

司东, 柳艳菊, 马丽娟, 等. 2011 年初夏我国长江中下游降水的气候特征及成因[J]. 气象, 2012, 38(5): 601-607.

# 2011 年初夏我国长江中下游降水的气候特征及成因<sup>\*</sup>

司 东 柳艳菊 马丽娟 王艳娇 王遵娅 唐进跃

国家气候中心, 北京 100081

**提 要:** 文章主要分析了 2011 年初夏长江中下游降水的气候特征及其成因。结果表明: 2011 年 5 月长江中下游降水异常偏少, 6 月转为异常偏多, 出现了明显的旱涝转换。长江中下游地区的旱涝转换主要受南海季风、东亚季风强度以及西太平洋副热带高压(副高)的异常快速北跳的影响。研究还发现, 6 月亚洲中高纬长期维持两槽一脊的环流形势, 东北冷涡活动频繁, 多次引导冷空气南下。同时, 副高异常偏北、偏西, 并出现多次西伸过程。由于冷涡的加强南压与西伸的副高相互作用, 促使长江以南地区西南气流明显增强, 使得冷暖空气在长江中下游地区交汇, 最终导致该地降水偏多。

**关键词:** 旱涝转换, 西太平洋副热带高压, 东北冷涡, 降水

## Climatic Characteristics and Cause Analysis of Precipitation over the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Valley During Early Summer of 2011

SI Dong LIU Yanju MA Lijuan WANG Yanjiao WANG Zunya TANG Jinyue

National Climate Centre, Beijing 100081

**Abstract:** The climatic characteristics of precipitation over the middle and lower reaches of the Yangtze River Valley (YRV) during early summer of 2011 and associated causes are examined in this study. It is shown that, during May 2011, the precipitation over the middle and lower reaches of the YRV was below normal, but was above normal during June, and then drought-flood alternation occurs. This droughts-flood alternation is mainly influenced by the intensity of the South China Sea summer monsoon and the East Asian summer monsoon, and the abrupt northward shift of the western Pacific subtropical high (WPSH). During June 2011, there are two troughs located in the Arabian Sea and the Sea of Japan respectively, and a ridge located in the Lake Baikal over the middle-high latitude Eurasian area. The frequent activities of northeast cold vortex (NECV) bring cold air masses to the middle and lower reaches of the YRV. At the same time, the WPSH extends to the west and north of its normal position, and shifts westward several times in June. It is indicated that it is just the interaction between the NECV and WPSH that leads to the reinforcement of the southwest low-level jet (LLJ) in the lower troposphere. The convergence between the northward warm and wet southwesterly flow brought by LLJ and the southward dry and cold air by NECV is favorable to the positive precipitation anomaly in the middle and lower reaches of the YRV.

**Key words:** drought-flood alternation, western Pacific subtropical high (WPSH), northeast cold vortex, precipitation

\* 国家重点基础研究发展(973)计划(2010CB950404 和 2012CB955203), 国家科技支撑计划(2009BAC51B02)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006009)共同资助

2011 年 8 月 18 日收稿; 2012 年 2 月 16 日收修定稿

第一作者: 司东, 主要从事气候诊断研究. Email: sidong@cma.gov.cn

## 引言

2011 年 1—5 月,长江中下游地区降水量明显偏少,长江中下游五省(湖北、湖南、江西、安徽和江苏)平均降水量 260.9 mm,较常年同期(533.3 mm)偏少 51%,为近 60 年来同期最少;五省平均累计无降水日数为 105 天,为近 60 年来同期最多。受少雨程度重、持续时间长、干旱区集中等影响,长江中下游地区江河湖库水位下降甚至枯竭,部分地区出现严重旱情<sup>[1]</sup>。

进入 6 月,长江中下游出现多次强降水过程,持续的强降水大大缓解了长江中下游地区前期的旱情。但由于强降水范围广、持续时间长、累计雨量大、局地降雨强,导致长江中下游部分地区出现旱涝急转,10 多条河流发生了超保证水位的洪水,其中湖北陆水上游、江西乐安河、浙江钱塘江中上游、湖南湘江支流涓水等河流发生超历史实测记录的大洪水。浙江诸暨浦阳江沿线部分湖泊两次决堤,新安江水库近 12 年来首次泄洪。据不完全统计,江西、湖北、湖南、浙江和安徽等省共 3394.7 万人受灾,死亡 106 人,农作物受灾面积 208.3 万  $\text{hm}^2$ ,直接经济损失 293.6 亿元<sup>[1]</sup>。

本文利用 NCEP/NCAR 逐日再分析资料(要素包括:位势高度、水平风场、垂直速度、温度和比湿)以及国家气象信息中心提供的 700 站逐日观测降水资料,分析 2011 年初夏我国长江流域气候特征,并讨论 5 和 6 月长江中下游旱涝急转以及 6 月长江中下游出现的多次强降水过程的成因。

## 1 2011 年初夏长江中下游降水特征

2011 年 5 月,我国长江中下游地区降水明显偏少,与常年同期相比大部分地区偏少 4~6 成(图 1a)。进入 6 月,我国长江中下游地区降水由 5 月的偏少突然转为偏多,大部分地区累计降水量达 200 mm 以上,其中浙江西部、安徽南部、江西北部、湖北东南部等地达 300~700 mm,与常年同期相比偏多 5 成至 2 倍(图 1b)。

从 2011 年 5—6 月长江中下游地区逐日雨量演变(图 2)中可以看出,5 月,长江中下游地区降水较少,几乎没有明显的降水过程出现。进入 6 月,降水明显增多,月内长江中下游地区一共出现 5 次明显强降水过程,分别出现在:4—7 日、10—12 日、14—16 日、18—20 日、24—26 日,其中第 1 次降水过程

持续的时间最长,达 4 天。

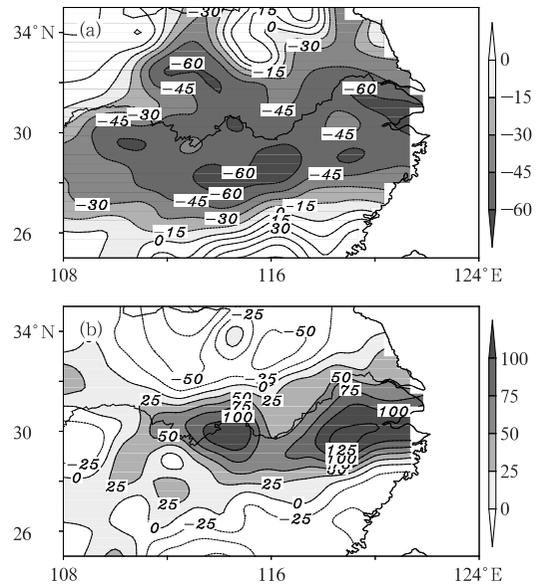


图 1 2011 年长江中下游及其附近地区降水距平百分率分布(单位:%)(a) 5 月, (b) 6 月  
Fig. 1 Percentage of precipitation anomalies over the middle and lower reaches of the Yangtze River Valley(unit:%) (a) May 2011, (b) June 2011

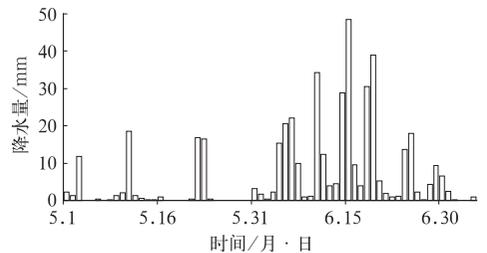


图 2 2011 年 5 月 1 日至 7 月 2 日长江中下游区域平均(28°~32°N, 110°~120°E)逐日降水量演变(单位:mm)  
Fig. 2 Time series of precipitation (unit:mm) over the middle and lower reaches of the Yangtze River Valley (28°—32°N, 110°—120°E) from 1 May to 2 July 2011

## 2 2011 年 5、6 月长江中下游旱涝转换

图 3 给出了长江中下游旱涝转换前后 500 hPa 位势高度及其距平场的分布特征。从图 3a 中可以看出,5 月,欧亚中高纬地区总体呈两槽两脊的环流形势,大槽分别位于贝加尔湖和鄂霍次克海附近上空,而在咸海和东西伯利亚附近上空分别存在一高

压脊,且槽脊的强度均偏强,尤其是贝加尔湖上空异常偏强的高空槽,有利于西风槽和低涡的发展、东移,影响我国北方地区,造成我国北方,尤其是东北、华北和内蒙古中东部等地降水偏多。此外,西太平洋副热带高压(简称副高)与常年同期相比,明显偏强、偏西,脊线位于 18°N 附近,我国华南地区正好位于副高西北侧边缘,有利于我国华南地区多雨,而长江中下游地区干旱少雨。

到了 6 月,欧亚中高纬地区调整为两槽一脊的环流形势,大槽分别位于威海和鄂霍次克海附近上空,而在贝加尔湖附近上空存在一高压脊,且槽脊的强度均偏强。我国东北地区主要处在槽前西北气流控制下,东北亚地区主要为高度负异常区,有利于我国北方地区低值系统的活跃。而中低纬地区,印缅槽异常偏强。与常年同期相比,副高明显偏强、偏西。6 月一个最为显著的特征是副高异常显著的北跳,脊线平均位于 22°N 附近(图 3b)。而我国长江中下游地区正位于副高北侧或西北侧,有利于长江中下游地区降水偏多。

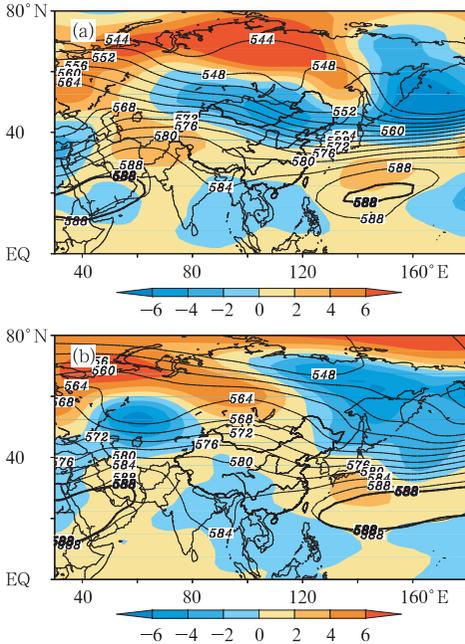


图 3 欧亚地区 500 hPa 位势高度(黑色等值线)及其距平场(阴影区)分布(单位:dagpm)粗等值线为常年平均值  
(a) 2011 年 5 月, (b) 2011 年 6 月  
Fig. 3 Distributions of 500 hPa geopotential heights (the thin solid line denotes contour; the thick line represents climatological subtropical high) and anomalies (shaded area, unit: dagpm)  
(a) May 2011, (b) June 2011

从旱涝转换前后 850 hPa 水汽输送及其散度的距平场中可以看到,5 月(图 4a),南海季风爆发以后,强度总体偏弱<sup>[2]</sup>,导致经我国南海向北输送到我国东部的水汽输送异常偏弱,我国南海至东部一带出现偏北的异常水汽输送。此外,源自热带西太平洋和孟加拉湾的水汽输送也明显偏弱,最终致使我国东部尤其是长江中下游为异常的水汽辐散区所控制,使得长江中下游地区干旱少雨。到了 6 月,随着副高的异常显著北跳(图 3),我国长江以南地区的季风气流异常偏强。我国东海以东、日本列岛以南出现了一个反气旋式环流异常,导致源自热带西太平洋输送到我国东部的水汽异常偏强,大量的水汽在我国长江中下游地区辐合(图 4b),有利于该地区降水的偏多,最终导致长江中下游旱涝转换。

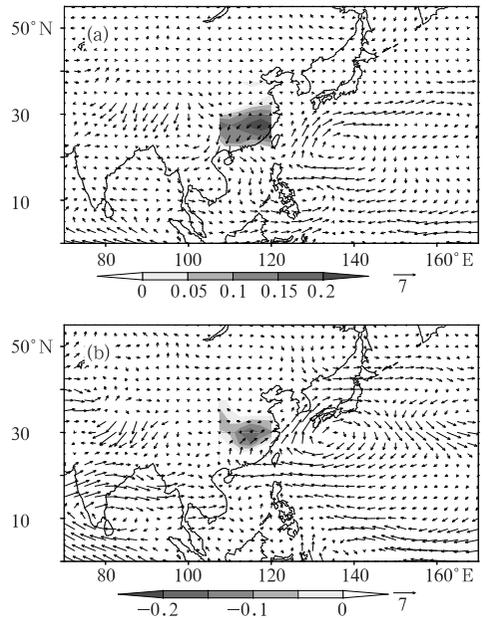


图 4 850 hPa 水汽通量(箭头,单位: $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )及水汽通量散度[阴影区,单位: $10^{-5} \text{g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ]异常场 (a) 2011 年 5 月, (b) 2011 年 6 月  
Fig. 4 Anomalies of 850 hPa vapor flux (vector; unit:  $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and divergence [shaded area; unit:  $10^{-5} \text{g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ]  
(a) May 2011, (b) June 2011

以上分析可知,2011 年 5—6 月长江中下游地区旱涝转换主要受南海季风、东亚季风的强度以及副高的异常快速北跳的影响,其中副高的快速北跳是重要原因之一。图 5 给出了沿 120°~140°E 平均的  $U=0$  等值线的演变,这里用来表征副高脊线位置变化情况。由图可见,5 月副高总体呈逐渐南移的趋势。5 月尤其是中旬至下旬,副高脊线与常年

同期相比略显偏南,有利于华南多雨和长江中下游干旱少雨。进入6月,副高突然北跳,北跳的速度之快远超过历史同期,5月底副高脊线还位于 $18^{\circ}\text{N}$ 附近,到了6月初副高已北跳至 $20^{\circ}\text{N}$ 以北地区。3—20日期间,副高脊线维持在 $20^{\circ}\sim 24^{\circ}\text{N}$ 之间,此时我国长江中下游正好处在副高外围西北侧雨带影响的地区,有利于长江中下游降水增多,导致长江中下游旱涝转换。到了21日,副高北移至 $25^{\circ}\text{N}$ 附近,之后继续北移,而副高外围西北侧的雨带也随之北移至我国长江以北的淮河流域地区。

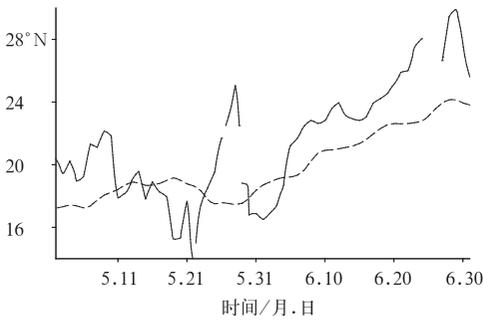


图5 2011年5—6月沿 $120^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 平均500 hPa上 $U=0$ 等值线演变(图中虚线为气候平均值)

Fig. 5 Time-latitude cross sections of 500 hPa  $U=0$  contours (solid line; unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) between  $120^{\circ}\text{E}$  and  $140^{\circ}\text{E}$  during May to June 2011 (dashed line represents climatological value)

副高的活动受热带西太平洋的热力状况影响较大,热带西太平洋海温偏高激发对流活跃和气旋式环流发展,有利于副高北抬<sup>[3]</sup>。从热带西太平洋区域平均的海表温度演变(图6)情况来看,4月热带西

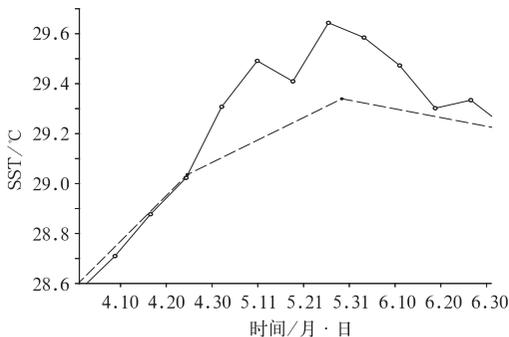


图6 2011年4月1日至6月30日热带西太平洋区域平均( $0^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ )海表温度演变(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )(图中虚线为气候平均值)

Fig. 6 Time series of sea surface temperature (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) over the tropical western Pacific Ocean ( $0^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ ) from 1 April to 30 June 2011 (dashed line represents climatological value)

太平洋的海表温度接近常年同期,进入5月热带西太平洋异常增暖,相比常年同期,普遍偏高 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}$ ,并于5月底海温达到最高。热带西太平洋异常增暖明显要超前于副高北跳约一个月,因此,4月底热带西太平洋海温的异常升高可能是造成副高异常显著北跳的重要原因。

### 3 2011年6月长江中下游降水成因分析

东北冷涡一年四季均有出现,但主要集中在夏季,其中又以6月最多。东北冷涡的活动周期一般为3~5天<sup>[4]</sup>。东北冷涡不仅对我国北方地区,包括东北和华北等地的天气、气候有着重要影响<sup>[5-8]</sup>,而且可引导中高纬的冷空气南下影响长江和淮河流域地区<sup>[9-10]</sup>。频繁的东北冷涡活动,不仅可以影响中短期天气过程,而且对短期气候有着较大的影响。最近何金海等<sup>[9]</sup>提出东北冷涡的“气候效应”这一概念,认为尽管东北冷涡的时间尺度为天气尺度,但是频繁的东北冷涡活动具有显著的“气候效应”。这种“气候效应”不仅会影响东北地区对流层低层的气温,而且对长江、淮河流域梅雨期降水也有显著影响。

2011年6月,东北冷涡活动频繁,共出现3次活跃过程,分别出现在5月30日至6月3日,6月6—14日以及6月21—24日,其中第2次冷涡活动持续时间最长,达9天之久。图7为3次冷涡过程持续期间平均的500 hPa位势高度场分布。从图中可以看出,第1次过程的冷涡平均中心位置位于 $50^{\circ}\text{N}$ 、 $118^{\circ}\text{E}$ 附近,中心高度值为5560 gpm,第2次过程的冷涡平均中心位置位于 $48^{\circ}\text{N}$ 、 $135^{\circ}\text{E}$ 附近,中心高度值为5560 gpm,第3次过程的冷涡平均中心位置位于 $52^{\circ}\text{N}$ 、 $145^{\circ}\text{E}$ 附近,中心高度值为5520 gpm。经统计,近35年来,6月份平均的冷涡活动天数为15天<sup>[11]</sup>,而2011年6月冷涡活动天数达18天,多于常年同期,尤其是6月前半月,冷涡活动更加频繁。

从 $120^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 纬向平均的500 hPa位势高度随时间演变(图8)中可以看出,总体上月内我国东北地区的冷涡共出现3次大的南移过程。3次过程中第1次过程南移最明显,且在1—3日期间,5580 gpm等值线达到 $38^{\circ}\text{N}$ 附近,冷涡在南移过程中也有明显的增强。3次过程中第2次过程持续时间最长,且在这次长时间南移过程中存在3次扰动式南

移过程。频繁的冷涡活动为长江中下游的降水提供了足够的冷空气条件。对照图 2 可见,20 日前的 4 次冷涡南移均对应着长江中下游的降水过程,20 日后的冷涡南移出现在副高北抬之后,降水主要出现在我国淮河流域。

次西伸(2—5 日)持续的时间较长,而第 2、3 和 4 次西伸(分别出现在 10—11 日、13—15 日、17—19 日)虽然持续的时间较短,但却是叠加在一次西伸更明显、持续时间更长的西伸过程中的 3 次扰动式西伸。前 4 次西伸均对应着长江中下游的降水过程,东退则对应着降水过程的间歇(图 2),由于第 5 次西伸(27—29 日)出现在副高北跳之后(图 5)<sup>[12]</sup>,此次西伸过程对应的降水出现在长江以北地区,因此第 5 次西伸不是本文关注的重点,本文主要分析前 4 次西伸过程。

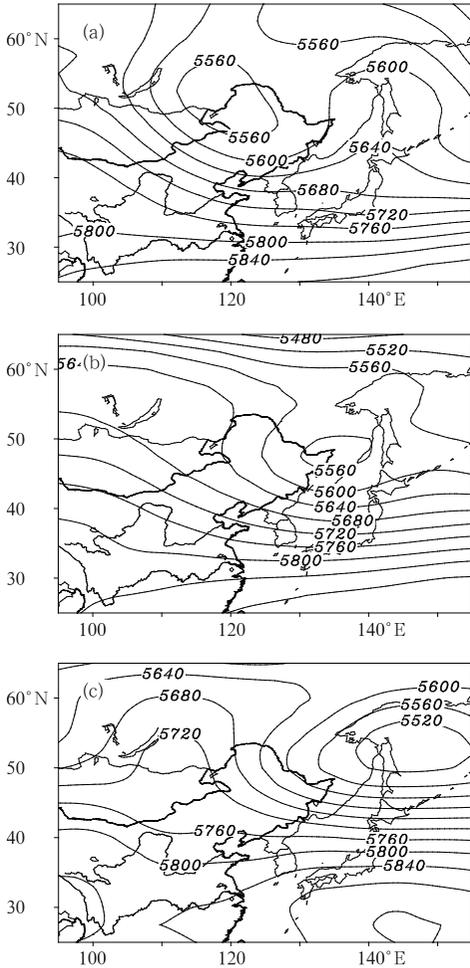


图 7 2011 年东北亚地区 500 hPa 位势高度场分布(单位:gpm)

- (a) 5 月 30 日至 6 月 3 日平均,
- (b) 6 月 6—14 日平均,
- (c) 6 月 21—24 日平均

Fig. 7 Distributions of 500 hPa geopotential heights (unit: gpm) over Northeast Asia in 2011

- (a) 30 May to 3 June mean, (b) 6—14 June mean, (c) 21—24 June mean

下面再分析一下副高的演变情况。图 9 为沿 22°~27°N 经向平均的 5900 gpm 和 5910 gpm 位势高度等值线的演变特征,这里用来表征副高东西向的移动特征。由图可见,2011 年 6 月副高西进东退特征显著,月内共有 5 次明显的西伸过程,其中第 1

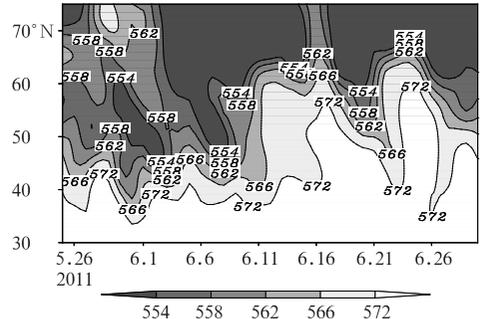


图 8 115°~120°E 纬向平均的 500 hPa 位势高度随时间演变(单位:dagpm)

Fig. 8 The time-latitude cross section of 500 hPa geopotential heights (unit: dagpm) between 115°E and 120°E in June 2011

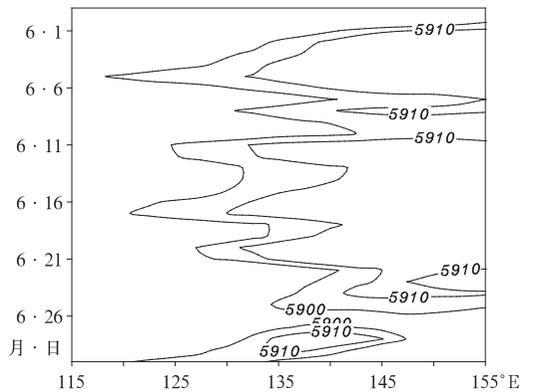


图 9 2011 年 6 月沿 22°~27°N 经向平均的 500 hPa 上 5900 gpm 和 5910 gpm 等值线的演变(单位:gpm)

Fig. 9 The time-longitude cross section of averaged 500 hPa geopotential heights (unit: gpm) between 22° and 27°N in June 2011

由此可见,长江中下游降水的产生可能与副高西伸过程存在某种联系。前人的研究<sup>[13-15]</sup>也发现,副高的西伸对我国长江流域以及华南地区夏季降水

具有重要影响。

东北冷涡的南压和西伸的副高相互作用使得我国长江中下游地区南侧对流层中高层气压梯度力加大,动能增大,随后动能下传致使长江以南地区西南低空气流增强<sup>[10]</sup>。陈受钧<sup>[16]</sup>在研究梅雨锋南侧的西南风急流时也指出,对流层高层动量的下传是梅雨锋南侧低空急流得以形成和维持的主要原因。利用动能收支方程对长江以南西南低空急流的形成做进一步分析。动能收支方程如下所示:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = -\mathbf{V} \cdot \nabla k - \omega \frac{\partial k}{\partial p} - \mathbf{V} \cdot \nabla \phi \quad (1)$$

式中, $k$ 是动能, $t$ 是时间, $\mathbf{V}$ 是水平方向全风速, $\omega$ 是垂直速度, $\phi$ 是位势, $p$ 为气压,方程右端第一项为水平平流项、第二项为垂直输送项、第三项为气压梯度力项。由于急流中心附近 $\nabla k$ 很小,所以 $\mathbf{V} \cdot \nabla k$ 也很小,水平平流项为小项。本文主要分析垂直输送项对动能收支的影响。

从垂直输送项的变化情况来看(图 10),700 和 850 hPa 上,垂直输送项一直为正,即使得动能增加,并且在 6 月 1—20 日期间,垂直输送项一共出现

4 次明显的增大。而在 500 hPa 上,垂直输送项总体为负,即使得动能减少,随着副高的西伸和东北冷涡的南压,6 月 1—20 日垂直输送项一共出现 4 次明显的减小,分别出现在:3—5 日、8—11 日、13—15 日和 16—19 日,对应着动能的 4 次减少。说明低空急流区的动能是由高空向低空传输的,这与前人的研究结果一致。

从 500 和 850 hPa 上垂直输送项序列的超前滞后相关(图 11)中可以看出,500 hPa 上垂直输送项的变化超前 850 hPa 零至一天时相关最好,相关系数达到了 0.5,超过了 0.05 的显著性水平检验,说明 500 hPa 上动能的减少超前于 850 hPa 动能的增加,进一步说明低空急流区的动能是由高空向低空传输的。

低空急流区动能的下传,有利于急流的加强,加强的急流将大量的暖湿气流输送到我国长江中下游

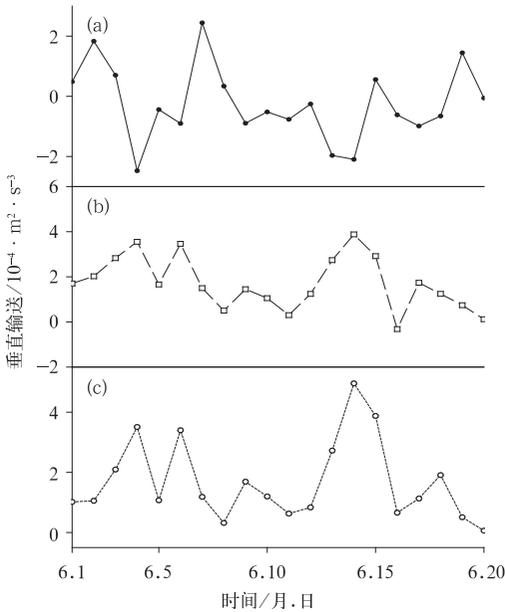


图 10 区域平均(23°~28°N,110°~125°E)的动能收支方程中垂直输送项(单位:10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup> · s<sup>-3</sup>)在不同层次随时间的变化  
 (a) 500 hPa, (b) 700 hPa, (c) 850 hPa  
 Fig. 10 The evolution of the vertical transfer term (unit: 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup> · s<sup>-3</sup>) at different levels over the area of (23°—28°N, 110°—125°E)  
 (a) 500 hPa, (b) 700 hPa, (c) 850 hPa

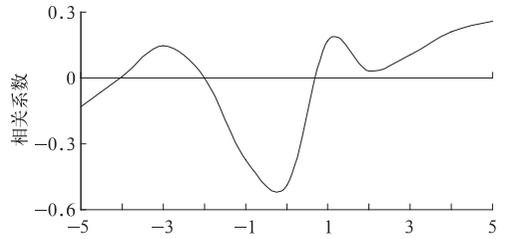


图 11 500 与 850 hPa 上区域平均(23°~28°N, 110°~125°E)的动能收支方程中垂直输送项时间序列的超前滞后相关  
 Fig. 11 Lead-lag correlations of the series between the 500 and 850 hPa vertical transfer term over the area of (23°—28°N, 110°—125°E)

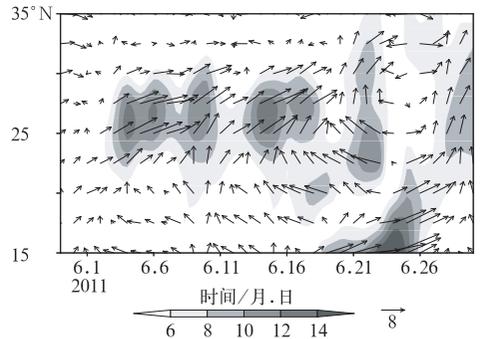


图 12 110°~125°E 纬向平均的 850 hPa 风场随时间演变(单位:m · s<sup>-1</sup>)  
 Fig. 12 The time-latitude cross section of 850 hPa wind fields (unit: m · s<sup>-1</sup>) averaged between 110° and 125°E  
 in June 2011

地区。从沿  $110^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$  纬向平均的 850 hPa 风场的演变情况(图 12)来看,  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$  之间有一条明显的西南风大值带, 并且在 22 日之前一共出现 4 次明显的增强, 分别出现在: 3—6 日、10—11 日、13—17 日和 19—22 日, 随着西南风的每一次增强, 水汽输送也出现明显的增强。

长江中下游地区降水的出现与中高纬干冷空气的活动也密切相关, 干冷空气的入侵对降水的产生发展起着重要的动力作用。从图 13 中可以看出, 受冷涡活动的影响, 月内我国北方地区共出现 3 次大

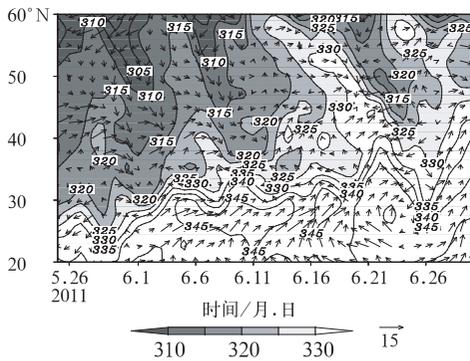


图 13  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  纬向平均的 850 hPa 假相当位温(等值线, 单位: K)和经向风场的演变(箭头, 单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )  
Fig. 13 The time-latitude cross section of 850 hPa equivalent potential temperature (contour, unit: K) and meridional wind (unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) averaged between  $110^{\circ}\text{E}$  and  $120^{\circ}\text{E}$  in June 2011

的冷空气南侵过程, 分别出现在 2—5 日、6—17 日和 21—27 日。大量冷空气向南侵袭, 到达了  $30^{\circ}\text{N}$  附近。冷暖空气在长江中下游地区交汇, 有利于梅雨锋的形成和维持, 激发长江中下游地区低层对流不稳定增加, 上升运动强烈发展, 从而导致长江中下游降水的增多。

由以上分析可知, 2011 年 6 月长江中下游地区前 4 次强降水过程主要受副高的 4 次西伸以及东北冷涡的频繁活动的影响。6 月 26 日之后, 副高出现了月内的第 5 次西伸, 但由于此时的副高出现了明显北跳(中心位于  $30^{\circ}\text{N}$  附近), 此次西伸导致的降水主要出现在长江以北地区。

## 4 结 论

本文利用观测的逐日降水资料以及 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了 2011 年初夏长江中下游地区的气候特征, 研究了 5—6 月长江中下游地区

旱涝转换以及 6 月长江中下游地区强降水产生的原因。主要结论如下:

(1) 2011 年 5 月长江中下游地区降水异常偏少, 而到了 6 月又转为异常偏多, 出现了明显的旱涝转换。5—6 月长江中下游地区的旱涝转换主要受南海季风、东亚季风强度以及副高的异常快速北跳的影响。而 4 月底热带西太平洋海温的异常升高可能是造成副高异常快速北跳的重要原因。

(2) 2011 年 6 月, 东北冷涡活动频繁, 月内共出现 3 次活动过程。东北冷涡的南压和西伸的副高相互作用使得长江中下游地区南侧对流层中高层气压梯度力加大, 西南气流增强。西南气流的增强将大量的暖湿气流输送到我国长江中下游地区。而频繁的冷涡活动也有利于冷空气向南侵袭。冷暖空气在长江中下游地区交汇, 最终导致长江中下游地区降水异常偏多。

## 参考文献

- [1] 国家气候中心. 2011 年 5—6 月全国气候影响评价.
- [2] 国家气候中心. 2011 年 6 月气候系统监测公报.
- [3] Si Dong, Ding Yihui. A numerical simulation of the impact of tropical western Pacific Ocean SST anomalies on decadal shift of the Meiyu belt[J]. Submitted to Acta Meteorologica Sinica.
- [4] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 372-374.
- [5] 孙力, 安刚. 1998 年松嫩流域东北冷涡大暴雨过程的诊断分析[J]. 大气科学, 2001, 25(3): 342-354.
- [6] 徐辉. 西南季风强劲江南华南暴雨成灾 东北冷涡活跃东北华北降雨偏多[J]. 气象, 2006, 32(9): 121-125.
- [7] 易笑园, 李泽椿, 李云, 等. 长生命史冷涡影响下持续对流性天气的环境条件[J]. 气象, 2010, 36(1): 17-25.
- [8] 孙军, 代刊, 樊利强. 2010 年 7—8 月东北地区强降雨过程分析和预报技术探讨[J]. 气象, 2011, 37(7): 785-794.
- [9] 何金海, 吴志伟, 江志红, 等. 东北冷涡的“气候效应”及其对梅雨的影响[J]. 科学通报, 2006, 51(23): 2803-2809.
- [10] 王丽娟, 何金海, 司东, 等. 东北冷涡过程对江淮梅雨期降水的影响机制[J]. 大气科学学报, 2010, 33(1): 89-97.
- [11] 孙力. 东北冷涡持续活动的分析研究[J]. 大气科学, 1997, 21(3): 297-307.
- [12] 国家气候中心. 2011 年 6 月东亚季风监测快报[R].
- [13] 陶诗言, 卫捷. 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, 2006, 17(5): 513-525.
- [14] 张素琴, 林学椿. 副高持续异常对长江中下游夏季降水的影响[J]. 气象, 2000, 26(5): 27-31.
- [15] Si Dong, Xu Haiming, Wen Min, et al. Analysis of the westward extension of western Pacific subtropical high during a heavy rain period over southern China in June 2005[J]. J Trop Meteor, 2008, 14(2): 93-96.
- [16] 陈受钧. 梅雨末期暴雨过程中高低空环流的耦合-数值试验[J]. 气象学报, 1989, 47(1): 8-15.