

刘海文, 丁一汇. 2011. 华北汛期降水月内时间尺度周期振荡的年代际变化分析 [J]. 大气科学, 35 (1): 157-167. Liu Haiwen, Ding Yihui. 2011. Analysis on the interdecadal change of submonthly time scales oscillation of precipitation over North China during rainy seasons and its cause [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (1): 157-167.

华北汛期降水月内时间尺度周期振荡 的年代际变化分析

刘海文^{1,2,3} 丁一汇⁴

1 成都信息工程学院高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225

2 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

3 成都信息工程学院大气科学学院, 成都 610225

4 国家气候中心, 北京 100081

摘要 利用中国 740 站逐日降水资料和 NCEP/NCAR 逐日再分析资料, 使用小波分析等方法, 对华北汛期降水的月内时间尺度周期振荡的年代际变化及其原因进行了分析。结果表明: 由于西太平洋副热带高压和华北夏季风的月内时间尺度周期振荡存在显著的年代际变化, 使得华北汛期降水在两个不同阶段, 存在着显著不同的月内时间尺度的周期振荡。在华北汛期降水偏多阶段, 华北在整个汛期从开始到结束, 都存在单一的、显著的 3~8 d 天气时间尺度的周期振荡高频降水; 华北日降水量具有典型的单峰结构, 汛期日降水于 7 月下旬达到最大, 随后逐步减弱, 遵循着“7 下 8 上”之规律。华北汛期降水偏少阶段, 显著的天气时间尺度的高频降水, 直到 7 月中旬才开始出现, 出现时间较迟; 7 月 22 日以后, 华北汛期日降水又存在着 3~8 d 和 10~20 d 两种时间尺度周期振荡的叠加; 日降水值于 7 月上旬出现次极大值, 随后降水有所减弱, 到 8 月上旬出现最大值, 随后降水再减弱, 显示出一定的低频振荡特征; 而且在 7 月 26 日至 8 月 6 日期间, 10~20 d 低频降水又以负位相开始, 正位相结束, 这些都表现出和降水偏多阶段“7 下 8 上”之规律不一样的特点。

关键词 华北降水 月内尺度 年代际变化

文章编号 1006-9895 (2011) 01-0157-11

中图分类号 P426

文献标识码 A

Analysis on the Interdecadal Change of Submonthly Time Scales Oscillation of Precipitation over North China during Rainy Seasons and Its Cause

LIU Haiwen^{1,2,3} and DING Yihui⁴

1 Plateau Atmospheric and Environmental Research Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

2 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

4 National Climate Center, Beijing 100081

Abstract Based on the daily precipitation data from 740 stations in China and NCEP/NCAR reanalysis daily datasets, the interdecadal change of submonthly time scales oscillation of precipitation over North China during rainy

收稿日期 2009-12-15, 2010-08-12 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40805026、40975058, 成都信息工程学院科研基金资助 KYTZ201012

作者简介 刘海文, 男, 博士, 副教授, 主要从事天气气候诊断研究。E-mail: liuhw@cuit.edu.cn

seasons and its cause are analyzed by means of the wavelet analysis method. Some results are discovered as follows: There exists significantly different submonthly timescales oscillation for the rainfall over North China during rainy seasons in the two different interdecadal periods due to interdecadal change of the western Pacific subtropical high and submonthly timescale oscillation of North China summer monsoon. There exists a significant high frequency rainfall with the 3–8-day synoptic timescale periodic oscillation in the flood period from the beginning to ending of the rainy season over North China. The daily rainfall over North China has a typical single-peak structure, which reaches the maximum in the last ten days of July and decreases gradually. The daily rainfall over North China obeys the rule which daily rainfall over North China frequently occurs in the last ten days of July and the first ten days of August. However, the distinct synoptic timescale high frequency rainfall does not take place until mid-July, which appears little later, and there is superimposition of 3–8-day synoptic timescale and 10–20-day timescale periodic oscillation for the daily rainfall over North China after 22 July. The daily rainfall over North China reaches the submaximum in the early ten days of July and decreases a little, then it reaches the maximum in the early ten days of August and decreases again, which shows a characteristic of low frequency oscillation. Furthermore, the low frequency precipitation begins with a negative phase and ends with a positive phase from 26 July to 6 August, which displays the different characteristics from the laws during the flood period that the peak rainfall over North China during the rainy season takes place in the last ten days of July and the first ten days of August.

Key words precipitation over North China, submonthly time scales, interdecadal change

1 引言

天气气候的月内时间尺度的周期振荡一直就有研究。Blackmon (1976) 注意到北半球天气尺度带通瞬变扰动方差 (2.5~6 d) 集中在两个纬向拉长的极大值区域, 与地面气旋/反气旋活动带相一致。Lau and Lau (1990) 利用 1980~1987 年一日两次的 ECMWF 全球格点资料, 研究了北半球夏季热带地区天气尺度瞬变波 3 维结构和频散特征, 发现孟加拉湾、印度北部、东大西洋以及西非地区的 850 hPa 的相对涡度具有较大的变率, 并且通过功率谱分析, 它们具有 3~8 d 时间尺度谱峰。Murakami (1976) 利用 1962 年夏季印度每日天气预报和高空站资料, 发现印度季风的活跃和中断, 受准双周振荡的影响。Chen and Chen (1993) 研究了 1979 年北半球夏季 10~20 d 的季节内振荡的水平结构。Vincent et al. (1998) 认为月内时间尺度 (6~25 d) 的季节内振荡在亚洲夏季风影响区域内也会发生。Fujinami and Yasunari (2004) 研究了北半球夏季青藏高原地区月内时间尺度对流活动的变率。毛江玉和吴国雄 (2005) 研究了 1991 年梅雨期间江淮洪涝区降水的季节内振荡及其环流特征, 着重考察了不同层次副热带高压的低频变化与降水的关系。最近, Liu et al. (2008) 还研究了 1998 年夏季发生在长江中下游地区极端强降水事件的日至

月内时间尺度区域天气气候特征。

以上研究大都是针对某一特定年份的月内时间尺度进行研究和分析。研究表明, 华北地区的汛期降雨量不仅有重要的气候意义, 而且直接对农业生产有重要影响 (李崇银, 1992)。戴新刚等 (2003) 研究了华北汛期降水年际尺度部分在近 30 年的变化, 认为准 5 年谱消失, 准 2 年谱逐渐减弱, 1977 年后降水年际变化十分微弱。Ma (2007) 基于月降水和月平均气温资料, 通过计算地表湿润指数, 分析了中国华北地区 1951~2005 年干湿变化的年代际趋势特征及其与太平洋年代际振荡指数 (PDOI) 的关系。陆日宇 (2002) 则对华北汛期降水量变化中年代际和年际尺度进行了分离。张庆云 (1999) 分析了 1880 年以来, 华北降水及水资源的变化。这些研究, 主要分析了华北汛期降水的年际和年代际变化特征。华北汛期降水具有鲜明的年际和年代际变化特征 (黄荣辉等, 1999; 刘海文和丁一汇, 2010), 其在 1978 年前后发生了年代际突变 (刘海文和丁一汇, 2010)。Wang and Xu (1997) 提出了气候季节内振荡 (Climatological Intraseasonal Oscillation, 简称 CISO) 概念。Ding (2007) 认为, 亚洲夏季风之所以存在 CISO 特征, 主要是由于有足够年份的 ISO 具有相似的特征。尽管李崇银 (1992) 从年际变化时间尺度上分析了华北地区汛期降水量同 30~60 d 大气振荡的关系, 并且指出,

在华北汛期降雨量偏多的年份, 降雨量的 30~60 d 振荡相当明显; 而在华北汛期降雨量偏少的年份, 降雨量的 30~60 d 振荡却不十分清楚。但是利用华北逐日的台站降水资料, 针对华北汛期降水在 1978 年前的 CISO 特征与 1978 年后 CISO 的特征的差别的研究甚少。从天气学上讲, 降水主要是由产生降水的天气过程所决定。如果导致华北日降水的天气过程发生频繁, 此即意味着华北汛期产生降水天气过程的周期较短, 则有利于华北汛期降水偏多; 反之, 就不利于华北汛期降水量的偏多。问题是, 从年代际时间尺度上讲, 在华北汛期降水偏多阶段, 产生华北汛期降水的主要天气过程是否较多, 亦即华北汛期产生降水的显著周期是否较短? 而在华北汛期降水偏少阶段, 产生华北汛期降水的主要天气过程是否又较少, 亦即华北汛期产生降水的显著周期又是否较长? 这些特征都不十分清楚。因此, 利用 CISO 的概念, 通过对比分析华北汛期降水月内时间尺度周期振荡的年代际差别, 这对进一步认识华北汛期降水在 1970 年代中期前后发生的年代际变化原因, 具有十分重要意义。

2 数据和方法

所用降水资料包括: (1) 中国气象局国家气象信息中心提供的中国 740 个测站 1951~2006 年逐日降水; (2) 1948~2006 年 NCEP/NCAR 全球

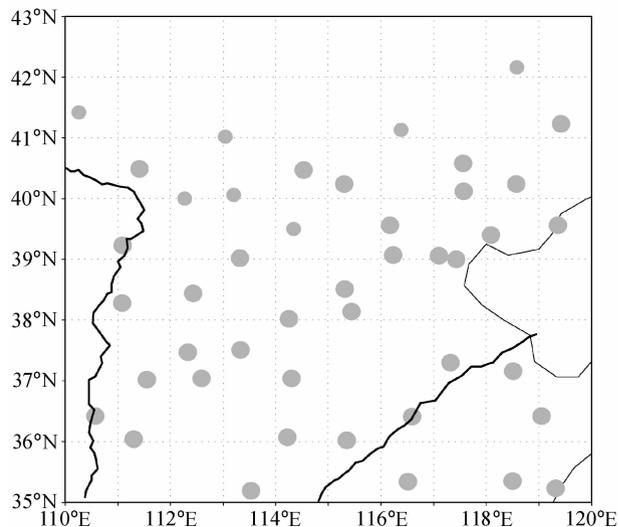


图 1 用于分析 1957~2006 年逐日降水资料的华北 44 个站点分布

Fig. 1 Locations of the 44 observation stations over North China where 1957-2006 daily precipitation data are analyzed

2.5°×2.5°逐日再分析资料中 850 hPa 风场、500 hPa 位势高度场。由于在 1957 年之前我国建立的台站还比较稀疏(鲍名, 2007), 因此, 为了得到比较多的华北站点, 以上资料都从 1957 年开始, 止于 2006 年。华北区域范围及其台站的选择采用刘海文和丁一汇(2008)的结果(图 1)。刘海文和丁一汇(2008)基于对汛期的理解和认识, 对华北汛期的开始和结束日期进行了研究和分析, 认为华北汛期始于 6 月 30 日, 止于 8 月 18 日, 持续期为 50 天, 因此, 文中的华北汛期, 主要是针对这一特定时段, 华北逐日降水就是其范围内 44 站逐日降水的算术平均值。

文中所用的小波分析方法, 由 Torrence and Compo (1998) 提供的小波分析程序来实现。

3 结果分析

3.1 华北汛期降水月内时间尺度的年代际变化

参照刘海文和丁一汇(2010)对华北汛期降水的年代际划分, 将 1957~1978 年划分为华北汛期降水偏多阶段, 1979~2006 年为偏少阶段。中国的降水主要分布在 4~9 月(王遵娅和丁一汇, 2008)。参照王遵娅和丁一汇(2008)的做法, 对 4 月 1 日到 9 月 30 日共 183 天的华北降水时间序列分别做年代际平均。图 2a 是 1957~1978 年平均的华北汛期降水量从 4 月 1 日到 9 月 30 日的原始时间序列分布。由图 2a 可见, 华北降水量具有典型的单峰结构(王遵娅和丁一汇, 2008)和年循环特征, 华北汛期日降水主要集中在 7 月下旬和 8 月上旬的特点十分明显, 7 月下旬降水达到最大, 随后逐步减弱, 这就是传统意义上的华北雨季, 即所谓的“7 下 8 上”(赵汉光, 1994)。为了研究华北降水的 CISO 特征, 首先对 1957~1978 年平均的 4 月 1 日~9 月 30 日华北降水量进行了谐波分析, 滤掉最显著的年循环 0~2 波(图 2b), 然后对其做小波分析(图 2c 和图 2d)。由小波分析结果可知, 在华北汛期降水偏多阶段, 其降水量从华北进入汛期开始, 有着显著的 3~8 d 时间尺度的周期振荡, 这个时间尺度的周期振荡在整个华北汛期一直存在, 且一直持续到 9 月上旬后才减弱。显然, 这是天气尺度的周期振荡。为了更加清楚地显示出其天气时间尺度的周期振荡, 并与华北汛期降水偏少阶段的周期振荡进行比较, 对图 2b 给出的时间序列进行了 3~

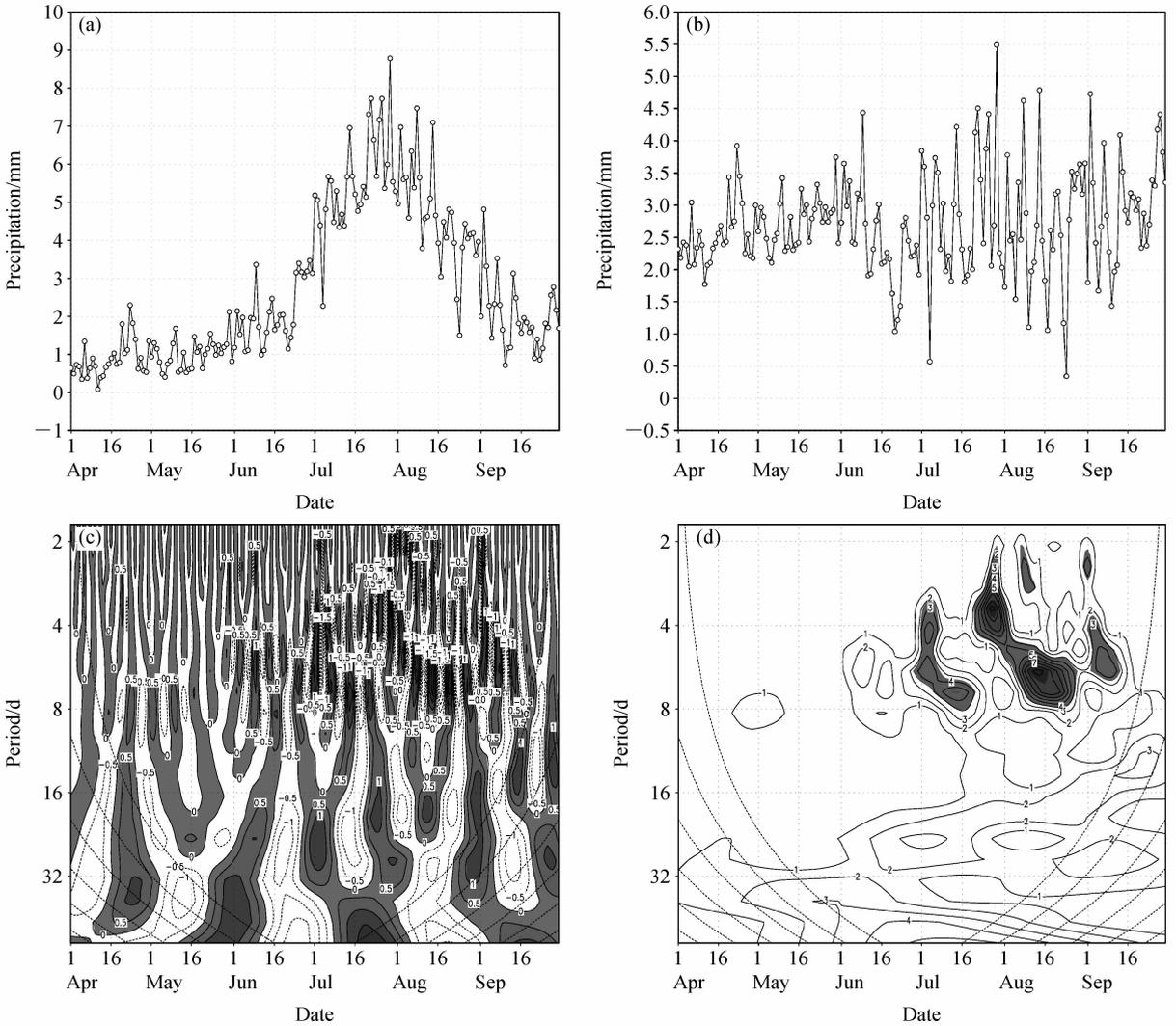


图2 1957~1978年平均的4月1日~9月30日华北降水量 (a) 原始时间序列和 (b) 去除年循环的时间序列 (单位: mm) 以及去除年循环时间序列的 Morlet小波 (c) 实部和 (d) 标准功率谱图。虚线: 受边界影响区域; 阴影: 通过 0.05 的显著性检验

Fig. 2 Time series of 1957-1978 mean daily precipitation over North China from 1 Apr to 30 Sep: (a) Original time series; (b) time series removing annual cycle; (c) the real part and (d) the standard power spectrum for wavelet analysis of time series removing annual cycle. Dashed lines: the boundary effect; shaded areas: exceeding the confidence level of 95%

8 d 和 10~20 d 的带通滤波 (图 3)。由图 3 可以看出, 从 7 月 1 日~9 月 1 日, 3~8 d 滤波后的降水时间序列和原始降水序列位相基本相同, 而 10~20 d 滤波后的降水时间序列和原始降水序列相比, 两者位相对应不好, 这说明在华北汛期降水偏多阶段, 华北汛期日降水主要以 3~8 d 时间尺度为主, 其周期比较单一。但是, 在华北汛期降水偏少阶段, 华北日降水的时间演变特征和降水偏多阶段相比, 却有很大不同。首先, 从该阶段平均的华北降水原始时间序列来看 (图 4a), 在 7 月 14 日和 8 月 3 日有两个极大值, 有点类似“双峰型”特征, 最大

降水值并不是出现在 7 月下旬, 而是出现在 8 月上旬, 其降水特点概括为“7 月上旬出现次极大值, 随后降水有所减弱, 到 8 月上旬出现最大值, 随后降水再减弱, 显示出一定的低频振荡特点”, 这与传统意义上华北汛期日降水主要集中于“7 下 8 上”的规律有所不同。其次, 从经过谐波分析、去除年循环的时间序列 (图 4b) 的小波分析 (图 4c 和图 4d) 的结果来看, 华北入汛以后, 显著的天气时间尺度的高频降水特征并没有随之出现, 而是出现在 7 月上旬以后, 出现时间较迟。另外, 7 月 22 日以后, 华北汛期日降水存在着两个时间尺度的显著周

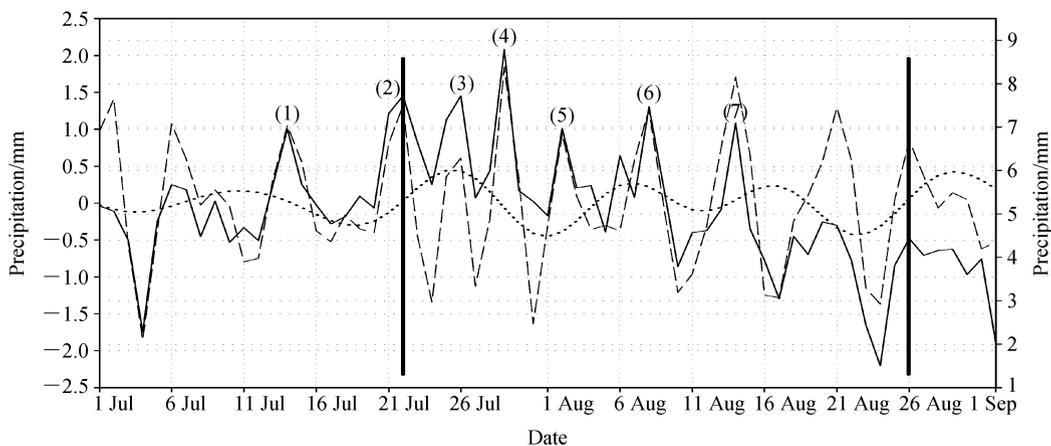


图3 1957~1978年平均的华北7月1日~9月1日降水时间序列(单位: mm)。实线: 原始序列; 虚线: 3~8 d滤波序列; 点线: 10~20 d滤波序列; 左坐标: 滤波序列; 右坐标: 原始序列; 括号里的数字表示主要的几次降水过程(下同)

Fig. 3 Time series of 1957-1978 mean daily precipitation over North China from 1 Jul to 1 Sep. Solid line; original time series; dashed line; 3-8 d filtered; dotted line; 10-20 d filtered; left ordinate; filtered time series; right ordinate; original time series; the Arabic numerals in parentheses mean the main precipitation processes(similarly hereinafter)

期振荡, 一个是3~8d的天气时间尺度, 另一个是10~20 d时间尺度的低频振荡。显然, 10~20 d时间尺度的低频振荡就是准双周振荡。Zveryaev (2002) 也发现, 自从1970年代中后期以来, 10~20 d的季节内振荡的强度在亚洲季风区显示出明显的增强。同样, 对图4b给出的时间序列进行3~8 d和10~20 d的带通滤波, 结果表明(图5), 7月上旬~8月6日期间, 3~8 d滤波后的华北汛期降水时间序列和原始序列同相位演变, 7月22日~8月26日, 3~8 d和10~20 d滤波后的降水时间序列, 和华北汛期降水原始序列也都表现出同相位演变, 并且在7月26日华北盛夏时期, 10~20 d低频降水以负位相开始, 不利于华北雨季在该时间段出现, 到了8月6日, 10~20 d低频降水才以正位相出现, 华北汛期日降水显示出不同于传统意义上的主要集中于“7下8上”的特点。

3.2 华北夏季风的月内时间尺度的年代际变化分析

夏季西南季风对我国的降水有着极为重要的影响, 华北汛期降水的产生, 主要就是东亚夏季风向北推进到华北地区的结果(李崇银, 1992)。此处, 将到达华北地区的夏季风称为华北夏季风。首先来看在华北汛期降水偏多阶段东亚夏季风的北推特征。图6是华北汛期降水偏多阶段, 华北汛期期间逐日的850 hPa经向风沿115°E纬度-时间剖面。由图6可见: 在7月6日以前, 大于4 m/s的

850 hPa 经向风就能够到达华北的北部地区, 但是随后其值又开始减少, 因此不能算作夏季风的北跳时间, 在7月10日前后, 大于4 m/s的经向风又突然北跳到35°N以北地区, 并且该大小的经向风速度值基本维持到华北汛期结束, 因此, 7月10日可以算作夏季风北推时间, 该时间和伍荣生(1999)所指的夏季风第3次北推时间相一致。接下来, 任意选取华北汛期降水在这两个不同阶段的几个比较大的峰值降水日(图6、7), 用来分析850 hPa风场的变化和华北汛期日峰值降水的对应关系, 这反映了华北夏季风对华北汛期降水的影响。由图6可见, 在华北汛期降水偏多阶段, 华北夏季风表现出显著的天气时间尺度的周期脉动, 除了7月29日和8月14日850 hPa经向风速度表现为极大值外, 华北汛期降水的其它5次峰值降水, 都发生在850 hPa经向风速度为极小值时, 这说明了北方冷空气活动对华北汛期降水的影响。总之, 在华北汛期降水偏多阶段, 东亚夏季风较强, 在7月中旬能够完成夏季风的第3次北推, 使得华北日降水集中于“7下8上”的规律得以维持; 同时, 由于北方冷空气的频繁活动, 华北夏季风表现出显著的天气时间尺度的周期脉动, 使得冷暖空气在华北地区频繁的相互作用, 导致华北汛期降水表现出偏多的年代际特征。

在华北汛期降水偏少阶段, 华北夏季风的北推和脉动特征却有很大改变。图7是华北汛期降水偏

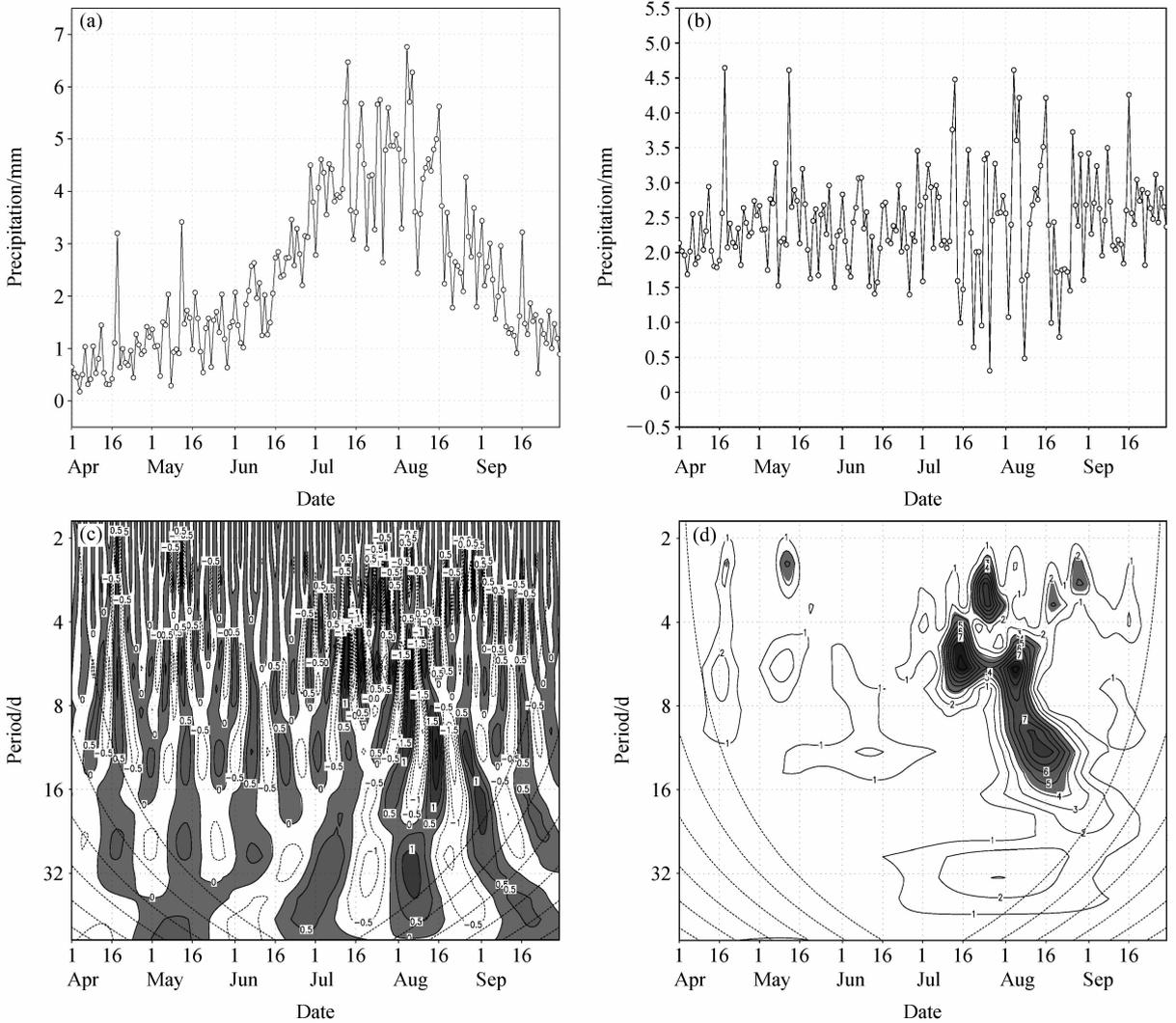


图4 同图2, 但为1979~2006年(华北汛期降水偏少阶段)

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for 1979-2006 (dry period over North China)

少阶段, 华北汛期期间逐日的 850 hPa 经向风沿 115°E 纬度—时间剖面。由图 7 可见, 由于东亚夏季风的年代际减弱 (Wang, 2001), 到达华北地区的经向风速度值明显减小, 整个华北汛期阶段, 华北地区不再出现大于 4 m/s 的经向风速度, 因此, 我们用大于 2 m/s 的经向风速来看夏季风的北推特征。从 7 月 11 日开始, 大于 2 m/s 的经向风越过 35°N 以北地区, 但是随后又迅速减小; 7 月 16 日左右, 大于 2 m/s 的夏季风又推进到 35°N 以北地区, 但是大概维持不超过 10 d; 在 7 月 22 日以后, 夏季风又发生减小, 出现了明显的夏季风的中断或者说夏季风处于间隙期。大量研究都认为印度季风存在着活跃和中断现象 (Yasunari, 1979; Ding,

2007)。Ding (2007) 认为, 在东亚地区, 东亚季风的活跃和中断的循环从气候学上也可以看到, 而且在华南、台湾、华中中部以及东北和朝鲜都能看到不同时间段的东亚夏季风中断现象 (Chen et al, 2004; Ding, 2007)。从 7 月底到 8 月 11 日左右, 大于 2 m/s 的夏季风又推进到 35°N 以北地区, 8 月 11~8 月 16 日间, 850 hPa 出现了偏北风。综观华北汛期夏季风推进的特点, 虽然在 7 月 16 日左右也出现了伍荣生 (1999) 所指的夏季风的第 3 次北推现象, 但是较大值的经向风并没有长时间停留在 35°N 以北地区, 因此, 导致了华北汛期日降水表现出不同于“7 下 8 上”的特点。7 月 22 日以前, 华北夏季风显示出明显的天气时间尺度的周期振荡

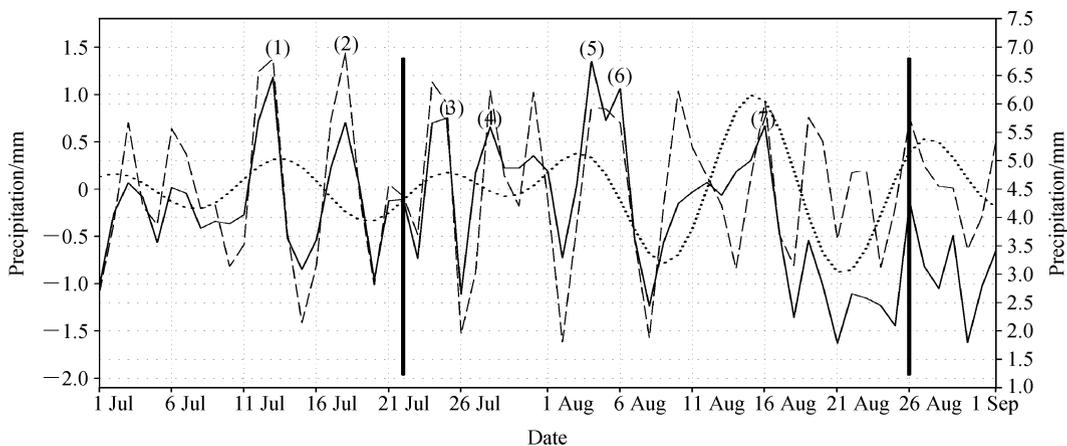


图5 同图3, 但为1979~2006(华北汛期降水偏少阶段)。两条垂直线之间表示存在显著的10~20 d低频振荡的时间区间

Fig. 5 Same as Fig. 3, but for 1979-2006 (dry period over North China). The two perpendicular lines represent the period with the significant 10-20 d oscillation

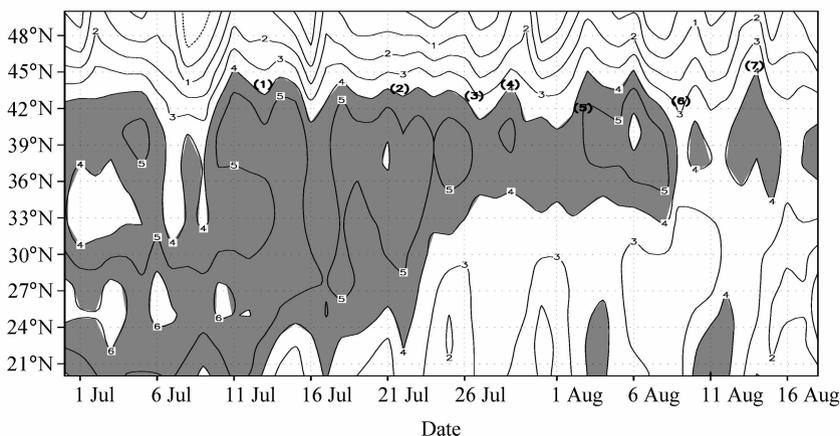


图6 1957~1978年平均的沿115°E的850 hPa经向风纬度-时间剖面(单位: m/s)。阴影: 风速大于4 m/s

Fig. 6 Time-latitude cross section of the 850-hPa meridional wind (m/s) along 115°E averaged over 1957-1978. Shaded: velocity larger than 4 m/s

特征。7月22日以后到华北汛期结束, 华北夏季风出现了时间尺度大约是准10~20 d的周期振荡, 并且在该阶段850 hPa经向风极值也存在着天气时间尺度的周期振荡。对应于华北汛期偏少阶段的峰值降水日期, 除了第3次和第7次峰值降水出现在经向风低位相阶段外, 其它几次都是出现在华北夏季风处于极大值位相, 表现出和华北汛期降水偏多阶段很不相同的特征。总之, 在华北汛期降水偏少阶段, 东亚夏季风明显减弱, 虽然东亚夏季风也存在着北跳的气候特征, 但在华北地区却不能在整个汛期维持, 表现出明显的活跃和中断的特点, 有着显著的10~20 d低频振荡。从华北汛期开始到7月22日之间, 在华北附近的经向风极值也表现出

较强的天气时间尺度周期振荡, 7月22日到华北汛期结束, 存在着天气时间尺度和10~20 d两种时间尺度的叠加, 整个汛期降水极大值日大都处于夏季风极大值位相, 显示出南来暖湿空气对华北汛期降水的重要作用。

3.3 夏季西太平洋副热带高压的月内时间尺度的周期振荡的年代际变化

夏季西太平洋副热带高压(简称副高)是影响我国夏季天气和气候的一个重要系统。副高的季节内变化决定我国东部雨带的几次向北推移(陶诗言和卫捷, 2006)。而作为东亚夏季风体系的环流成员之一的西北太平洋高压(黄土松和汤明敏, 1987), 其位置强度在季节性变化过程中尚表现出

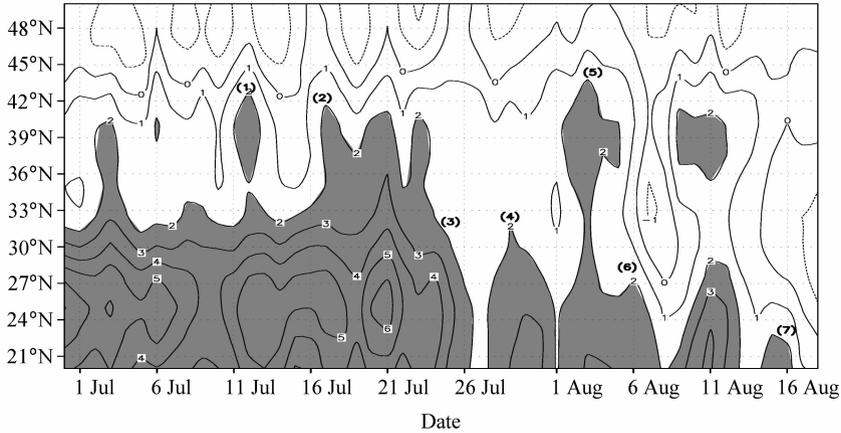


图7 同图6, 但为华北汛期降水偏少阶段。阴影: 风速大于 2 m/s

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the dry period (1979–2006). Shaded: velocity larger than 2 m/s

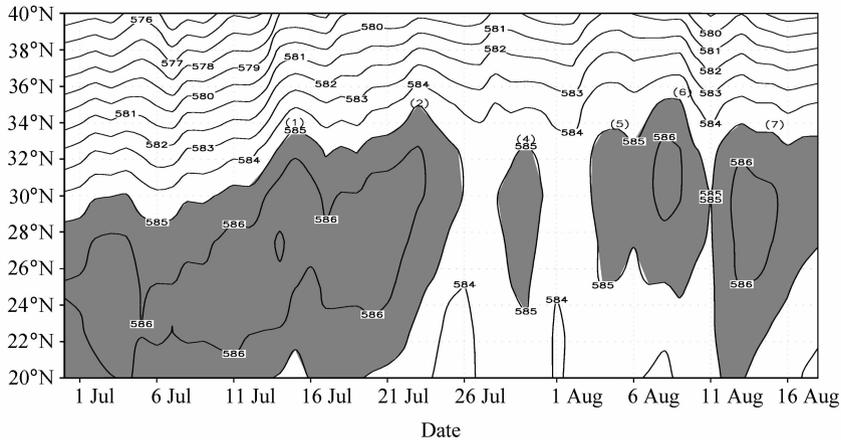


图8 1957~1978年平均的沿120°E的500hPa位势高度场纬度—时间剖面(单位: dagpm)。阴影: 位势高度大于585dagpm

Fig. 8 Time-latitude cross section of the 500-hPa geopotential height (dagpm) along 120°E averaged over 1957–1978. Shaded: geopotential height larger than 585 dagpm

一些中短期变动,主要有两种,一种为期约半个月左右,称为中周期活动,另一种为期约一个星期左右,称为短期活动(黄土松,1978)。因此,我们来看在华北汛期降水处于不同的两个阶段中,副热带高压的变动情况。参照陶诗言和卫捷(2006),取588 dagpm(或586 dagpm)等高线作为副高特征线的做法,我们用585 dagpm等高线作为副高的特征线。图8给出了1957~1978年平均的沿120°E的500 hPa位势高度场纬度—时间剖面,由图可见,从7月11日以后,副热带高压越过30°N,这个北跳时间与陶诗言和卫捷(2006)所指出的7月10日前后副高脊线北跳到30°N,长江流域梅雨期结束时间相一致,也与该阶段夏季风的第3次北推时间相吻合。副热带高压越过30°N以后,在整个华

北汛期期间大部分时间内,都稳定在30°N以北,说明副热带高原位置偏北(龚道溢和何学兆,2002)。伴随着华北汛期降水的每次极值出现,副热带高压也呈现出天气时间尺度的周期振荡。副热带高压和华北汛期峰值降水之间的关系是:当副热带高压增强时,降水发生,降水过后,副热带高压减弱。由于1970年代中后期北半球东亚夏季环流有一明显的突变(方之芳和张丽,2006),北半球中高纬度500 hPa高度距平场出现EU型遥相关分布,华北地区长期处于大陆暖高压控制下(卫捷等,2003)。因此,不能简单地用586 dagpm等高线来代表西太平洋副热带高压的跳动,结合该阶段850 hPa夏季风的北跳时间,发现用587 dagpm等高线来代表西太平洋副热带高压的跳动更加合适

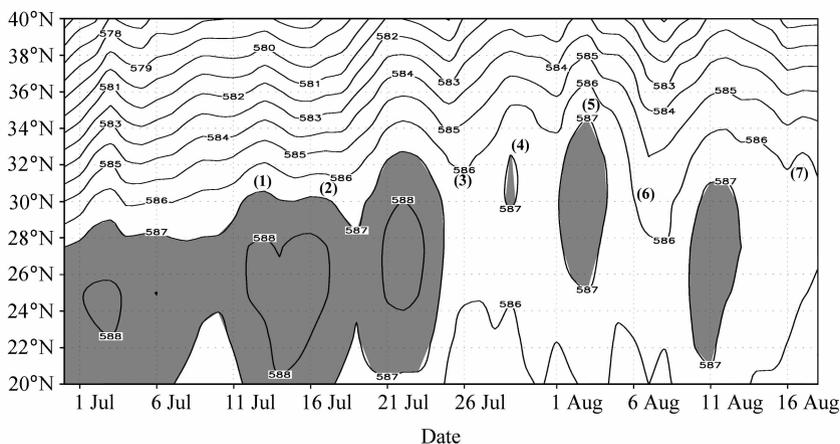


图9 同图8 但为华北汛期降水偏少阶段。阴影区: 位势高度值大于 587 dagpm

Fig. 9 Same as Fig. 8, but for the dry period (1979–2006). Shaded: geopotential height larger than 587dagpm

(图9)。由图9可见,在华北汛期降水偏少阶段,587 dagpm等位势高度线的向北推进和夏季风的推进显示出较为一致的特征:587等位势高度线在7月11日前后越过30°N,7月17日前后587 dagpm等位势高度线又退回到30°N以南地区,大约在7月19日前后,587 dagpm等位势高度线又越过30°N,表现出天气时间尺度的周期振荡;在随后时间到华北汛期结束,587 dagpm等位势高度线则显示出10~20d的周期振荡,并且在10~20d的周期振荡上还叠加有3~8d的天气时间尺度的周期振荡;在整个华北汛期期间,副热带高压稳定在30°N以北的时间都较短,因此导致华北汛期日降水特点表现出不同于传统意义上“7下8上”的特点。与降水偏多阶段相比较,第3次、第6次和第7次峰值降水,并不是处于副高的增强阶段,而是处于副高的减弱位相中。

4 结论和讨论

以上研究主要是基于CISO的概念,研究了华北在两个不同的年代际阶段,华北汛期日降水月内时间尺度周期振荡的年代际差别。结果发现,在华北汛期降水偏多和偏少阶段,存在着显著不同的月内时间尺度的周期振荡。在华北汛期降水偏多阶段,整个汛期日降水,从汛期开始到结束,都存在单一的、显著的天气时间尺度的高频降水。华北日降水量具有典型的单峰结构,汛期日降水主要集中在7月下旬和8月上旬的特点十分明显,7月下旬降水达到最大,随后逐步减弱,存在着明显的“7

下8上”规律。而在华北汛期降水偏少阶段,显著的天气时间尺度的高频降水,直到7月中旬才开始出现,出现时间较迟;而当过了7月22日以后,华北汛期日降水又存在着3~8d和10~20d两种时间尺度周期振荡的叠加;日降水值7月上旬出现次极大值,随后降水有所减弱,到8月上旬出现最大值,随后降水再减弱,显示出一定的低频振荡特点。这和传统意义上7月下旬降水达到最大,随后逐步减弱的“7下8上”的规律有所不同,并且在7月26日华北盛夏时期,10~20d低频降水以负位相开始,显然不利于华北雨季在该时段出现,直到8月6日,10~20d低频降水才以正位相出现,因此,华北汛期日降水表现出不同于传统意义上的主要集中于“7下8上”的特点。显然,华北汛期日降水月内时间尺度周期的长短是由产生降水的天气过程所决定。如果华北日降水月内时间尺度周期较短,那么,产生华北日降水的天气过程就发生频繁,这必然有利于华北汛期降水的偏多;相反,如果日降水月内时间尺度周期较长,则造成华北日降水的天气过程发生就不甚频繁,因此也就不利于华北汛期降水的偏多。所以说华北汛期日降水月内时间尺度的年代际变化,是导致华北汛期降水年代际变化的内在因素之一。

华北汛期降水月内时间尺度的年代际变化,主要与到达华北地区的东亚夏季风和西太平洋副热带高压存在着两种不同的月内时间尺度的年代际变化有关。在华北汛期降水偏多阶段,西太平洋副热带高压和较强的东亚夏季风都能在7月中旬完成北

跳,并且能够长时间地维持在 30°N 以北地区,因此,华北日降水集中于“7下8上”的规律得以维持,华北夏季风的脉动以及副热带高压都存在显著的天气时间尺度的周期振荡的特点。而在华北汛期降水偏少阶段,虽然西太平洋副热带高压和较弱的东亚夏季风在7月中旬也能够完成北跳,但是并不能够长时间地在华北地区维持,这就使得华北汛期日降水,表现出不同于传统意义上的主要集中于“7下8上”特点。从7月中旬至7月22日以前,西太平洋副热带高压和较弱的东亚夏季风也表现出天气时间尺度的周期振荡,但在7月22日以后,它们又表现出10~20 d和天气时间尺度的周期振荡的叠加。在不同的年代际阶段,副高、850 hPa 经向风和华北汛期峰值降水的关系也存在不同。在华北汛期降水偏多阶段,当副热带高压较强,华北地区大都在北风的影响下,在华北汛期产生一次峰值降水过程;而在华北汛期降水偏少阶段,无论副高增加或减弱,都能产生峰值降水,而且大多数峰值降水产生时,都是在东亚夏季风到达华北北界处于极大值位相,并不是在北风的作用之下。

需要指出的是,本文主要从年代际变化角度,揭示出华北汛期降水的月内时间尺度周期振荡的年代际差别。而关于月内时间尺度周期振荡自身的年际、年代际变化特征及其发生变化的原因,都值得我们进一步的深入研究。另外,关于造成华北汛期降水月内周期低频振荡的低频环流特征,我们将在随后的文章中进行详细的讨论和研究。

参考文献 (References)

鲍名. 2007. 近50年我国持续性暴雨的统计分析及其大尺度环流背景[J]. 大气科学, 31(5): 779-792. Bao Ming. 2007. The statistical analysis of the persistent heavy rain in the last 50 years over China and their backgrounds on the large scale circulation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31(5): 779-792.

Blackmon M L. 1976. A climatological spectral study of the 500 mb geopotential height of the Northern Hemisphere [J]. J. Atmos. Sci., 33: 1607-1623.

Chen T C, Chen J M. 1993. The 10-20-day mode of the 1979 Indian monsoon: Its relation with the time variation of monsoon rainfall [J]. Mon. Wea. Rev., 121: 2465-2482.

Chen T-C, Wang S-Y, Huang W-R, et al. 2004. Variation of the East Asian summer monsoon rainfall [J]. J. Climate, 17: 744-762.

戴新刚, 汪萍, 丑纪范. 2003. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变 [J]. 科学通报, 48(23): 2483-2487. Dai Xin'gang, Wang Ping, Chou Jifan. 2003. Multiscale characteristics of the rainy season rainfall and interdecadal decaying of summer monsoon in North China [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 48(23): 2483-2487.

Ding Yihui. 2007. The variability of the Asian summer monsoon [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 85: 21-54.

方之芳, 张丽. 2006. 夏季NCEP资料质量和20世纪70年代东亚热低压的突变 [J]. 高原气象, 25(2): 179-189. Fang Zhifang, Zhang Li. 2006. NCAR-NCEP data quality and abrupt changes of East Asia low in summer of 1970's [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 25(2): 179-189.

Fujinami H, Yasunari T. 2004. Submonthly variability of convection and circulation over and around the Tibetan Plateau during the boreal summer [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 82: 1545-1564.

龚道溢, 何学兆. 2002. 西太平洋副热带高压的年代际变化及其气候影响 [J]. 地理学报, 57(2): 185-193. Gong Daoyi, He Xuezhao. 2002. Interdecadal change in western Pacific subtropical high and climatic effects [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 57(2): 185-193.

黄荣辉, 徐予红, 周连童. 1999. 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, 18(4): 465-476. Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. 1999. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18(4): 465-476.

黄士松. 1978. 有关副热带高压活动及其预报问题的研究 [J]. 大气科学, 2(2): 159-168. Huang Shisong. 1978. Some aspects of the studies on the activities of the subtropical high and its predictions [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 2(2): 159-168.

黄士松, 汤明敏. 1987. 论东亚夏季风体系的结构 [J]. 气象科学, 3(1): 1-13. Huang Shisong, Tang Mingmin. 1987. On the structure of the summer monsoon regime of East Asia [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 3(1): 1-13.

Lau K H, Lau N C. 1990. Observed structure and propagation characteristics of tropical summertime synoptic scale disturbances [J]. Mon. Wea. Rev., 118: 1888-1913.

李崇银. 1992. 华北地区汛期降水的一个分析研究 [J]. 气象学报, 50(1): 41-49. Li Chongyin. 1992. An analytical study on the precipitation of the flood period over Huabei area [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 50(1): 41-49.

刘海文, 丁一汇. 2008. 华北汛期的起讫及其气候学分析 [J]. 应用气象学报, 19(6): 688-696. Liu Haiwen, Ding Yihui. 2008. Identification on the beginning date and end date of rainy season over North China and their climatology [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 19(6): 688-696.

刘海文, 丁一汇. 2010. 华北汛期日降水特性的变化分析 [J]. 大气科学, 34(1): 12-22. Liu Haiwen, Ding Yihui. 2010. Analysis

- on daily precipitation characteristics over North China during rainy seasons [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 34 (1): 12–22.
- Liu Hongbo, Zhang Da-Lin, Wang Bin. 2008. Daily to submonthly weather and climate characteristics of the summer 1998 extreme rainfall over the Yangtze River basin [J]. *Journal of Geophysical Research*, 113, D22101, doi: 10.1029/2008JD010072.
- 陆日宇. 2002. 华北汛期降水量变化中年代际和年际尺度的分离 [J]. *大气科学*, 26 (5): 611–624. Lu Riyu. 2002. Separation of interannual and interdecadal variations of rainfall in North China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 26 (5): 611–624.
- Ma Zhuguo. 2007. The interdecadal dry/wet trend and shift of North China and their relationship to the Pacific Decadal Oscillation (PDO)[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52 (15): 2130–2139.
- 毛江玉, 吴国雄. 2005. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡 [J]. *气象学报*, 63 (5): 762–770. Mao Jiangyu, Wu Guoxiong. 2005. Intraseasonal variability in the Yangtze–Huaihe River rainfall and subtropical high during the 1991 Meiyu period [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 63 (5): 762–770.
- Murakami M. 1976. Analysis of summer monsoon fluctuations over India [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 54: 15–31.
- 陶诗言, 卫捷. 2006. 再论夏季西太平洋副热带高压的西伸北跳 [J]. *应用气象学报*, 17 (5): 513–524. Tao Shiyan, Wei Jie. 2006. The westward, northward advance of the subtropical high over the West Pacific in summer [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 17 (5): 513–524.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79: 61–78.
- Vincent D G, Fink A, Schrage J M, et al. 1998. High- and low-frequency intraseasonal variance of OLR on annual and ENSO timescales [J]. *J. Climate*, 11: 968–986.
- Wang B, Xu X. 1997. Northern Hemispheric summer monsoon singularities and climatological intraseasonal oscillation [J]. *J. Climate*, 10: 1071–1085.
- Wang Huijun. 2001. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 18: 376–386.
- 王遵娅, 丁一汇. 2008. 中国雨季的气候学特征 [J]. *大气科学*, 32 (1): 1–13. Wang Zunya, Ding Yihui. 2008. Climatic characteristics of rainy seasons in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (1): 1–13.
- 卫捷, 张庆云, 陶诗言. 2003. 近 20 年华北地区干旱早期大气环流异常特征 [J]. *应用气象学报*, 14 (2): 140–151. Wei Jie, Zhang Qingyun, Tao Shiyan. 2003. Characteristics of atmospheric circulation anomalies during persistent droughts in North China for last decades [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 14 (2): 140–151.
- 伍荣生. 1999. 现代天气学原理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 319pp. Wu Rongsheng. 1999. *Principles of Modern Synoptic Meteorology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 319pp.
- Yasunari T. 1979. Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere summer monsoon [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 57: 227–242.
- 张庆云. 1999. 1880 年以来华北降水及水资源的变化 [J]. *高原气象*, 18 (4): 486–495. Zhang Qingyun. 1999. The variations of the precipitation and water resources in North China since 1880 [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 18 (4): 486–495.
- 赵汉光. 1994. 华北的雨季 [J]. *气象*, 20 (6): 3–8. Zhao Hanguang. 1994. The rainy season in North China [J]. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 20 (6): 3–8.
- Zveryaev I I. 2002. Interdecadal changes in the zonal wind and the intensity of intraseasonal oscillations during boreal summer Asian monsoon [J]. *Tellus*, 54A: 288–298.