急流同样偏北,这恰好与 500 hPa 副高位置偏北相匹配(图 5);降水偏少年,南亚高压位于 30°N 以南亚欧大陆低纬地区,高空副热带西风急流相应偏南,这种形势副高位置偏南。上述分析与陶诗言等<sup>[22]</sup>提出的南亚高压和副高的异常南北变动情况相一致。

研究表明<sup>[23-25]</sup>,华北雨季的降水量与东亚夏季风向华北推进过程中带来的偏南暖湿水汽输送量密切相关。从图 8 可以看出,雨季降水偏多年,A 区域对层流低层存在强劲的西南水汽输送差值,降水因而充沛;降水偏少年情形正好相反,A 区域对层流低层为相对干冷的东北气流所覆盖,降水因而偏少。

从 700 hPa 合成垂直速度差值场(图 9)可以看出,降水偏多年,A 区域为显著的负差值区所控制,这表明了低层上升运动较强,较强的上升运动为 A 区域降水偏多提供了必要的动力条件;降水偏少年,情况正好相反,低层下沉运动明显,这不利于 A 区域降水增加。

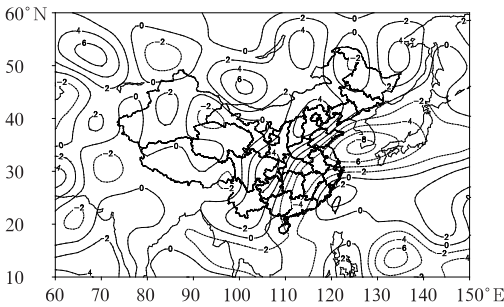


图 6 A 区域雨季降水异常年同期 850 hPa 合成相对涡度差值场  
降水偏多年减去降水偏少年(单位:  $10^{-6} \text{ s}^{-1}$ )  
Fig. 6 The composite 850 hPa relative vorticity difference of the simultaneous July to August between more and less precipitation years in A region (unit:  $10^{-6} \text{ s}^{-1}$ )

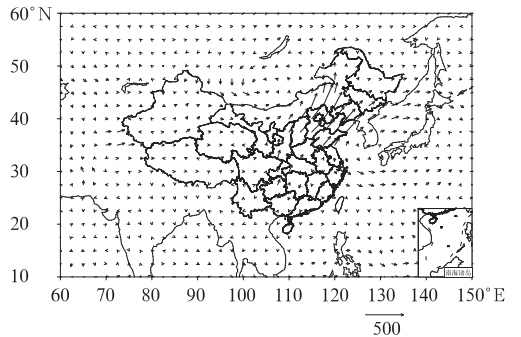


图 8 同图 6,但为同期 850 hPa 合成水汽输送差值场(单位:  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
Fig. 8 Same as Fig. 6, but for the 850 hPa water vapor transport (unit:  $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

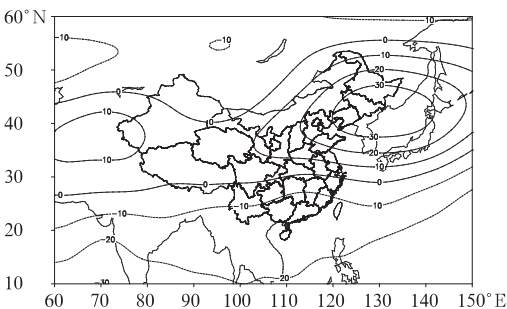


图 7 同图 6,但为同期 100 hPa 合成位势高度差值场(单位: gpm)  
Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the 100 hPa geopotential height (unit: gpm)

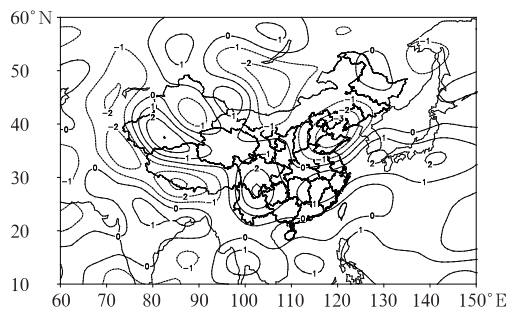


图 9 同图 6,但为同期 700 hPa 合成垂直速度差值场(单位:  $10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
Fig. 9 Same as Fig. 6, but for the 700 hPa vertical velocity (unit:  $10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

## 4 天津地区雨季降水异常与前期(12月至翌年6月)大气环流异常的关系

为了探讨 A 区域雨季降水异常年前期大气环流的异常特征,我们先计算了 1958—2009 年 A 区域雨季降水序列与前期冬季(前一年 12 月到当年 2 月)、前期春季(当年 3—5 月)和当年 6 月南方涛动指数(SOI)<sup>[26]</sup>、北大西洋涛动指数(NAO)<sup>[27]</sup>、北太平洋涛动指数(NPO)<sup>[28]</sup>以及北半球环状模(NAM)指数<sup>[29]</sup>和南半球环状模(SAM)指数<sup>[30]</sup>等大气环流涛动指数的相关(表 1),上述指数来源于网站: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>。由表 1 可见, A 区域雨季降水异常与前期夏季 6 月

SAM 的相关性最强,相关系数达到  $-0.41$ ,通过了  $0.01$  的显著性水平检验。上述分析表明,前期 6 月 SAM 偏弱(强)时, A 区域雨季降水很有可能偏多(少)。

SAM 即南极涛动,实质上表征了南半球极地到高纬  $60^{\circ}\text{S}$  附近与中纬度  $45^{\circ}\text{S}$  附近南北向之间大尺度的质量交换<sup>[31]</sup>。为进一步揭示前期 6 月 SAM 与天津及周边区域雨季降水异常的关系,我们给出了前期 6 月 A 区域雨季降水偏少年与雨季降水偏多年海平面气压场的合成差值(图 10)。由图可见,降水偏少年,  $45^{\circ}\text{S}$  附近和  $70^{\circ}\text{S}$  附近海平面气压呈现“跷跷板”式的反相关变化,表明:降水偏少年,南半球中纬度和高纬度地区气压梯度较大, SAM 因而偏强;反之,降水偏多年,南半球中纬度和高纬度地区气压梯度较小, SAM 偏弱。

表 1 A 区域雨季降水序列与前期冬季、前期春季和当年 6 月各大气环流涛动指数的逐月相关系数

Table 1 Correlation coefficients between R and the various oscillation indices of atmospheric circulations in previous boreal winter, spring and June in A region

指数	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
SOI	-0.17	-0.23	-0.25	0.08	-0.04	0.15	0.15
NAO	-0.23	-0.27	-0.25	-0.13	-0.01	-0.01	0.30
NPO	0.00	0.00	0.20	0.10	0.01	0.02	0.02
NAM	-0.28	-0.25	-0.13	-0.02	-0.14	-0.06	-0.04
SAM	-0.03	-0.15	0.06	0.02	-0.07	-0.23	-0.41

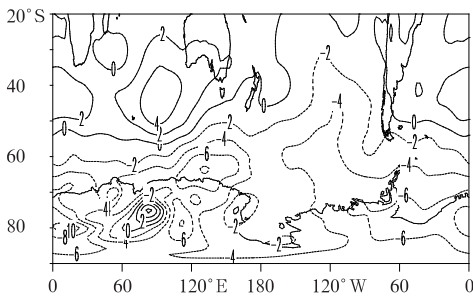


图 10 前期 6 月海平面气压场的合成差值雨季降水偏少年减去雨季降水偏多年(单位: hPa)

Fig. 10 The composite sea-level pressure difference in the preceding June between less and more precipitation years (unit: hPa)

综上所述,前期夏季 6 月份 SAM 异常可能是 A 区域雨季降水异常的一个前兆信号,进而为 A 区域雨季降水的短期气候预测提供科学的参考依据。

## 5 结论和讨论

本文主要分析了天津地区雨季降水异常年同期

以及前期大气环流的异常背景特征,通过上述分析,得到如下几点主要结论:

(1) 天津地区的降水大部分集中于其雨季,雨季降水总量的多少直接决定全年降水总量的多少。此外,雨季降水存在年际变化和年代际变化。

(2) 天津地区雨季降水偏多年同期,副高主体偏北,天津地区西北部有低值系统发展,对流层低层有正涡度发展,辐合上升运动较强,南亚高压和高空副热带西风急流偏北,西南暖湿气流输送较强;天津地区雨季降水偏少年同期情况正好相反。

(3) 天津地区雨季降水与前期夏季 6 月 SAM 存在显著的反相关关系,当 6 月 SAM 偏强(弱)时,天津地区雨季降水很有可能匮乏(充沛)。SAM 异常很有可能是天津地区雨季降水异常的一个前兆信号,进而为天津地区雨季降水的短期气候预测提供科学的参考依据。

大量研究表明<sup>[32-38]</sup>,前期 SAM 异常可以导致后期北半球大气环流异常,进而造成我国的气候异常。前期 SAM 异常影响天津地区雨季降水异常的物理机制是什么?现在还不清楚,这需要进一步深入的研究。由前面的分析可知,天津地区雨季降水还

存在一定的年代际变化,其年代际变化的影响机理又是什么?这仍然需要进一步开展细致的研究工作。

此外,值得注意的是,A区域降水与同期贝加尔湖和蒙古一带的负相关中心,与朝鲜半岛至日本群岛中南部的正相关中心构成一个西北—东南方向的跷跷板结构有关,A区域的降水又与前期6月45°S附近和70°S附近海平面气压的“跷跷板”有关。这两个“跷跷板”在时间和空间上究竟有无联系?若有,它们是怎么联系起来的?这两个问题也值得进一步研究。作者以前的研究表明<sup>[39]</sup>,前期冬季2月NAO可能是单纯的而非广义天津地区雨季降水异常的前期强影响信号。若有针对性的应用,降水预报预测的效果可能会更好。

## 参考文献

- [1] 汪靖,刘宣飞,韩桂荣,等. 2005年江淮流域入梅偏晚的成因分析[J]. 气象, 2006, 32(12): 76-81.
- [2] 汪靖,何金海,刘宣飞,等. 江淮入梅异常的强信号及其对入梅的影响[J]. 气象, 2008, 34(6): 35-40.
- [3] 鲍媛媛,金荣花,赵瑞霞,等. 2008年东亚夏季风异常及其对江淮梅雨的影响[J]. 气象, 2009, 35(4): 34-42.
- [4] Wang J, He J H, Liu X F, et al. Interannual variability of the Meiyu onset over Yangtze-Huaihe River Valley and analyses of its previous strong influence signal[J]. China Sci Bull, 2009, 54(4): 687-695.
- [5] 罗建英,廖胜石,黄归兰,等. 2004年7月广西汛期暴雨过程水汽特征[J]. 气象, 2009, 35(8): 61-69.
- [6] 胡娅敏,丁一汇. 2000年以来江淮梅雨带北移的可能成因分析[J]. 气象, 2009, 35(12): 37-43.
- [7] 谭方颖,王建林,宋迎波. 华北平原近45年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40-45.
- [8] 竺可桢. 东南季风与中国之雨量[J]. 地理学报, 1934, 1(1): 1-27.
- [9] 涂长望,黄土松. 中国夏季风之进退[J]. 气象学报, 1944, 18(1): 1-20.
- [10] 毕慕莹. 近40年来华北干旱的特点及其成因[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 23-32.
- [11] 符淙斌,温刚. 中国北方干旱化的几个问题[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 21-23.
- [12] 邹旭恺,张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 679-687.
- [13] 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[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 465-475.
- [14] 宋正山,杨辉,张庆云. 华北地区水资源各分量的时空变化特征[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 552-566.
- [15] 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.
- [16] 周连童,黄荣辉. 华北地区降水、蒸发和降水蒸发差的时空变化特征[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 280-295.
- [17] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 437-471.
- [18] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第2版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 18-19.
- [19] 陶澍. 应用数理统计方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994: 292-313.
- [20] 吴志伟,江志红,何金海. 近50年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征对比分析[J]. 大气科学, 2006, 30(3): 391-400.
- [21] 彭加毅,孙照渤,朱伟军. 70年代末大气环流及中国旱涝分布的突变[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(3): 300-304.
- [22] 陶诗言,朱福康. 夏季亚洲南部100 mb流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系[J]. 气象学报, 1964, 34(4): 385-395.
- [23] 樊增全,刘春葵. 1980—1987年华北地区上空水汽输送特征[J]. 大气科学, 1992, 16(5): 548-555.
- [24] 徐祥德,陶诗言,王继志,等. 青藏高原—季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系[J]. 气象学报, 2002, 60(3): 257-267.
- [25] 梁萍,何金海,陈隆勋,等. 华北夏季强降水的水汽来源[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 460-465.
- [26] 石伟,王绍武. 1857—1987年南方涛动指数[J]. 气象, 1989, 15(5): 29-33.
- [27] Hurrell J W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation[J]. Science, 1995, 269: 676-679.
- [28] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter[J]. Mon Wea Rev, 1981, 109: 784-812.
- [29] Thompson, D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields[J]. Geophys Res Lett, 1998, 25: 1297-1300.
- [30] Gong D Y, Wang S W. Definition of Antarctic Oscillation Index[J]. Geophys Res Lett, 1999, 26: 459-462.
- [31] Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability[J]. J Climate, 2000, 13: 1000-1016.
- [32] Nan S L, Li J P. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode[J]. Geophys Res Lett, 2003, 30(24): 2266, doi:10.1029/2003GL018381.
- [33] 高辉,薛峰,王会军. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预报意义[J]. 科学通报, 2003, 48(增刊2): 87-92.
- [34] 鲍学俊,王盘兴,覃军. 南极涛动与江淮梅雨异常的时滞相关分析[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 348-352.
- [35] 范可,王会军. 有关南半球大气环流与东亚气候的关系研究的若干新进展[J]. 大气科学, 2006, 30(3): 402-412.
- [36] 范可,王会军. 南极涛动异常及其对冬春季北半球大气环流影响的数值模拟试验[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 397-403.
- [37] 宋洁,李崇银. 南极涛动和北半球大气环流异常的联系[J]. 大气科学, 2009, 33(4): 847-858.
- [38] 卢楚翰,管兆勇. 春季大气南北涛动年际变化及其与中国气候的联系[J]. 自然科学进展, 2009, 19(5): 513-519.
- [39] 汪靖,吕江津. 天津地区雨季降水异常的前期强影响信号研究[J]. 气象, 2010, 36(11): 12-17.