

李迅, 袁东敏, 尹志聪, 等. 2014. 2011 年长江中下游旱涝急转成因初步分析 [J]. 气候与环境研究, 19 (1): 41–50, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12128. Li Xun, Yuan Dongmin, Yin Zhicong, et al. 2014. Preliminary analysis of sudden turn of drought and flood in the middle and lower reaches of the Yangtze River during 2011 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (1): 41–50.

2011 年长江中下游旱涝急转成因初步分析

李迅¹ 袁东敏² 尹志聪¹ 李文静² 谢庄¹

¹ 北京市气象局, 北京 100089

² 中国气象局华风气象传媒集团, 北京 100081

摘 要 以 2011 年 1~6 月长江中下游“旱涝急转”事件为例, 研究了长江中下游旱涝急转与大尺度环流和海温异常的关系, 初步得到以下引发旱涝急转的原因: (1) 中高纬度大气环流出现快速调整, 迅速由强冬季风形势调整为两槽一脊环流形势所控制, 进而造成长江中下游由受中高纬度系统控制转变为冷暖空气对峙之地; (2) 西太平洋副热带高压位置和强度迅速调整, 1~5 月来自热带地区的水汽输送条件差, 长江中下游地区水汽辐合较常年明显偏弱。6 月, 水汽输送和收支状况发生根本性转变, 长江中下游表现为显著的水汽辐合中心, 且明显强于常年; (3) 6 月青藏高原上空存在显著的气旋性异常环流, 利于对流活动发展, 受其底部异常西风的影响, 对流活动频繁地东传至长江中下游地区, 增强了梅雨锋的强度, 先后引发了 5 次强降水过程; (4) 前期持续的 La Niña 事件及其变化通过影响 Walker 环流、西太平洋副热带高压等大气环流系统, 为旱涝急转事件的发生提供了有利的背景条件。

关键词 旱涝急转 副热带高压 水汽通量 青藏高原 La Niña

文章编号 1006-9585 (2014) 01-0041-10

中图分类号 P461⁺.2

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12128

Preliminary Analysis of Sudden Turn of Drought and Flood in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River during 2011

LI Xun¹, YUAN Dongmin², YIN Zhicong¹, LI Wenjing², and XIE Zhuang¹

¹ Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089

² Huafeng Group of Meteorological Audio and Video Information, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract Using the sudden turn of drought and flood (STDF) in the middle and lower reaches of the Yangtze River during 2011, as an example, the relation between the STDF and circulation and sea surface temperature (SST) is studied. The reasons for the STDF are the following. (1) The atmospheric circulation quickly adjusted from strong winter monsoon to the station, called two troughs and one ridge. (2) The location and strength of the western Pacific subtropical high also changed quickly. The convergence of water vapor transport was obviously weaker in the middle and lower reaches of the Yangtze River from January to May. In June, the water vapor transport and budget changed and there was an obviously stronger center of water vapor convergence in the middle and lower reaches of the Yangtze River. (3) Because of the cyclonic anomalous circulation over the Tibetan Plateau, the convection is active and frequently moves to the middle and lower reaches of the Yangtze River. This convection strengthened the Mei-yu front and triggered rainfall

收稿日期 2012-07-21 收到, 2013-02-04 收到修定稿

资助项目 北京地区气候变化对城市热环境影响评估及气象节能关键技术研究 Z090506016609001, 铁路 (高铁) 气象监测预警、预报服务关键技术研究 GYHY201306058-X

作者简介 李迅, 男, 1961 年出生, 学士, 正研高工, 从事天气预报和气象服务工作。E-mail: lixun@bjmb.gov.cn

通讯作者 袁东敏, 女, 1984 年出生, 硕士, 工程师, 从事天气预报和气象服务工作。E-mail: dongmin_yuan@163.com

five times. (4) The persistent La Niña event and its variations created favorable background conditions by influencing the Walker circulation, the western Pacific subtropical high, and so on.

Keywords Sudden turn of drought and flood, Subtropical high, Water vapor flux, Tibetan Plateau, La Niña

1 引言

长期以来,长江中下游地区的旱涝异常一直是中国降水气候预测的重要内容。大量研究显示,长江中下游地区的夏季降水实际上就是东亚夏季风推进的产物(陶诗言等, 1998a; 丁一汇等, 2007; 范可等, 2007; 卞洁等, 2012)。同时,长江中下游的旱涝异常与海温异常密切相关(顾薇等, 2007; 赵思雄等, 1998; 陶诗言等, 1998b),徐予红和陶诗言(1996)研究表明江淮流域在 El Niño 年是典型的涝年,在 La Niña 年是典型的旱年。以往针对长江中下游地区旱涝异常的研究大多立足于夏季降水的异常,而对春、夏季降水的连续变化,尤其是“旱涝并存”现象的关注较少。针对周期较短的夏季降水的“旱涝并存”现象,吴志伟等(2006a, 2006b)研究认为在夏季“旱涝并存”异常年,西太平洋副热带高压(简称西太副高)活动范围较大,同期东亚夏季风偏弱。在前期 6 个月中,中国南海、阿拉伯海和孟加拉湾的海温显著偏高。

“旱涝急转”现象属于“旱涝并存”现象的一种极端表现。2011 年 1~5 月,长江中下游地区降水持续偏少,加上气温显著偏高,发生了近 60 年最严重的冬春持续气象干旱。进入 6 月,长江中下游地区这种持续少雨的态势迅速转变,先后遭受 5 轮强降水过程袭击,降水时间和区域都比较集中,大旱大涝格局快速转变。其中,前 4 轮强降水过程的降雨量为近 60 年历史同期最多。这种有限时间内产生的降水极端不平衡更容易引起严重灾害性天气,如不能提前预警,其危害将不可忽视。封国林等(2012)着重研究了低纬地区海气相互作用在此次旱涝急转事件中的作用。本文将从不同的角度,综合考虑各个纬度系统、海温场特征及其相互作用,对 2011 年长江中下游旱涝急转的原因进行初探。

2 资料

本文采用的资料包括:(1) 2011 年 1~6 月长

江中下游逐日降水资料。根据文献(魏凤英, 2006)选取长江中下游 10 个站点的平均雨量代表长江中下游降水;(2) NCEP/NCAR 的逐日大气资料,水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times$ 2.5° (经度);(3) NOAA 的向外长波辐射(OLR)逐日资料,水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times$ 2.5° (经度);(4) NOAA 最优插值海表面温度 [1° (纬度) $\times$ 1° (经度)], Niño3.4 指数定义为 ($5^\circ\text{S}\sim 5^\circ\text{N}$, $120^\circ\text{W}\sim 170^\circ\text{W}$) 区域内海温距平,表征 ENSO 事件的强度。

3 长江中下游 1~6 月旱涝特征

2011 年 1~5 月,长江中下游地区降水持续偏少(图 1a),连续 5 个月的降水量都较常年偏少 50% 左右(图 1b),气象干旱范围广、强度强、影响大。随着 6 月初一场强降水的出现,长江中下游地区这种持续少雨的态势迅速转变,过渡时间不到 1 周。6 月降水量比常年多 80% 以上,旱涝格局发生急转。6 月 3~7 日、9~11 日、13~16 日、17~19 日、23~25 日长江中下游地区先后出现 5 次强降水过程(图 2),并且降水时间和区域都比较集中,部分地区雨量超有观测记录的同期历史极值,出现严重洪涝及山洪地质灾害,武汉等大城市出现严重内涝。

4 大气环流的转变特征

4.1 中高纬系统

长江中下游连续干旱的大部分时间里,主要受中高纬度天气系统控制,热带对流活动向北推进受到抑制。图 3 所示,1 月以及 3~5 月,西伯利亚高压偏强,东亚大槽异常偏西、偏强,指示东亚冬季风偏强。850 hPa 矢量风场距平显示中国东部主要为异常偏北风所控制,不利于偏南气流及其所携带水汽的向北输送。与之不同的是,2 月欧亚地区无明显的阻塞形势,西伯利亚高压强度偏弱,冬季风活动不活跃,但由于西太副高较常年明显减弱南退、东移(图 4、图 5),向长江中下游地区的水汽输送同样很弱。6 月,中高纬度大气环流快速调整

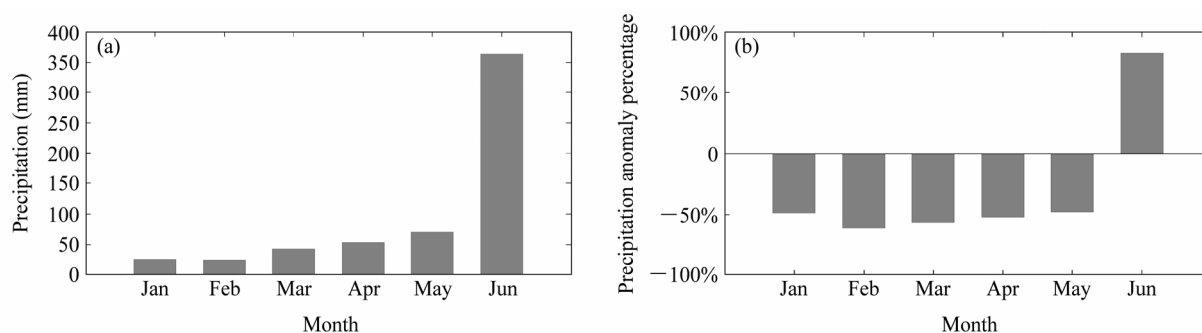


图1 2011 年长江中下游 1~6 月 (a) 逐月累积降水量和 (b) 降水距平百分率

Fig. 1 (a) Monthly cumulative rainfall and (b) precipitation anomaly percentage in the middle and lower reaches of the Yangtze River from January to June 2011

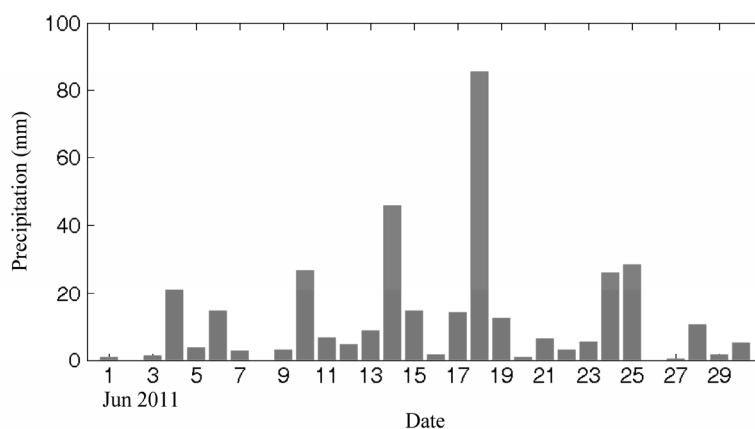


图2 2011 年 6 月长江中下游逐日降水量

Fig. 2 Daily rainfall in the middle and lower reaches of the Yangtze River in June 2011

为两槽一脊的环流形势,槽脊均较常年同期偏深,有利于槽后弱冷空气南下与北上暖湿空气形成对峙之势,非常有利于长江中下游发生降水。

4.2 低纬系统

从图 4、图 5 可以发现,2011 年 1~4 月西太副高异常偏弱,面积偏小,并且位置偏东偏南,无法将充足的水汽输送到长江中下游地区,导致长江中下游降水较常年偏少 50%左右。5 月西太副高变化幅度较大,出现了阶段性偏强(图略),但热带和中高纬大气环流系统的配置使得降水出现在黄淮地区,长江中下游干旱持续。同时,1~6 月南海季风监测区纬向风强度指数的逐候变化(图 6)也表明南海夏季风虽然在 5 月上旬建立,较常年同期偏早,但随后多次中断,此时南海夏季风非常不稳定,且强度明显偏弱,未能改变长江中下游水汽不足的状况。6 月,副热带高压脊线位置快速越过 20°N,主体强度偏强,面积偏大,西脊点位于 120°E

附近,此环流特征有利于降水过程的频繁发生。进入 6 月后,南海夏季风强度明显加强,且强于常年,强盛的夏季风为长江中下游地区输送了充足的暖湿气流。

充足的水汽输送是造成强降水的必要条件,水汽通量及其散度能够很好的表征水汽输送状况,图 7、图 8 给出了 2011 年 1~6 月的水汽通量及其散度距平。1~5 月来自热带地区的水汽输送条件差,向长江中下游输送的水汽通量很弱,长江中下游地区水汽辐合均较常年明显偏弱。6 月,长江中下游地区的水汽收支状况发生根本性转变,从热带向长江中下游输送的水汽通量非常明显,长江中下游表现为显著的水汽辐合中心,且明显强于常年,有利于增加降水的强度和频次。

4.3 青藏高原对流活动

图 9 给出了 OLR 的经度—时间分布图,可以发现:6 月,青藏高原东部对流活动强烈发展,形

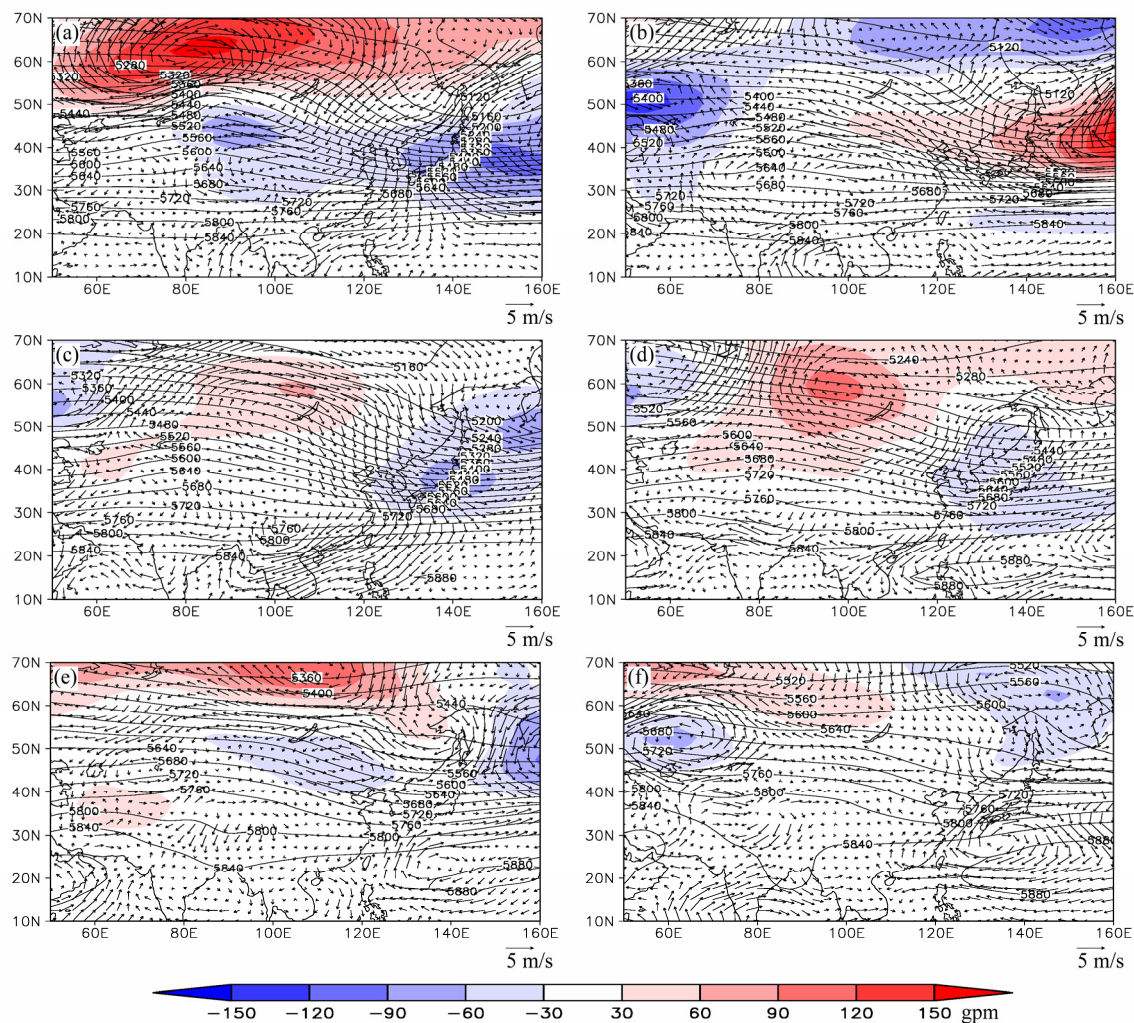


图3 2011年1~6月500 hPa高度场距平(填色)和气候平均态(等值线,单位:gpm)以及850 hPa风场距平:(a)1月;(b)2月;(c)3月;(d)4月;(e)5月;(f)6月

Fig. 3 500-hPa height anomalies (colour) and climatical modes (contour, units: gpm) and 850-hPa wind anomalies from January to June 2011: (a) January; (b) February; (c) March; (d) April; (e) May; (f) June

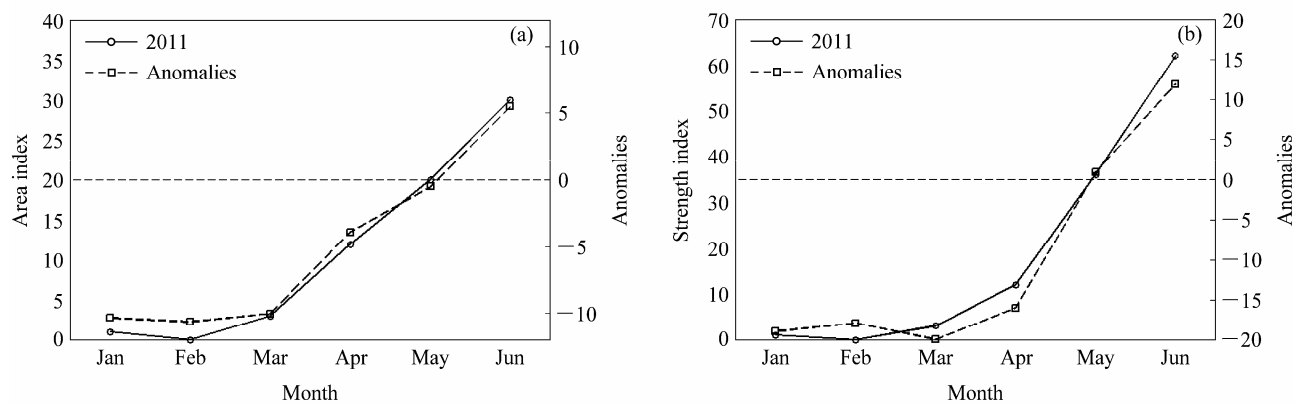


图4 2011年1~6月西太副高(a)面积指数和(b)强度指数,虚直线为距平0线

Fig. 4 (a) Area index and (b) strength index of the western Pacific subtropical high from January to June, straight dashed line denotes zero line of anomalies

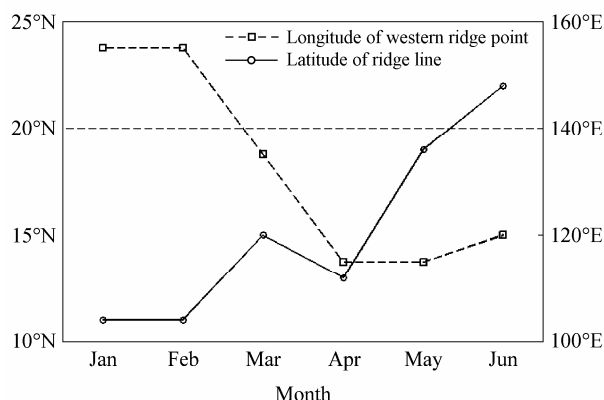


图 5 2011 年 1~6 月西太副高的位置

Fig. 5 Locations of the western Pacific subtropical high from January to June 2011

成强对流中心, 并频繁地东传至长江中下游地区, 这些对流活动传播到长江中下游地区后会增强梅雨锋的强度, 极易引发强降水。如图 9 的箭头所示, 6 月由青藏高原向长江中下游有 5 次明显的传播, 对应于长江中下游地区先后出现 5 次强降水过程 (3~7 日、9~11 日、13~16 日、17~19 日和 23~25 日)。

图 10、图 11 给出了 OLR、150 hPa 风场及其散度的距平, 5 月青藏高原上空为反气旋环流异常, 对流活动较常年偏弱, 而 120°E~130°E 的副热带西太平洋上空有异常上升运动, 抑制西太副高的西伸发展。长江中下游高空为异常的辐合下沉中心, 对流活动很弱。6 月份 110°E 以东整个西太副高控制区均转为偏强的下沉气流, 西太副高上空为辐合

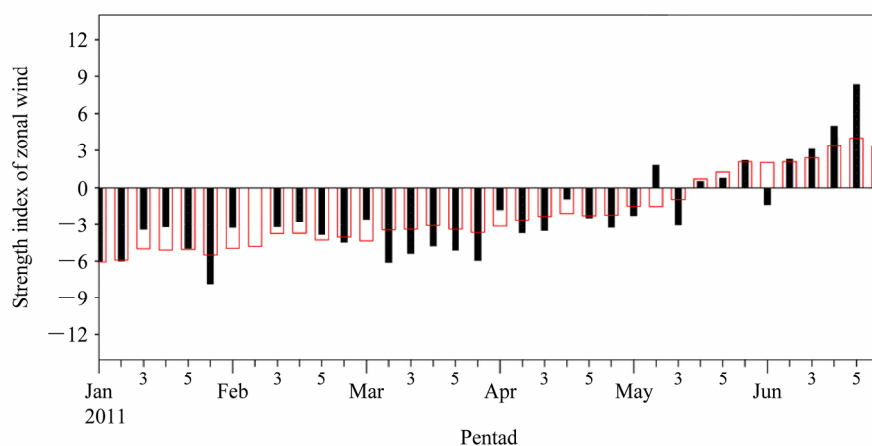


图 6 1~6 月南海季风监测区纬向风强度指数的逐候变化图 (方框为气候平均值, 取自国家气候中心网站: [http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/Monitoring/monsoon.php?ListElem=p8index\[2011-07-01\]](http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/Monitoring/monsoon.php?ListElem=p8index[2011-07-01]))

Fig. 6 Pentad-mean strength index of zonal wind in South China Sea monsoon observation area from January to June (the boxes indicate climatical modes, the index is provided by National Climate Center: [http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/Monitoring/monsoon.php?ListElem=p8index\[2011-07-01\]](http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/Monitoring/monsoon.php?ListElem=p8index[2011-07-01]))

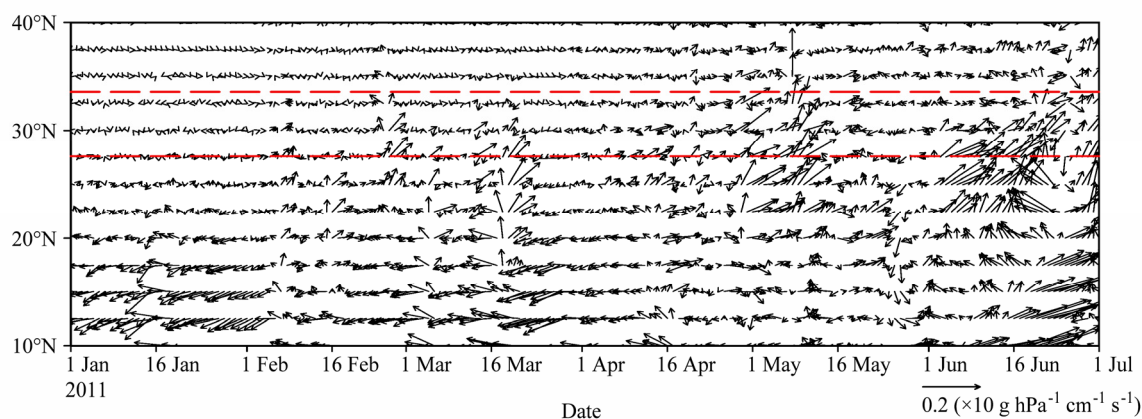


图 7 2011 年 1~6 月水汽通量 (110°E~120°E 平均) 纬度—时间分布, 红色虚线分别代表 28°N 和 33°N

Fig. 7 Latitude-time profile of water-vapour flux (110°E~120°E) from January to June 2011, the two dashed lines denote 28°N and 33°N separately

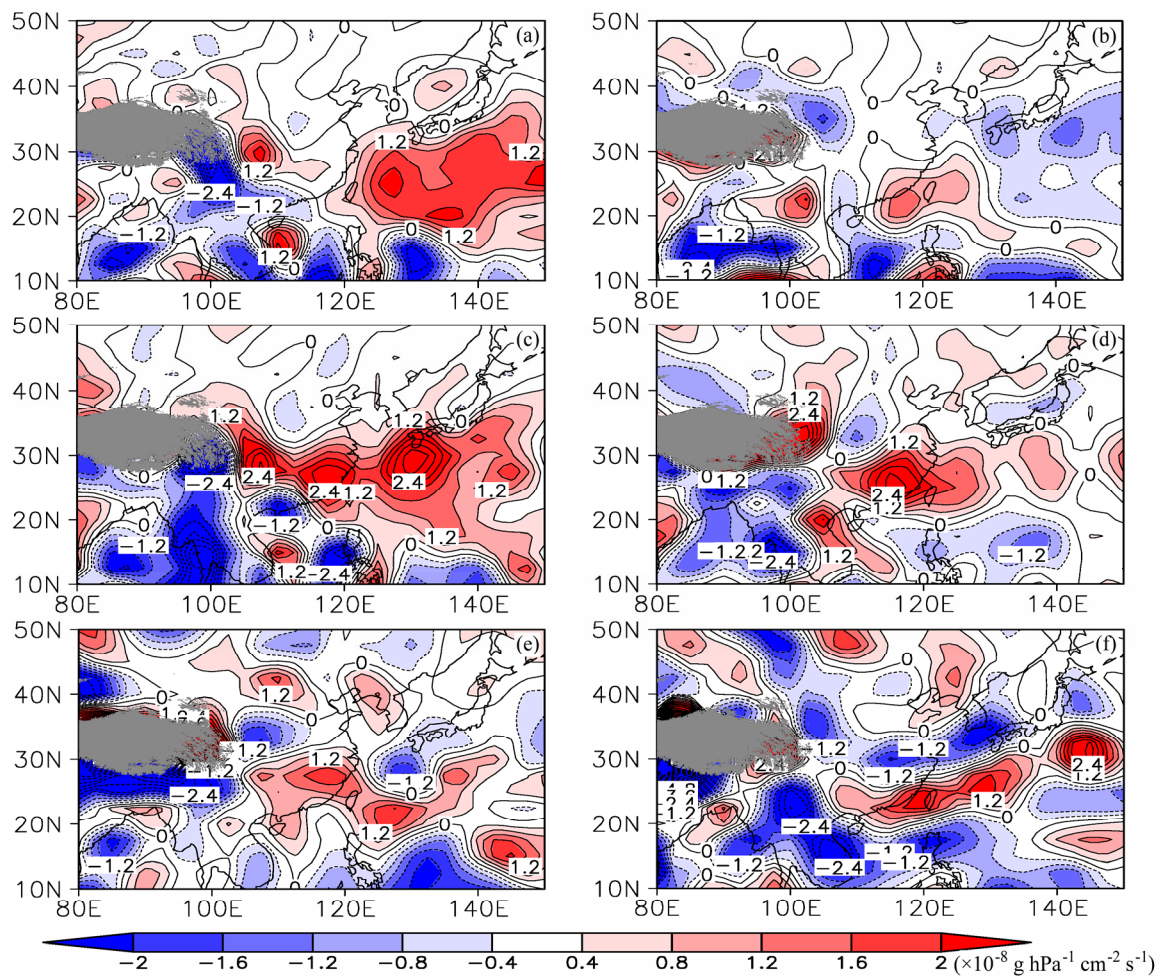


图 8 2011 年 1~6 月水汽通量散度距平: (a) 1 月; (b) 2 月; (c) 3 月; (d) 4 月; (e) 5 月; (f) 6 月

Fig. 8 Divergence anomalies of water-vapour flux from January to June 2011: (a) January; (b) February; (c) March; (d) April; (e) May; (f) June

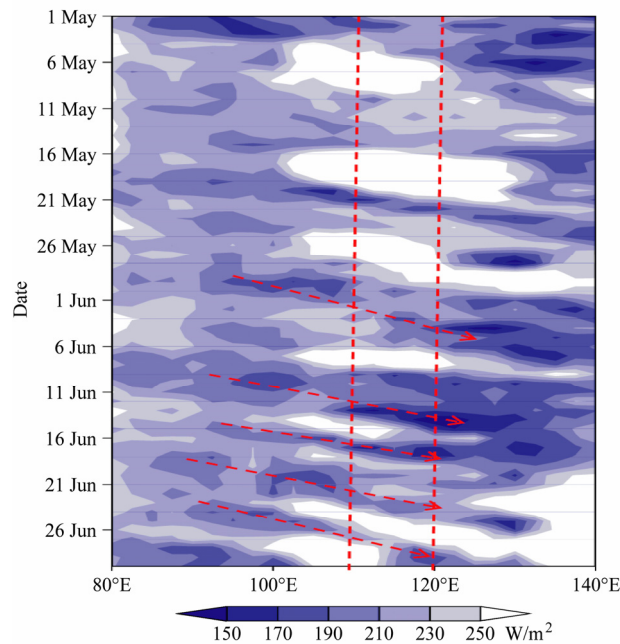


图 9 2011 年 5~6 月 OLR (28°N~33°N 平均) 经度—时间分布, 红色虚直线分别代表 110°E 和 120°E, 箭头示意对流活动的传播

Fig. 9 Longitude-time profile of OLR (Outgoing Longwave Radiation) (28°N~33°N) from May to June 2011, the dashed lines denote 110°E and 120°E separately, the arrows denote the spread of the convective activity

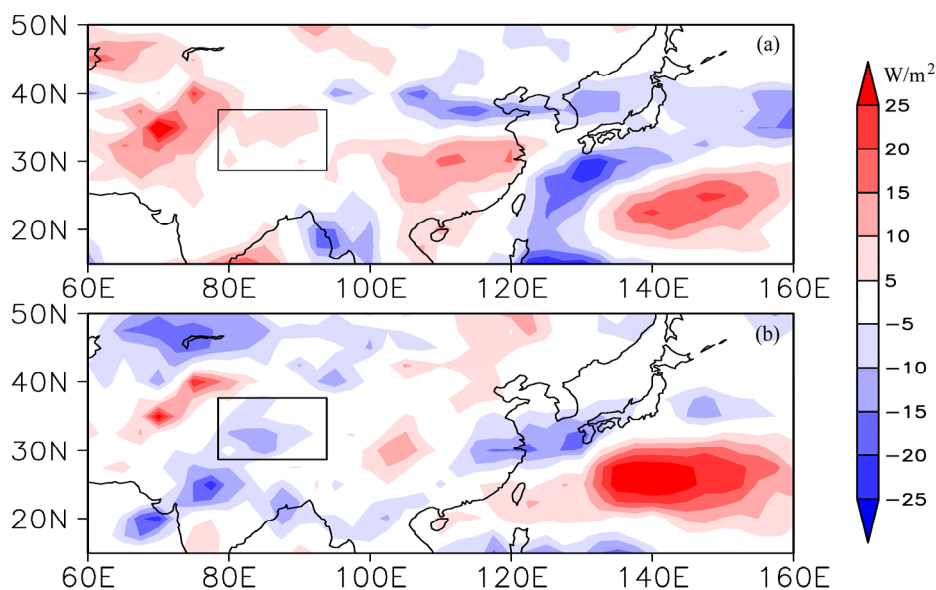


图 10 2011 年 (a) 5 月和 (b) 6 月的 OLR 距平, 方框示意青藏高原的位置

Fig. 10 OLR anomalies in (a) May and (b) June 2011, the box denotes the position of the Tibetan Plateau

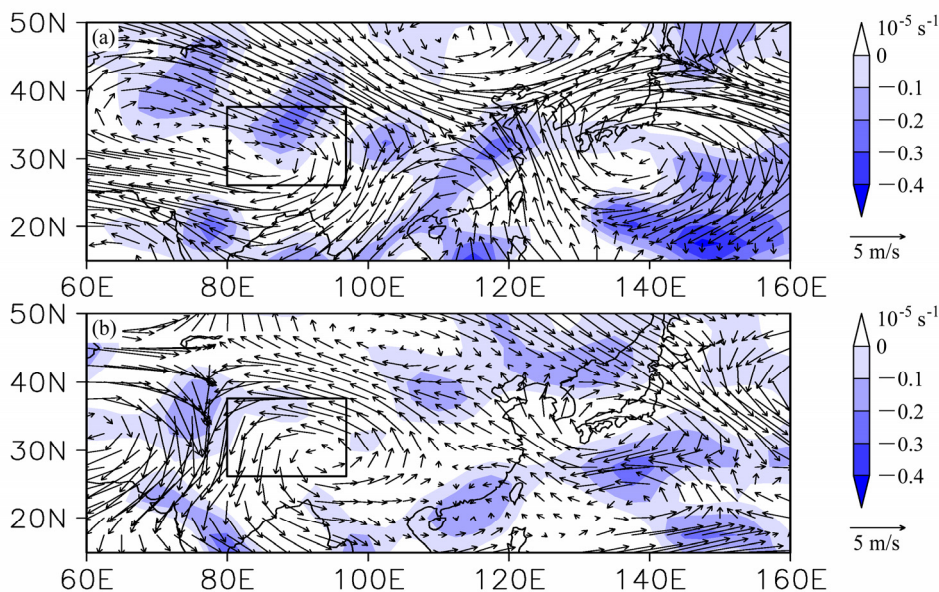


图 11 2011 年 (a) 5 月和 (b) 6 月的 150 hPa 风场距平 (矢量) 和散度距平 (填色), 方框示意青藏高原的位置

Fig. 11 150-hPa wind anomalies and divergence anomalies in (a) May and (b) June 2011, the box denotes the position of the Tibetan Plateau

中心, 副高加强西伸。青藏高原上空从 500 hPa 往上为深厚的气旋性环流, 有利于对流活动的强烈发展, 同时气旋底部的异常西风有利于对流活动移出高原向东传播, 合并加入较强梅雨锋, 为长江中下游地区带来强降雨过程。

5 海温背景场特征

海温作为最重要的外强迫因子, 能够在大气环流中激发出显著的响应, 进而影响降水的产生。因

此, 为解释为何 2011 年大气环流的“6 月突变”如此快速、剧烈, 需要对前期的海温场特征进行详细的分析。由图 12 可以发现, 一次强 La Niña 事件于 2010 年 7 月爆发, 在 2011 年 1 月达到峰值后开始减弱, 在 2011 年 5~7 月最弱, 之后再度加强, 而长江中下游旱涝急转发生在 La Niña 事件减弱期间。

图 13 给出的是 2010 年 1 月至 2011 年 7 月 20°S~20°N 平均的 SST 距平经度—时间剖面图。2011 年前冬、春季, 热带中东太平洋为显著的负海

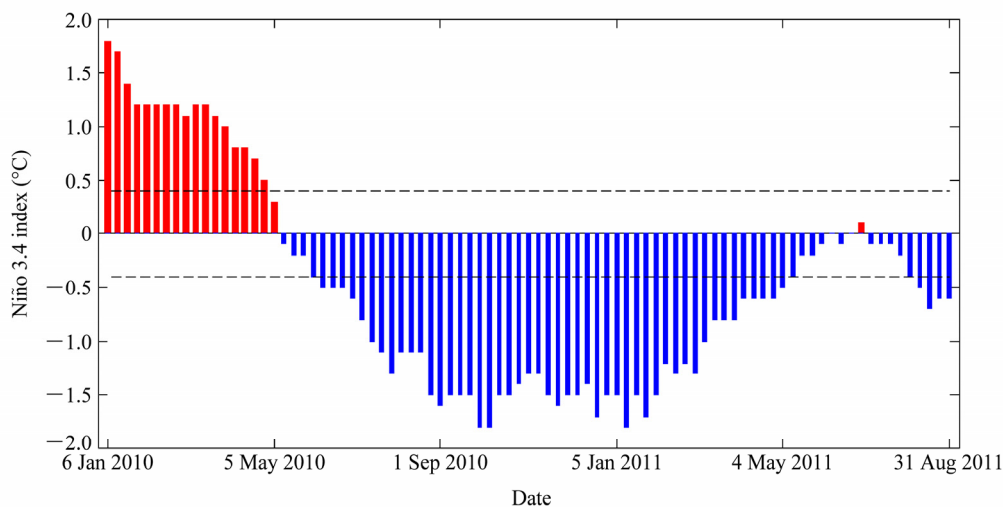


图 12 2010 年 1 月至 2011 年 8 月的 Niño3.4 指数

Fig. 12 Niño3.4 index from January 2010 to August 2011

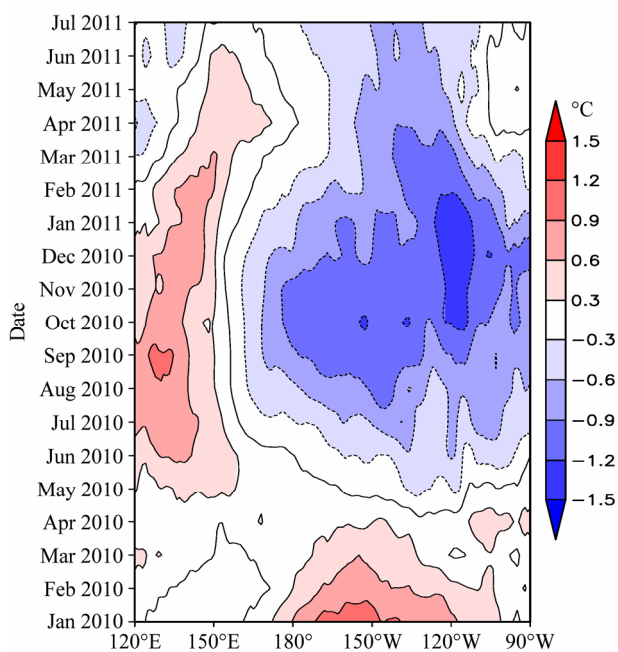


图 13 2010 年 1 月至 2011 年 7 月 20°S~20°N 平均的 SST 距平经度—时间剖面

Fig. 13 Longitude-time profile of SST anomalies (20°S~20°N) from January 2010 to July 2011

温异常, 热带西太平洋地区为显著的正海温异常, 这样的海温异常分布易于加强西太平洋上空的上升运动, 同时增强 Walker 环流在中东太平洋的下沉支 (图 14a)。西太平洋上空加强上升运动迫使西太副高偏东 (图 14c), 导致中低层气压降低 (封国林等, 2012), 东亚大槽加深, 有利于东亚寒潮的向南爆发 (李崇银, 2000), 致使长江中下游地区长期处于中高纬系统的控制之下。随着热带西太平洋

正海温距平的减弱、东移以及东太平洋负海温异常的减弱, Walker 环流异常减弱东移 (图 14b), 110°E 以东整个西太副高控制区均转为偏强的下沉气流, 西太副高加强西伸, 为西南暖湿气流北上提供了有力的环流形势。同时, 蔡学湛等 (2003) 的研究指出, La Niña 年西太副高发生北跳时, 无论速度和幅度都较常年和 El Niño 年要大, 环流形势转变更快速、剧烈, 导致旱涝形势发生急转。

6 结论与讨论

本文以 2011 年 1~6 月长江中下游“旱涝急转”为例, 研究了长江中下游旱涝急转与大尺度环流和海温异常的关系, 初步得到以下引发旱涝急转的原因:

(1) 中高纬度大气环流出现快速调整, 迅速由强冬季风形势调整为两槽一脊环流形势所控制, 而造成长江中下游由受中高纬度系统控制转变为冷暖空气对峙之地。

(2) 西太副高位置和强度迅速调整, 1~5 月来自热带地区的水汽输送条件差, 长江中下游地区无明显的水汽辐合。6 月, 水汽输送和水汽收支状况发生根本性转变, 长江中下游表现为显著的水汽辐合中心。

(3) 6 月青藏高原上空存在显著的气旋性异常环流, 利于对流活动发展, 受其底部异常西风的影响, 对流活动频繁地东传至长江中下游地区, 增强了梅雨锋的强度。

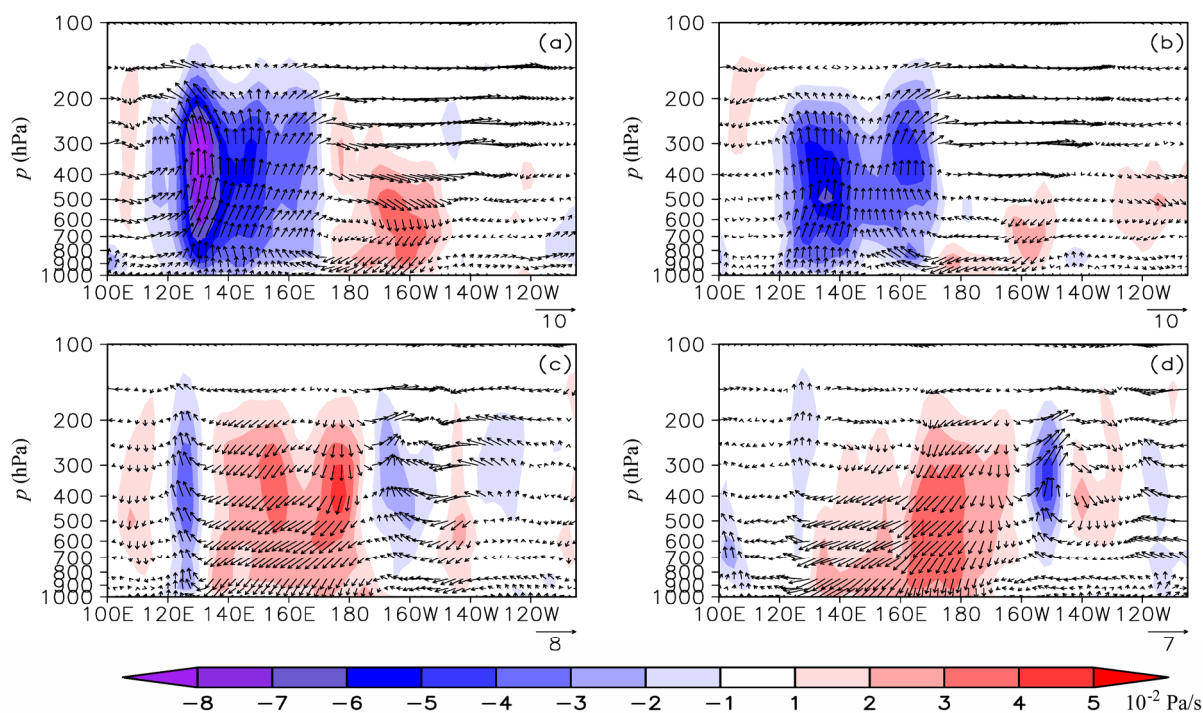


图 14 2011 年 (a、b) $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 和 (c、d) $15^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 平均垂直环流距平 (纬向风距平单位: m/s , 垂直速度距平单位: 10^{-2}Pa/s) 的剖面, 阴影表示垂直速度距平 (单位: 10^{-2}Pa/s): (a、c) 5 月; (b、d) 6 月

Fig. 14 Vertical cross section of (a, b) ($5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$) and (c, d) ($15^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$) average wind anomalies circulation (units of zonal wind anomalies: m/s , units of vertical wind anomalies: 10^{-2}Pa/s) in (a, c) May and (b, d) June 2011, the colour shadows denote the vertical wind anomalies

(4) 持续的强 La Niña 事件与旱涝急转事件有密切的关系。2011 年前冬、春季的海温异常在西太平洋上空激发出上升运动异常, 迫使西太副高偏东、偏弱, 导致中低层气压降低, 东亚大槽加深, 有利于东亚寒潮的向南爆发。

(5) La Niña 事件减弱期内, 110°E 以东的整个西太副高控制区均转为偏强的下沉气流, 西太副高加强、西伸, 为西南暖湿气流北上提供了有力的环流形势。

当然, 引发如此迅速的大气环流调整的原因肯定是非常复杂的, 需要极大的能量变化、前期累积和强烈的触发机制, 要解释其物理机制还有待于进一步的诊断分析和数值模拟。

参考文献 (References)

卞洁, 何金海, 李双林. 2012. 近50年来长江中下游汛期暴雨变化特征 [J]. 气候与环境研究, 17 (1): 68–80. Bian Jie, He Jinhai, Li Shuanglin. 2012. Heavy rain variation characteristics in flood seasons in the middle and lower reaches of Yangtze River in the Last 50 Years [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (1): 68–80.

蔡学湛, 吴滨, 温珍治. 2003. ENSO循环对西太平洋副高和福建汛期旱涝的影响 [J]. 南京气象学院学报, 26 (6): 837–844. Cai Xuezhao, Wu Bin, Wen Zhenzhi. 2003. Effect of ENSO cycle on western Pacific subtropical high and drought/flood in Fujian during rainy season [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 26 (6): 837–844.

丁一汇, 柳俊杰, 孙颖, 等. 2007. 东亚梅雨系统的天气—气候学研究 [J]. 大气科学, 31 (6): 1082–1101. Ding Yihui, Liu Junjie, Sun Ying, et al. 2007. A study of the synoptic-climatology of the Meiyu system in East Asia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (6): 1082–1101.

范可, 王会军, Choi Young-Jean. 2007. 一个长江中下游夏季降水的物理统计预测模型 [J]. 科学通报, 52 (24): 2900–2905. Fan Ke, Wang Huijun, Choi Young-Jean. 2008. A physically-based statistical forecast model for the middle and lower reaches of the Yangtze River valley summer rainfall [J]. Chinese Science Bulletin, 53 (4): 602–609.

封国林, 杨涵涌, 张世轩, 等. 2012. 2011年春末夏初长江中下游地区旱涝急转成因初探 [J]. 大气科学, 36 (5): 1009–1026. Feng Guolin, Yang Hanwei, Zhang Shixuan, et al. 2012. A preliminary research on the reason of a sharp turn from drought to flood in the middle and lower reaches of the Yangtze River in late spring and early summer in 2011 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (5): 1009–1026.

顾薇, 李崇银, 潘静. 2007. 太平洋—印度洋海温与我国东部旱涝型年

- 代际变化的关系 [J]. 气候与环境研究, 12 (2): 113–123. Gu Wei, Li Chongyin, Pan Jing. 2007. Relationship between interdecadal variation of North Pacific-equatorial Indian Ocean SST and transition of rainfall pattern in East China around the 1970s [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (2): 113–123.
- 李崇银. 2000. 气候动力学引论 [M]. 北京: 气象出版社: 117–135. Li Chongyin. 2000. Introduction of Climate Dynamics (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press: 117–135.
- 陶诗言, 赵煜佳, 陈晓敏. 1998a. 中国的梅雨 [C]// 中国科学院大气物理研究所. 东亚季风和中国暴雨——庆祝陶诗言院士八十华诞文集. 北京: 气象出版社, 3–46. Tao Shiyan, Zhao Yujia, Chen Xiaomin. 1998b. Meiyu in China [C]// Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. East Asian Monsoon and China Rainstorm—Collected Works to Celebrate the Eightieth Birthday of Academician Tao Shiyan. Beijing: China Meteorological Press: 3–46.
- 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998b. 1998年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件 [J]. 气候与环境研究, 3 (4): 290–299. Tao Shiyan, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. 1998a, The great floods in the Changjiang River valley in 1998 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 3 (4): 290–299.
- 魏凤英. 2006. 长江中下游夏季降水异常变化与若干强迫因子的关系[J]. 大气科学, 30 (2): 202–211. Wei Fengying. 2006. Relationships between precipitation anomaly over the middle and lower reaches of the Changjiang River in summer and several forcing factors [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (2): 202–211.
- 吴志伟, 何金海, 李建平, 等. 2006a. 长江中下游夏季旱涝并存及其异常年海气特征分析 [J]. 大气科学, 30 (4): 570–577. Wu Zhiwei, He Jinhai, Li Jianping, et al. 2006a. The summer drought–flood coexistence in the middle and lower reaches of the Yangtze River and analysis of its air–sea background features in anomalous years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (4): 570–577.
- 吴志伟, 李建平, 何金海, 等. 2006b. 大尺度大气环流异常与长江中下游夏季长周期旱涝急转 [J]. 科学通报, 51 (14): 1717–1724. Wu Zhiwei, Li Jianping, He Jinhai, et al. 2006b. Anomaly of large-scale atmospheric circulation and long-periodic sudden turn of drought and flood in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Chinese Science Bulletin, 51 (14): 1717–1724.
- 徐予红, 陶诗言. 1996. 东亚季风的年际变化与江淮流域梅雨期旱涝 [M] // 灾害性气候的过程及诊断. 北京: 气象出版社, 31–40 Xu Yuhong, Tao Shiyan. 1996. Interannual variability of monsoon in East Asia and diagnosis on disaster climate and flood [M] // Drought in Rainy Period over Jianghuai Valley (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press. 31–40.
- 赵思雄, 孙建华, 陈红, 等. 1998. 1998年7月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究 [J]. 气候与环境研究, 3 (4): 368–381. Zhao Sixiong, Sun Jianhua, Chen Hong, et al. 1998. Study of heavy rainfall in the Changjiang River during July 1998 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 3 (4): 368–381.