

吴瑶,杜良敏. 2016. 副高脊线的月内振荡对汉江上游秋汛的影响. 气象, 42(11):1379-1386.

副高脊线的月内振荡对汉江上游秋汛的影响^{*}

吴 瑶 杜良敏

武汉区域气候中心, 武汉 430074

提 要: 利用 1951—2014 年中国台站逐日降水资料及 NCEP/NCAR 再分析资料, 通过突变检验、周期分析等方法, 研究了秋季 9—10 月副高脊线的年代际变化和月内振荡特征及其与汉江上游秋季降水存在的可能关联。结果表明: 秋季副高脊线位置在 1997 年前后发生了突变, 这与秋季副高强度的突变时间存在着较为明显的差异。秋季副高脊线位置发生突变后, 与 1997 年之前相比明显偏北, 且偏北日数增多, 同时月内振荡也较脊线突变前偏强, 与之对应的华西秋雨的降水量也随之增多。当其准双周周期较强时, 汉江上游 9—10 月容易降水偏多; 而相反地, 脊线准双周周期弱时, 则更易发生少雨。

关键词: 秋汛, 副高, 脊线, 准双周振荡

中图分类号: P466

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.11.010

Impact of Ridge Line of the Western Pacific Subtropical High on the Upper Reaches of Hanjiang River in Autumn Flood Season

WU Yao DU Liangmin

Wuhan Regional Climate Centre, Wuhan 430074

Abstract: Based on the daily precipitation data of stations in China and NCEP/NCAR reanalysis data and using Mann-Kendall method and period analysis, this paper analyzes the decadal variability and intra-monthly oscillation of the ridge line position of the western Pacific subtropical high (WPSH) in autumn, and the possible connection with autumn precipitation over the upper reaches of Hanjiang River. The results show abrupt change of the WPSH ridge line in autumn happened around 1997, which is very different from the WPSH strength. After the abrupt change, the WPSH ridge line in autumn obviously moved north and the days when it stayed by north were more than before. Meanwhile, stronger intra-monthly oscillation of the WPSH ridge line and increasing autumn precipitation over the upper reaches of Hanjiang River were observed. When quasi-biweekly period is strong, it is more likely to be rainy in autumn over the upper reaches of Hanjiang River. Conversely when quasi-biweekly period is weak, it is more likely to be dry.

Key words: autumn flood, western Pacific subtropical high (WPSH), ridge line, quasi-biweekly oscillation

引 言

丹江口水库位于汉江流域中上游地区, 是南水

北调中线工程的水源地。华西秋雨作为这一地区秋季的主要气候事件(高由禧等, 1958; 徐桂玉等, 1994; 白虎志等, 2004), 秋汛发生与否十分重要。9—10 月是华西秋雨的强盛期, 易发生汉江秋汛。

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306024、GYHY201306033 和 GYHY201306021)、湖北省气象局重点科技项目(2015Y07)及湖北省气象局青年基金(2016Q06)共同资助

2016 年 1 月 18 日收稿; 2016 年 9 月 22 日收修定稿

第一作者: 吴瑶, 主要从事短期气候预测工作. Email: wzd361301@163.com

通信作者: 杜良敏, 主要从事短期气候预测工作. Email: duliangmin@outlook.com

湛芸等(2003)分析了我国秋季降水的特征,发现长江中下游地区秋季旱涝与欧亚大陆冷高压以及西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)关系显著;白虎志等(2004)对华西秋雨的气候特征及成因进行了研究,发现华西秋雨的主要影响系统分别是西太副高、印缅槽和巴尔喀什湖低槽,其研究均表明西太副高对我国秋季降水有着重要的影响,崔讲学等(2007)的研究也表明汉江秋汛与西太副高的位置、强弱密切相关。而影响华西秋雨的主要系统又受到外强迫影响,柳艳菊等(2012)对 2011 年华西秋雨进行了分析,发现当年开始的 La Niña 事件对降水有显著影响;刘佳等(2013)研究发现了夏、秋季印度洋偶极子与华西秋雨有显著的正相关关系;肖莺等(2013)发现前期印度洋、赤道中太平洋、北太平洋等 3 个海温关键区发生异常时,华西秋雨的几个主要影响系统随之产生不同配置状态,从而对汉江秋汛造成影响。

诸多研究表明,东亚夏季风区(Lau et al, 1988; Fukutomi et al, 1999)准双周振荡现象明显,且该现象广泛存在,风场(杨义碧, 1980)、降水场(Yang et al, 2010; 童金等, 2013)、涡度场(汪天一等, 2012)都具有准双周振荡的特征。丁一汇(1991)发现不仅在季风区,中高纬地区的冷空气活动也具有准双周振荡特征。低频振荡作为大气中的重要系统,对降水有着重要影响,夏芸(2007)对 2003 及 2001 年夏季低频振荡进行了研究,发现涝年季节内振荡和准双周振荡均较明显,低频降水显著,而早年仅季节内振荡显著,低频环流配置不利降水生成;纪忠萍等(2011)对西江流域致洪暴雨的准双周振荡进行了研究,发现不同来源的低频纬向风在西江流域相遇是暴雨发生的原因;毛江玉等(2005)、尹志聪等(2012)均有研究表明江淮梅雨也具有明显的准双周振荡特征。冬季大气也具有显著的低频振荡特征,邵懿等(2011)对 2008 年南方低温雨雪期间低频振荡进行了研究,结果表明很多气象要素均具有显著的准双周振荡特征;而 MJO 也在持续雨雪事件中扮演重要角色(吴俊杰等, 2009; 朱毓颖等, 2013);冬季在 10~20 d 准双周振荡较强的背景下,也更容易发生强降温事件(纪忠萍等, 2007; 马晓青等, 2008)。大多数研究集中针对夏、冬季(冯俊阳等, 2012; 刘炜等, 2014),对于秋季低频振荡的研究相对较少,王霄等(2014)对河南秋季连阴雨进行了分析,发现秋季降水的低频周期长于夏季;周建琴等(2014)发现南

半球低纬度 850 hPa 经向风的低频振荡北传是形成云南秋季连阴雨的原因。对副高而言,也有研究(罗婷, 2014)表明其强度和西伸脊点具有明显季节内振荡特征,本文主要从秋季副高脊线的低频振荡特征上讨论其对汉江秋汛的影响。

1 资料和方法

本文使用国家气象信息中心提供的全国 2388 站逐日观测数据,选取汉江上游 36 站 1951—2014 年逐日降水,以及 NCEP/NCAR 1951—2014 年逐日 500 hPa 高度场和风场数据,空间分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

西太副高指数采用刘芸芸等(2012)对国家气候中心监测指标重建的定义,并利用 NCEP 资料重新计算副高脊线和西伸脊点的逐日值。对逐日副高脊线指数进行进一步计算,分别得到 9—10 月偏北日平均位置和偏南日平均位置,以及偏北日数。

气候突变检验采用 M-K 法(符淙斌等, 1992),该方法计算简单,可以清除展示突变开始时间以及突变区域。

周期分析采用小波变换。气候时间序列含有不同时间尺度的变化,利用小波变换可以对其进行分解,进而提取所需要的气候信号进行研究。

滤波计算采用 Butterworth 带通滤波器(吴洪宝等, 2010),该方法是分离变量场不同尺度信号的常用方法。

2 秋季西太副高脊线位置的年代际变化和月内振荡变化特征分析

2.1 秋季西太副高脊线位置的年代际变化

诸多研究表明,西太副高在 20 世纪 70 年代中后期发生了明显转折(龚道溢等, 2002),强度由弱转强、面积由小变大,但大多数研究仅针对夏季副高。本文对秋季西太副高的西伸脊点指数和脊线指数进行分析,从 M-K 检验结果上看(图 1a),副高西伸脊点位置的突变发生在 1977 年前后,这一时间与副高强度的突变时间(龚道溢等, 2002)一致,1977 年之前西伸脊点偏东,而 1977 年之后转为显著偏西。

而副高脊线位置变化则与其强度、面积、西伸脊点三个指数有明显差异,从图 1b 上看,脊线位置突

变发生在 1997 年前后,并且发生这一突变事件之前,脊线位置基本在平均值上下摆动,并没有明显偏

南或者偏北,发生突变后,脊线位置显著偏北。

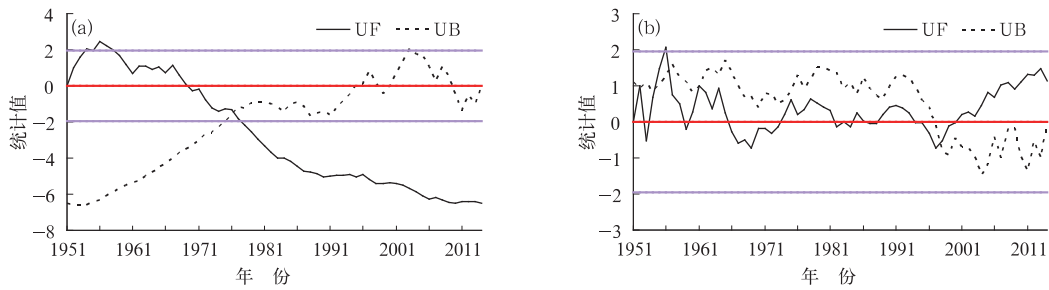


图 1 9—10 月副高西伸脊点指数(a)和脊线指数(b)的 M-K 检验(直线为 0.05 的信度)

Fig. 1 Test of subtropical high index using Mann-Kendall method
(Straight line is the critical value of significant level 0.05)
(a) western extension index, (b) ridge line index

2.2 秋季西太副高脊线位置的月内振荡

对 1951—2014 年逐年 9—10 月副高脊线分别进行周期分析,将通过显著性的 1~35 d 周期范围分为 1~5、6~10、11~15、16~20、21~25、26~30 和 31~35 d 共 7 个时段。每年取上述 7 个周期中最大的一个周期,统计各周期出现的年数,结果见图 2,可以发现,16~20 d 及 31~35 d 两个周期较为显著,其中 16~20 d 的准双周周期显著的年份有 15 年,31~35 d 的月尺度周期显著的年份达 20 年。

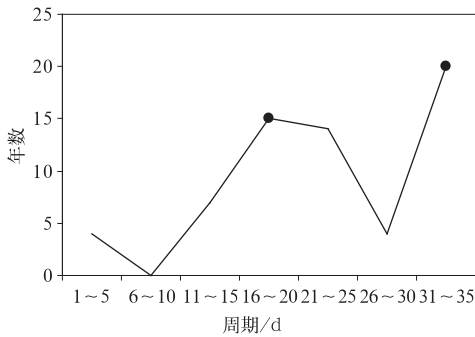


图 2 副高脊线各周期出现的年数
Fig. 2 The number of years with
WPSH ridge line periods

对 1951—2014 年逐年 9—10 月汉江上游一致多雨或一致少雨,且上述两个振荡周期明显的年份进行统计,共 48 年周期情况列于表 1。从结果可以看出,48 年中有 24 年副高脊线振荡仅包含一个周期,占 50%;当副高脊线准双周周期显著,而没有明显月尺度周期时,以多雨年为主;反之,当其没有明显准双周周期,而出现明显月尺度振荡时,汉江上游降水明显偏少。48 年中的其他 24 年则是两种周期同时出现的,在多雨的 10 年中,有 6 年准双周周期强于月尺度周期;在少雨的 14 年中,有 9 年的月尺度周期强于准双周周期。

上述结果表明,副高脊线的准双周周期强是汉江上游 9—10 月多雨的一个重要影响因子,而准双周振荡弱、月尺度周期强则可能导致汉江上游 9—10 月少雨。

2.3 西太副高脊线位置的年代际变化与月内振荡的关系

对 1951—2014 年 9—10 月副高脊线进行 10~30 d 滤波,并计算其所占的方差贡献。如图 3,方差贡献达到 4 成以上的年份有 26 年,占 41%;其中方差贡献 5 成以上有 13 年,占 20%,可以看出,副高

表 1 1951—2014 年低频周期统计
Table 1 Statistics of low frequency periods

	仅含一个周期(共 24 年)		准双周/月尺度周期共存(24 年)
	准双周周期	月尺度周期	
多雨年数	12	1	10(其中 6 年准双周周期更强)
少雨年数	4	7	14(其中 9 年月尺度周期更强)

脊线 10~30 d 的月内振荡在脊线变化中占有较大比重。前面分析表明,副高脊线在 1997 年发生突变,突变后脊线位置偏北,将月内振荡的方差贡献与副高脊线距平进行对比(图 3),发现 1997 年突变之前(1951—1996 年),脊线距平变化与方差贡献呈反

相关分布,相关系数达 -0.29 ,通过 0.05 的显著性水平检验;而突变发生后,这一关系有所转变,近年来,尤其是 2006 年之后,脊线距平变化与准双周振荡的方差贡献呈正相关。

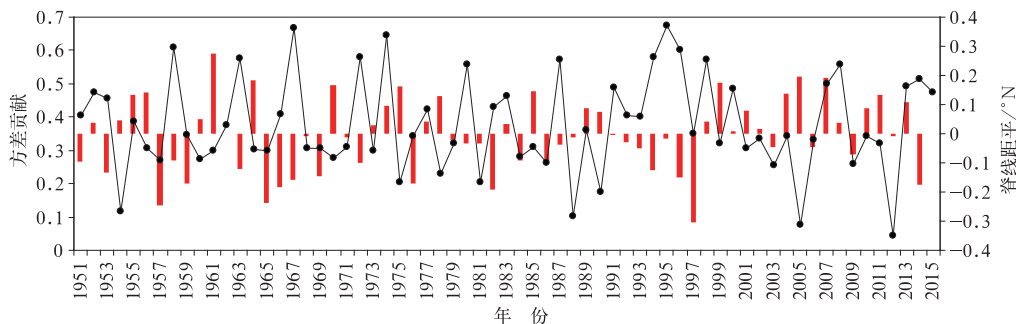


图 3 副高脊线 10~30 d 周期滤波值的方差贡献(折线)与副高脊线距平(柱状)

Fig. 3 The variance contribution of low frequency(10—30 d) filtering result of the ridge line index (curve) and WPSH ridge line anomaly (histogram, unit: $^{\circ}\text{N}$)

3 西太副高脊线的变化对汉江上游降水的影响

3.1 西太副高脊线位置的年代际变化对汉江上游降水的影响

计算 1951—2014 年逐年汉江上游 36 站 9—10 月总降水量平均值,与西太副高脊线位置进行比较,图 4 给出汉江上游流域 9—10 月降水量与副高脊线平均位置(实线)、副高脊线偏北日平均位置(虚线)以及副高脊线偏南日平均位置曲线。

相关分析显示,1997 年之前,汉江上游降水量与副高脊线位置及副高脊线均方差有较好的相关性,相关系数为 0.37 和 -0.34 ,分别通过 0.01 和 0.05 的显著性水平检验。表明在发生突变之前,脊

线偏北有利于汉江上游降水偏多、脊线偏南则利于汉江上游降水偏少。与此同时,副高脊线南北位置变化幅度的大小也对降水有明显影响,当脊线位置在平均值附近变化时,降水易偏多;而当其南北振幅加大时,反而不利降水。

在脊线位置发生突变之后的 1997—2014 年,上述相关关系也随之发生变化。由于副高位置整体以偏北为主,脊线平均位置与降水的关系不再显著。将 9、10 月降水分开来看,9 月由于处在季节转换时期,脊线的南北变化对降水的影响不显著,反而副高强度、面积与 9 月降水具有明显的正相关关系,相关系数均在 0.45 以上,通过 0.05 的显著性水平检验;而 10 月,由于副高季节性南撤,副高脊线位置的偏北天数则与汉江上游降水显著正相关,当副高偏北日数多时,汉江上游降水易偏多。

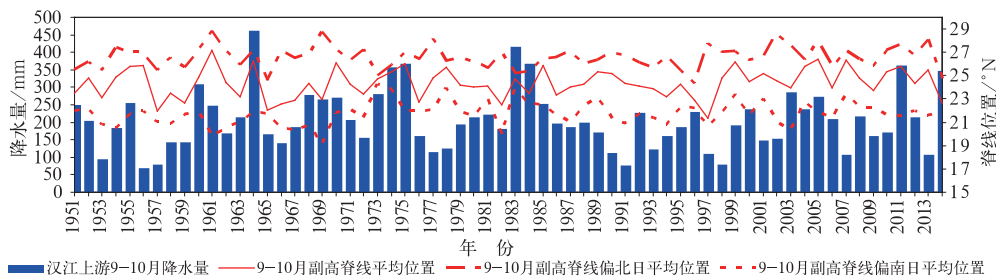


图 4 汉江上游流域 9—10 月降水量(柱状图)与副高特征指数(折线)的逐年变化

Fig. 4 The precipitation in the upper reaches of the Hanjiang River from September to October (histogram, unit: mm) and subtropical high index (curve, unit: $^{\circ}\text{N}$)

3.2 西太副高脊线位置的月内振荡对汉江上游降水的影响

如图 5 所示,对 1951—2014 年 9—10 月汉江上游的降水距平百分率进行标准化,以大于或小于 1 为标准选取显著多雨年及少雨年。各选取 4 年,分别是:典型多雨年为 1964、1983、2011 和 2014 年,典型少雨年为 1956、1991、1998 和 2013 年。

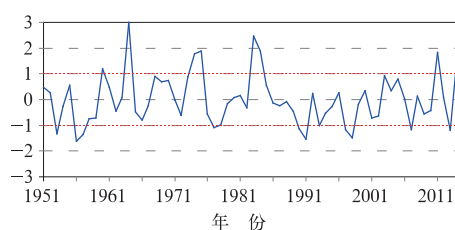


图 5 1951—2014 年汉江上游标准化降水距平百分率序列

Fig. 5 Standardized precipitation anomaly percentage of the upper reaches of Hanjiang River in the Autumns of 1951—2014

3.2.1 典型多雨年副高脊线的月内振荡

对上述 4 个典型多雨年 9—10 月逐日副高脊线位置进行小波分析,为了消除边界效应的影响,将时间序列延长为 8—11 月,以使得所关注的 9—10 月分析结果在可信区间内。图 6 显示出汉江上游典型多雨年副高脊线在月内有两个较为明显周期,分别是 15 和 30 d。而 15 d 的周期在 9—10 月一直稳定存在,30 d 周期则仅存在于 9 月,可见副高脊线的准双周振荡特征在多雨年表现得较为显著。

图 7 给出典型多雨年 10~20 d 的低频环流,可以看到整个欧亚大陆低频振荡均较为明显。500 hPa 高度场上,在中纬度自西向东存在明显的低频波列,而低纬孟加拉湾地区也有西南—东北向低频波列;850 hPa 低频风场显示汉江上游正处在南北气流交汇处,十分有利于降水。

3.2.2 典型少雨年副高脊线的月内振荡

再来看典型少雨年的情况。相对于多雨年来说,少雨年的月内振荡总体较弱(图 8),仅 30 d 周期显著。从低频环流上看,准双周振荡波列不清晰,低频环流的正负中心值明显弱于多雨年;低频风场上虽然汉江上游受偏南风控制,但北方冷空气路径偏北,不利降水发生(图 9)。

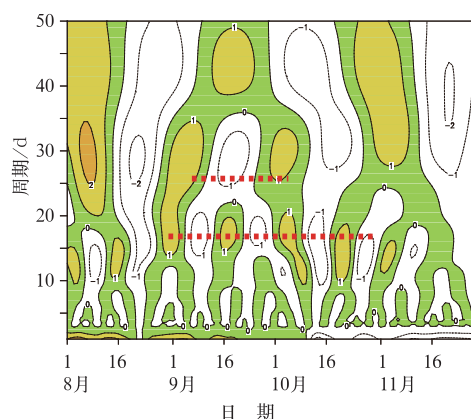


图 6 典型多雨年 8—11 月逐日副高脊线指数的小波分析

Fig. 6 Wavelet analysis of the ridge line index from August to November in flood years

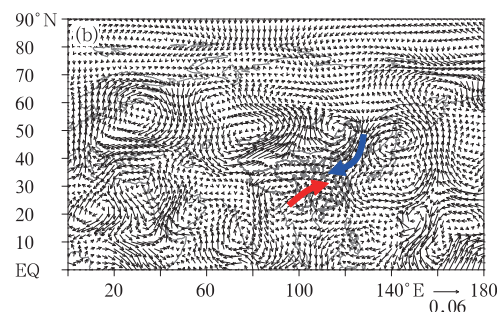
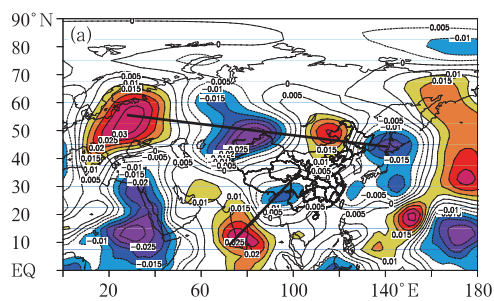


图 7 典型多雨年 9—10 月低频(10~20 d)500 hPa 位势高度场(标准化)(a)

及 850 hPa 风场(b)(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)合成图

Fig. 7 500 hPa geopotential height field (a) and 850 hPa wind field (b) (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) from September to October of flood years

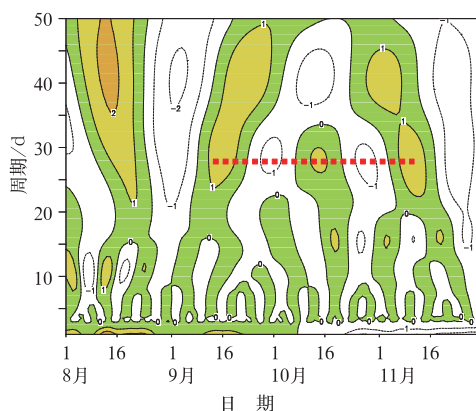
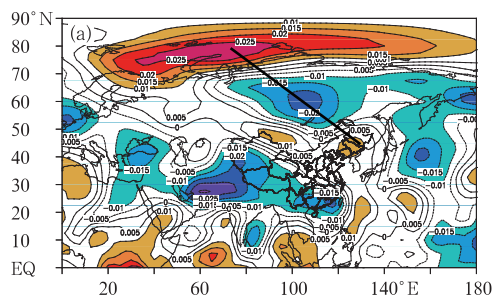


图 8 同图 6, 但为典型少雨年
Fig. 8 Same as Fig. 6, but for typical drought year



3.2.3 西太副高脊线准双周振荡的传播

前面分析表明,副高脊线的准双周振荡对汉江上游 9—10 月降水影响十分显著。下面以 2014 年秋汛期为例,讨论准双周振荡的传播特征。

2014 年 9—10 月汉江上游降水偏多 2~8 成,秋汛明显,逐日降水过程如图 10。

2014 年副高脊线在月内存在明显的 10~20 d 周期(图 11),符合前面所述的典型多雨年特征,并且在 10~15 及 15~20 d 分别有两个振荡中心。

对应降水过程来看,在 9 月前期,脊线的准双周振荡略弱,这一时期是一段降水集中期,看不出明显的双周周期;而从 9 月下旬开始,副高脊线的准双周振荡逐步加强,并且在 10~15 及 15~20 d 两个尺

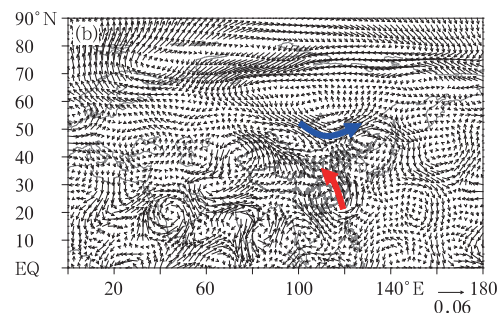


图 9 同图 7, 但为典型少雨年
Fig. 9 Same as Fig. 7, but for typical drought year

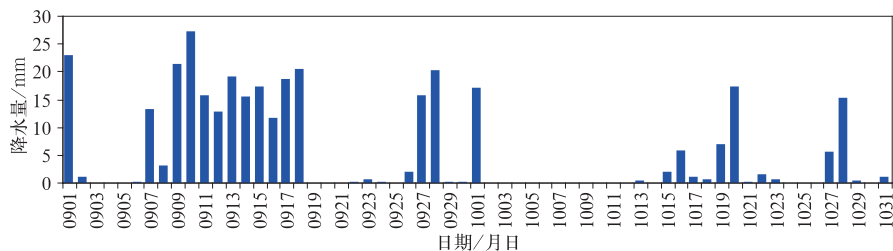


图 10 2014 年 9—10 月汉江上游 36 站逐日降水均值(单位:mm)
Fig. 10 The daily average precipitation in the upper reaches of Hanjiang River from September to October 2014 (unit: mm)

度上均有加强,而降水过程也开始明显呈现出 10~20 d 一次的准双周特征(图 10)。

对 2014 年 9—10 月逐日 500 hPa U 、 V 风场分别进行滤波,提取 10~20 d 准双周振荡。图 12 为 V 风场的时间-纬度剖面图,可以看到 9 月上旬末和 10 月中旬初分别有两次较强的准双周振荡北传,其中低频南风控制的时段,对应汉江上游降水。而 U 风场(图 13)上,准双周振荡也有明显的东传,并且在 10 月这种振荡的强度得到增强,同样,低频西风

也对应着几次明显降水时段。

可以看出,在 U 、 V 风场具有显著准双周振荡特征时,受其正位相(低频西南风)的控制,容易发生降水;当这种正位相长期稳定控制时,易形成降水集中期,而准双周振荡的传播则使得副高脊线以及汉江上游的降水呈现出明显准双周振荡特征。

综上所述,秋汛期副高脊线的月内振荡较为明显,准双周振荡显著且具有明显的东传和北传特征;而典型少雨年月内振荡较弱,尤其是可能对多雨造

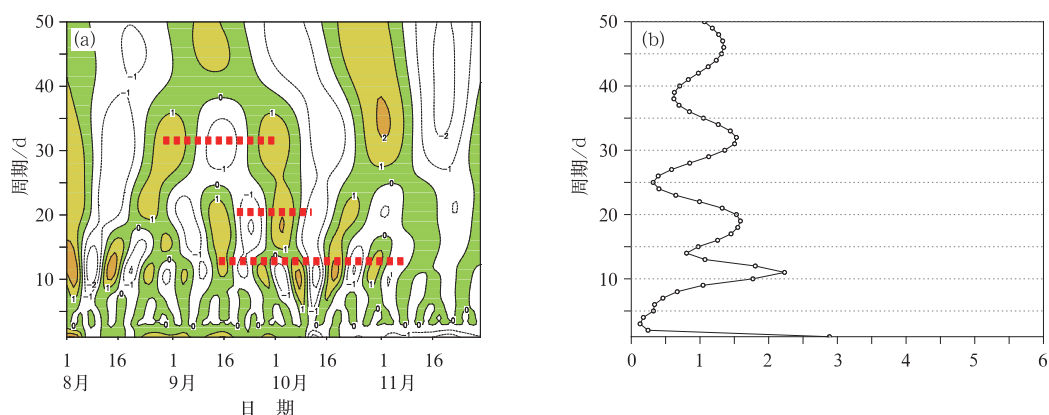
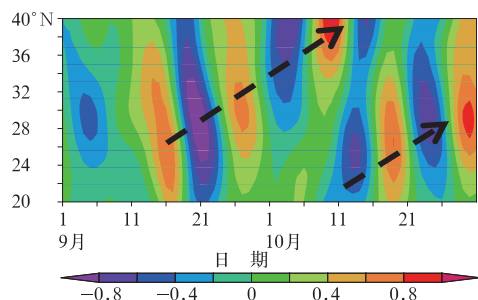
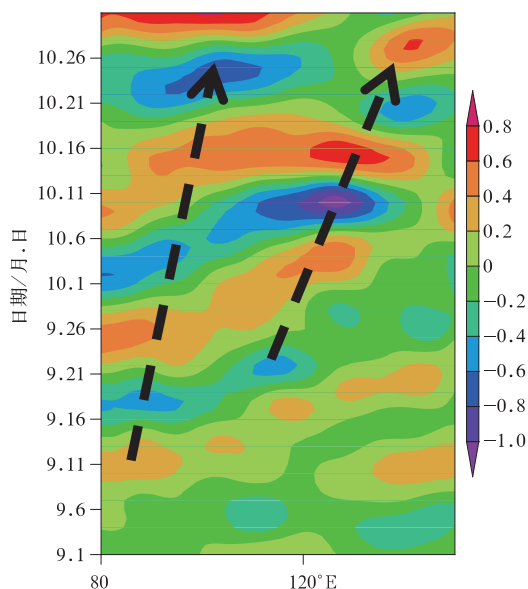


图 11 2014 年 9—10 月逐日副高脊线指数的小波分析

Fig. 11 Wavelet analysis of the ridgeline index from September to October 2014

图 12 10~20 d 500 hPa V 风场的
时间-纬度剖面图(105°~115°E 平均)Fig. 12 The latitude-time section of low
frequency (10–20 d) filtering result of the
V-winds (105°–115°E average)图 13 10~20 d 500 hPa U 风场的
时间-经度剖面图(25°~35°N 平均)Fig. 13 The longitude-time section of low
frequency (10–20 d) filtering result of the
u-winds (25°–35°N average)

成影响的准双周振荡不明显。

4 结论与讨论

副高脊线位置的变化是影响秋汛降水的重要因子,本文从这一单因素的影响出发,来探讨其变化对汉江上游秋汛期降水的可能影响。

从年代际背景上,秋季副高脊线在 1997 年发生突变,这一时间与副高强度、面积、西伸脊点的突变时间有着明显差异。突变发生前,脊线偏北有利于汉江上游降水偏多、脊线偏南则利于汉江上游降水偏少;同时,脊线位置在平均值附近时,降水易偏多;而当其南北振幅增大时,降水偏少。发生突变后,脊线位置明显偏北,当副高偏北日数多时,汉江上游降水易偏多,且这一关系在 10 月更显著。

低频振荡作为大气中的重要系统,对降水有着重要影响,副高脊线的月内振荡也对汉江上游降水有着重要影响,当其准双周周期较强时,汉江上游 9—10 月易降水偏多;而当副高振荡周期较弱,尤其是准双周周期弱时,则更易发生少雨。

需要指出的是,本文研究仅针对副高脊线这一单一因子,而降水的影响因子众多,副高作为其中之一虽然起到重要作用,但还需要其他配置条件。以 2015 年为例,2015 年副高脊线的准双周振荡很强,但汉江上游降水西多东少,并不是典型的多雨/少雨年,从低频环流场上分析,这一年东北地区低频气旋强大,汉江上游受偏西风控制,尤其是汉江上游东部水汽条件不足,无法形成降水。从而可以看出,虽然副高脊线的准双周振荡是汉江上游降水的一个重要原因,但准双周振荡强的时候也并不是一定有强的降水产生,还需要其他方面,比如水汽条件的配合。而脊线的振荡则可以在预测业务中作为一个参考因

子进行考虑。

参考文献

- 白虎志,董文杰.2004.华西秋雨的气候特征及成因分析.高原气象,23(6):884-889.
- 湛芸,施能.2003.我国秋季降水、温度的时空分布特征及气候变化.南京气象学院学报,26(5):622-630.
- 崔讲学,徐双柱,王仁乔,等.2007.2005年汉江秋汛气象水文特征分析.暴雨灾害,26(4):289-294.
- 丁一汇.1991.东亚寒潮冷空气的传播和行星尺度作用.应用气象学报,2(2):124-132.
- 冯俊阳,肖子牛.2012.热带低频振荡的强度和相位对中国南方冬季降水的影响.气象,38(11):1355-1366.
- 符淙斌,王强.1992.气候突变的定义和检测方法.大气科学,16(4):482-493.
- 高由禧,郭其蕴.1958.我国的秋雨现象.气象学报,29(4):264-273.
- 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.地理学报,57(2):185-193.
- 纪忠萍,谷德军,梁健,等.2007.近55年影响广州的强冷空气及其准双周变化.大气科学,31(5):999-1010.
- 纪忠萍,胡丽甜,谷德军,等.2011.西江流域致洪暴雨的准双周振荡及大气环流模型.热带气象学报,27(5):775-784. DOI: 10.3969/j.issn.1004-4965.2011.05.021.
- 刘佳,马振峰,杨淑群,等.2013.夏秋季印度洋偶极子和西南区域华西秋雨的关系.//第30届中国气象学会年会论文集:1-10.
- 刘炜,周顺武,智海.2014.1998年夏季青藏高原东南部降水30~60d低频振荡特征.气象,40(5):530-540.
- 刘芸芸,李维京,艾锐秀,等.2012.月尺度西太平洋副热带高压指数的重建与应用.应用气象学报,23(4):414-423.
- 柳艳菊,孙冷,孙丞虎,等.2012.2011年秋季华西秋雨异常及成因分析.气象,38(4):456-463.
- 罗婷.2014.西太平洋副热带高压季节内振荡特征及其对东亚大气环流的影响.云南大学.
- 马晓青,丁一汇,徐海明,等.2008.2004/2005年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究.大气科学,32(2):380-394.
- 毛江玉,吴国雄.2005.1991年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡.气象学报,63(5):762-770.
- 邵颢,张祖强,陶丽.2011.2007/2008年冬季中国南方低温雨雪天气期间大气准双周振荡作用分析.气象环境与科学,34(3):1-6.
- 童金,徐海明,智海.2013.江淮旱涝及旱涝并存年降水和対流的低频振荡统计特征.大气科学学报,36(4):409-416.
- 汪天一,杨修群.2012.夏季热带西太平洋的准双周振荡及西太副高和中国南方降水的响应.//2012年全国大气科学博士生学术论坛暨第十二届海峡两岸青年学术研讨会论文集:21-21.
- 王霄,孔海江.2014.2011年秋季河南持续降水的低频环流特征.气象环境与科学,37(1):62-68.
- 吴洪宝,吴蕾.2010.气候变率诊断和预测方法.北京:气象出版社,49-59,232-237.
- 吴俊杰,袁卓建,钱钰昆,等.2009.热带季节内振荡对2008年初南方持续性冰冻雨雪天气的影响.热带气象学报,25(增刊):103-111.
- 夏芸.2007.夏季江淮流域强降水过程与低频振荡的联系.南京信息工程大学. DOI:10.7666/d.y1079924.
- 肖莺,杜良敏,任永建.2013.汉江流域秋汛期典型旱涝年与前期海温的关系研究.暴雨灾害,32(2):182-187.
- 徐桂玉,林春育.1994.华西秋雨特征及成因探讨.气象科学,14(2):149-154.
- 杨义碧.1980.西太平洋地区信风的振动及其与北太平洋热带环流的关系.大气科学,4(3):253-261.
- 尹志聪,王亚非,袁东敏,等.2012.江淮梅雨期降水南北反位相分布与大气准双周振荡.热带气象学报,28(4):517-526. DOI:10.3969/j.issn.1004-4965.2012.04.010.
- 周建琴,晏红明,郑建萌,等.2014.2010年9—10月云南连阴雨发生的事实和成因分析.高原气象,33(1):106-115. DOI:10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00169.
- 朱毓颖,江静.2013.中国冬季持续性低温事件的低频特征以及中低纬大气低频振荡对其的影响.热带气象学报,29(4):649-655.
- Fukutomi Y, Yasunari T. 1999. 10-25 day intraseasonal variations of convection and circulation over East Asia and Western North Pacific during early summer. J Meteor Soc Japan, 77:753-769.
- Lau K M, Yang G J, Shen S H. 1988. Seasonal and intraseasonal climatology of summer monsoon rainfall over East Asia. Mon Wea Rev, 116:18-37.
- Yang J, Wang B, Wang B, et al. 2010. Biweekly and 21—30-day variations of the subtropical summer monsoon rainfall over the Lower Reach of the Yangtze River Basin. J Climate, 23:1146-1159.