

王遵娅,任福民,孙冷,等. 2011 年夏季气候异常及主要异常事件成因分析[J]. 气象,2012,38(4):448-455.

2011 年夏季气候异常及主要异常 事件成因分析^{*}

王遵娅 任福民 孙 冷 柳艳菊 王朋岭
唐进跃 王东阡 李 多

国家气候中心,北京 100081

提 要: 本文对 2011 年夏季的中国气候及大气环流异常特征进行分析,发现我国总体气温偏高,降水偏少。西北西部、华北南部、江淮至江南一带,西南地区东部等地出现了阶段性的较大范围极端高温天气过程。西南地区东部和广西等地出现严重干旱;而长江下游地区降水显著偏多。进一步对中国气候异常事件的成因分析表明:异常高压的长期维持,孟加拉湾的向北水汽输送偏弱及西太平洋副热带高压位置偏东使其西侧的东南和偏南水汽输送对我国西南地区影响小是导致西南地区严重干旱的大气环流因素;2010 年秋季出现的中部型拉尼娜事件可能是西南干旱的一个重要外强迫条件。2011 年夏季亚洲极涡偏弱偏小,欧亚中高纬地区经向环流偏强,有利于冷空气南下;同时,中纬度西太平洋地区海温持续偏低而激发反气旋性环流产生,造成西太平洋副高偏大偏强,冷暖气流在长江下游地区交汇造成降水显著偏多。

关键词: 气候异常,西南干旱,长江下游多雨,成因分析

Analysis of Climate Anomaly and Causation in Summer 2011

WANG Zungya REN Fumin SUN Leng LIU Yanju WANG Pengling
TANG Jinyue WANG Dongqian LI Duo

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Climate characters were analyzed over China in summer 2011. It was found that, the mean temperature was higher than and the precipitation was less than normal in China. High temperature extremes were observed in extensive regions including western Northwest China, southern North China, the Yangtze and Huaihe River Valley, areas to the south of the Yangtze River, eastern Southwest China, and so on during some periods. Severe persistent droughts occurred in the eastern part of Southwest China, but significantly more rainfalls than normal occurred in the Lower Reaches of the Yangtze River. Possible causes for droughts in eastern Southwest China and more precipitation in the Lower Reaches of the Yangtze River were discussed further. Results showed that continuous anomalous high pressure over Southwest China, weak water vapor transports from the Bay of Bengal and the further east location of the western Pacific subtropical high directly caused the Southwest China drought. And the central type La Niña event developing from autumn 2011 may be an important external forcing impacting the drought in Southwest China. The negative phase of AO maintained during summer 2011, and then the polar vortex was weaker than normal, which was advantageous for southward shift of cold airs to affect China. At the same time, the anomalous anti-cyclone circulation responding to the negative SSTA in the mid-latitude West Pacific intensified the western Pacific subtropical high. And then the northward water vapor trans-

^{*} 国家自然科学基金(40905036)和国家科技支撑计划(2007BAC29B06)共同资助
2011 年 11 月 24 日收稿; 2012 年 2 月 10 日收修定稿
第一作者:王遵娅,主要从事气候学及短期气候变化研究. Email:wangzy@cma.gov.cn

port was stronger than normal. Cold airs met with the moist and warm water vapor and then caused abundant rainfalls in the Lower Reaches of the Yangtze River.

Key words: climate anomaly, drought in Southwest China, abundant rainfalls in the Lower Reaches of the Yangtze River, causation

引言

气温降水的异常可能会造成不同程度的旱涝灾害,夏季降水丰沛而气温炎热,一旦气温降水的量及时空分布等出现显著的异常则往往引发严重的灾害,如1998年夏季长江流域、松花江和嫩江流域发生特大洪涝^[1-2];2006年夏季重庆地区遭受百年不遇的酷暑和干旱^[3];2003和2007年夏季淮河流域发生严重洪涝^[4-6]等。虽然这些重大的气候异常事件均是受到东亚夏季风的影响而产生^[7],但东亚夏季风各子系统自身的异常差异,各子系统之间的不同配合,东亚夏季风与中高纬系统的配合形势等又会造成相同气候背景下不同区域的旱涝分布。因而,详细分析各年份夏季的气候异常特征及可能成因对于监测和预测需求都是有必要的。

2011年夏季,我国总体上高温少雨,长江中下游地区1—5月降水偏少,但6月以后下游地区出现多次降水过程雨量显著偏多;西南地区出现高温干旱。本文主要针对夏季中国气候特点和主要异常气候事件的可能成因进行分析,以期为进一步做好气候监测预测工作提供参考和依据。

1 资料与方法

本文主要使用了国家气象信息中心提供的1951年1月1日至2011年9月30日中国700站逐日平均气温和降水量资料及美国气象环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作的NCEP/NCAR再分析数据集。本文使用的气候平均值为1971—2000年平均。

2 2011年夏季中国气候异常特征

夏季(6—8月),我国总体气温偏高,降水偏少;极端高温天气频发;西南地区东部及广西等地出现严重干旱;长江下游降水显著偏多。

2.1 全国总体气温偏高,降水偏少

2011年夏季,我国平均气温 21.3°C ,比常年同期(20.4°C)偏高 0.9°C ,为1951年以来历史同期第四高值(图1a)。从空间分布上看(图1b),新疆大部、甘肃大部、内蒙古大部、青海西北部、黑龙江西部、吉林西北部、云贵川渝交界地区等地气温较常年同期偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,局部地区偏高 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,其余大部接近常年同期。在各省(区、市)中,贵州、广西平均气温为1951年以来历史同期最高值,宁夏、新疆和福建次高。

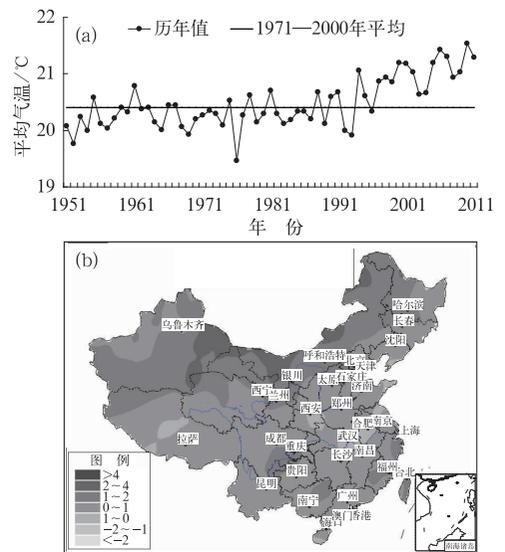


图1 1951—2011年中国夏季平均气温历年变化(a)及2011年夏季中国气温距平分布(b,单位:°C)

Fig. 1 Time series of summer mean temperature averaged over China during 1951 to 2011 (a) and the distribution of temperature anomalies of China in summer 2011 (b, unit: °C)

全国夏季平均降水量有294.4 mm,较常年同期偏少6.7%,为近19年来最少(图2a)。从空间分布上看(图2b),新疆北部、内蒙古西部、青海部分地区、江苏、安徽东部、上海和浙江北部等地降水量一般较常年同期偏多3~5成,局部偏多1倍;而新疆

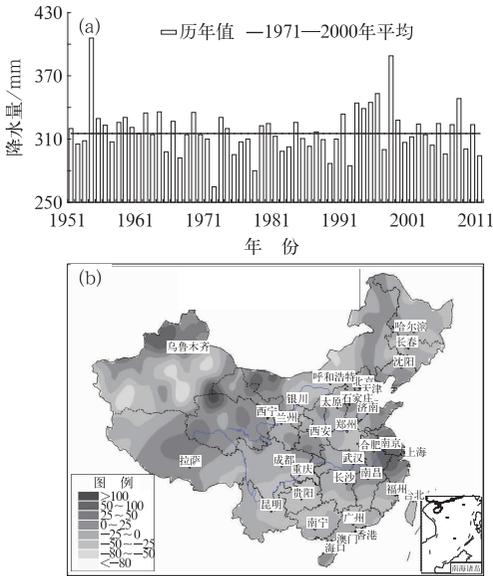


图 2 1951—2011 年中国夏季平均降水量历年变化(a)及 2011 年夏季中国降水量距平百分率分布(b)

Fig. 2 Time series of summer mean rainfall amounts (unit: mm) averaged over China during 1951 to 2011 (a) and the distribution of precipitation percentage anomalies (unit: %) of China in summer 2011 (b)

东部和南部、内蒙古东部、河南中部、四川东南部、云南东北部、贵州和广西北部等地降水量偏少 3~5 成。在各省(区、市)中,江苏夏季平均降水量为 1951 年以来历史同期次大值;贵州、云南夏季平均降水量为 1951 年以来历史同期次小值。

2.2 极端高温天气频发

6 月上旬和中下旬,7 月中旬和下旬,8 月上旬至中旬,我国分别出现了较大范围的极端高温天气过程,主要分布在西北西部、华北南部、江淮至江南一带和西南地区东部等地。整个夏季,全国 345 站出现极端高温,其中 43 站达到或突破历史极值,主要分布在西南地区东部及江南一带;共有 129 站的日最高气温达到或超过 40°C ,如新疆吐鲁番(47.8°C)、四川长宁(43.5°C)、贵州赤水(43.2°C)和云南盐津(42.8°C)等。同时,我国四川东部、江南、华南及甘肃、新疆、内蒙古等地共 188 站出现极端连续高温日数事件,其中 12 站达到或突破历史极值,主要分布于云南和四川。

2.3 西南地区东部及广西等地出现严重干旱

2011 年 1—8 月西南地区降水量为 1951 年以来历史同期最少,区域平均无降水日数为历史同期最多;气温自 4 月中旬开始持续偏高,5—8 月平均气温为历史同期第二高,贵州省为历史同期最高。由于降水持续偏少,气温偏高,西南地区东部及广西等地旱情不断发展。从西南地区干旱县数比例的逐日演变看(图 3),西南干旱自年初开始主要经历了 3 个较严重的阶段,其中 2 月中旬至 3 月下旬旱情较轻,其后旱情有所缓解;4 月中旬到 6 月底旱情迅速发展,每天均有 10% 以上的县维持重度以上干旱;7 月上旬旱情略有缓和,7 月中旬以后旱情再度发展,达中旱以上的县的比例甚至超过 60%,达特旱以上的县也有近 20%。高温干旱对西南等地的农业、水资源、水利发电、生态环境和人们生活造成了较为严重的影响。

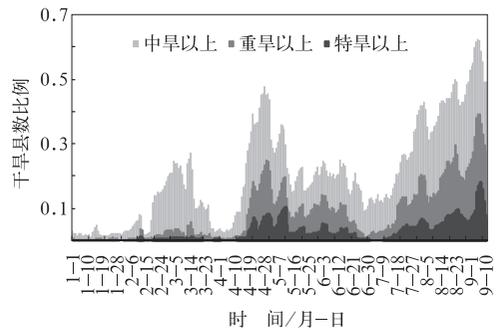


图 3 2011 年 1 月 1 日至 9 月 10 日西南地区干旱县数比例逐日演变

Fig. 3 Time series of drought county proportion in SWC (South West China) during January 1 to September 10, 2011

2.4 长江下游降水显著偏多

如图 2b 显示,2011 年夏季长江下游降水较常年同期偏多 5 成至 1 倍。统计发现(图 4a),2011 年苏皖沪浙 4 省(市)平均夏季降水量为 711.1 mm,较常年同期偏多 36.5%,为 1951 年以来第三大值,仅次于 1954 年(853.7 mm)及 1999 年(724.2 mm)。从降水距平的逐日演变可以看到(图 4b),整个夏季苏皖沪浙 4 省(市)的逐日降水量都以偏多为主,尤其是 6 月上旬至中旬,降水量显著偏多且时段集中;7 月中旬、8 月上旬及下旬,也分别出现了降水

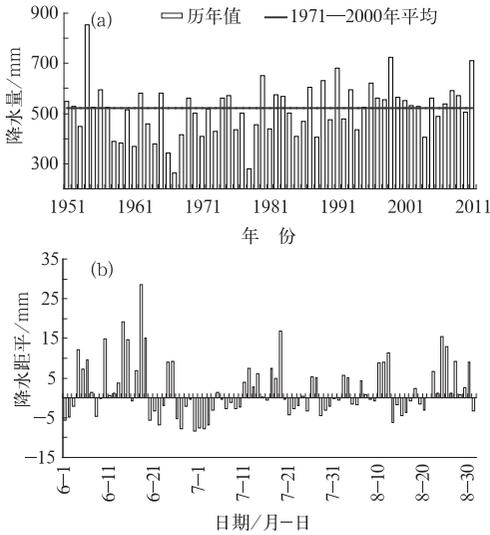


图 4 1951—2011 年夏季苏皖沪浙 4 省(市)平均降水量历年变化(a) 及 2011 年夏季苏皖沪浙 4 省(市) 逐日降水量距平(b)

Fig. 4 Time series of summer precipitation during 1951 to 2011 (a) and daily precipitation anomalies during June 1 to August 31, 2011 (b) averaged over Jiangsu, Anhui, Shanghai and Zhejiang

偏多的集中期。由于 1—5 月长江中下游地区出现近 60 年来最严重的冬春气象干旱,而 6 月上旬至中旬降水激增,导致部分地区旱涝急转,湖北陆水上游、江西乐安河、浙江钱塘江上中游和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 hm^2 ,直接经济损失 293.6

亿元^[8]。

3 大气环流和热带海洋特征

从夏季 500 hPa 平均位势高度及距平场的分布可以看到(图 5),欧亚中高纬环流呈现“两脊一槽”型分布,蒙古国至贝加尔湖以北地区为 20~40 gpm 的正高度距平控制。我国上空呈现高度场整体偏高的态势,北方地区上空的正距平值在 10 gpm 以上。这种高度场的分布形势不利于冷空气南下与南方暖湿气流交汇形成降水,因而在整个夏季,我国的降水整体偏少。从图上还可以看到,夏季西太平洋副热带高压西伸脊点及脊线位置与常年持平,但副高主体偏北、面积明显偏大、强度偏强,还是比较有利于低纬暖湿气流向北输送。

从整个夏季的海温看(图 6),赤道中东太平洋

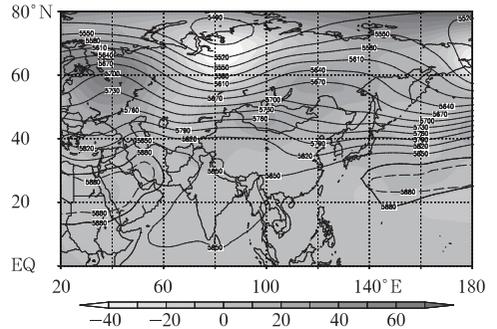


图 5 2011 年夏季东北半球 500 hPa 平均位势高度及距平场(单位: gpm), 虚线为常年 5880 gpm

Fig. 5 Mean geopotential heights and anomalies on 500 hPa for summer 2011 (unit: gpm), 5880 gpm of climatology in dashed lines

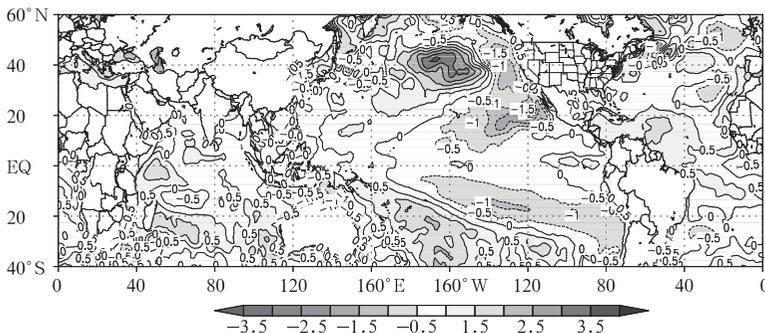


图 6 2011 年夏季平均海表温度距平(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 6 The SST anomalies (unit: $^{\circ}\text{C}$) in summer 2011

海温处于正常状态,虽然其大部海表温度较常年同期偏低,但负距平值高于 -0.5°C 。需要注意的是,6月赤道中东太平洋海温维持正距平,7月海温正距平区域出现了明显减小,而8月其大部海表气温较常年同期偏低,负距平中心低于 -1.0°C ,呈现出拉尼娜状态的特征。就其他海区而言,夏季,太平洋中高纬地区东部偏冷而中部偏暖明显;副热带地区中东部偏冷;印度洋以偏暖为主;大西洋海温异常呈现出弱的正负正三极子的特征。

4 中国主要异常事件的可能成因

前面的分析表明,2011年夏季我国降水普遍偏少,尤其是西南地区高温少雨发生了严重干旱;但长江下游降水在6月发生旱涝急转,整个夏季降水量之多达该区域1951年以来第三大值。下面就影响此两个事件形成的大气环流和可能的外强迫因素进行一些粗浅的讨论。

4.1 西南干旱

从图5可以看到,夏季西南地区为高度正距平区。我们进一步计算了2011年以来至9月中旬西南地区平均逐日500 hPa高度距平(图7)。可以发现,实际自1月下旬以来西南地区的高度场就一直偏高。对同时段不同层次气流的水平散度进行计算发现(图略),西藏东部至川滇一带850及500 hPa上空维持一致的气流辐散中心,而到了400 hPa以

上为辐合中心控制。也就是说,西南地区长期在异常高压的控制下,对流层中低层气流辐散而高层气流辐合,以下沉气流为主,不利于降水产生。因而,持续的异常高压控制是西南地区干旱不断发展的重要环流条件之一。

下面分析水汽输送对干旱的影响。2.3节的讨论表明4月中旬至6月底及7月中旬至8月底为西南干旱非常严重并不断发展的两个阶段,我们就着重对该2个时段分析。如图8a所示,2011年4月中旬至6月底,以印度南部为中心维持一异常反气旋型水汽输送带,导致孟加拉湾上空以偏西北风

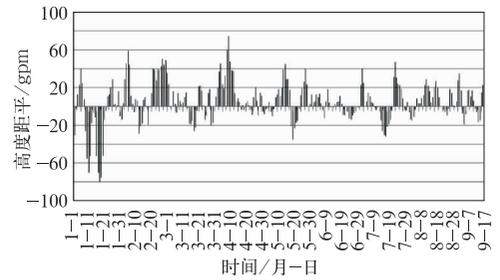


图7 2011年1—9月中旬西南地区($22.5^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}, 100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$)平均500 hPa位势高度距平时间序列(单位:gpm)

Fig. 7 Time series of daily geopotential height anomalies (unit: gpm) on 500 hPa level averaged over Southwest China ($22.5^{\circ}-32.5^{\circ}\text{N}, 100^{\circ}-110^{\circ}\text{E}$) during January–September, 2011

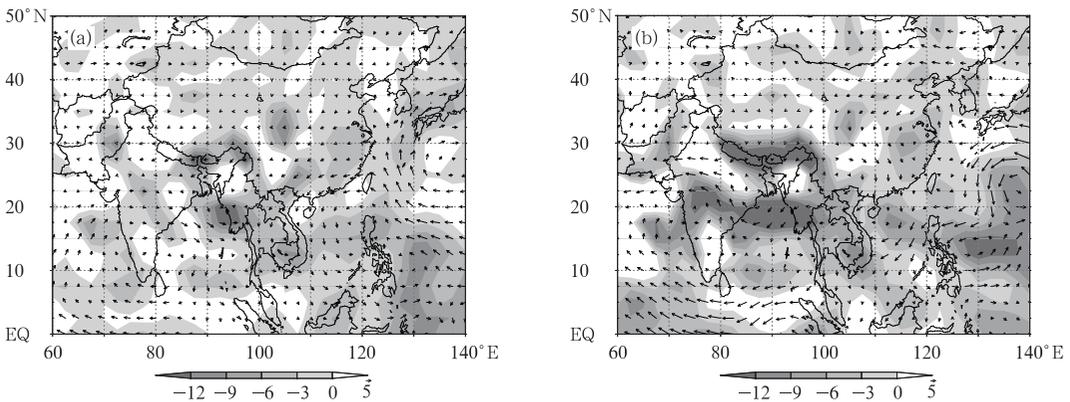


图8 2011年4月10日至6月30日(a)及7月10日至8月31日(b)整层积分的水汽输送通量距平(向量,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及水汽通量散度(阴影,单位: $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 8 Water vapor flux anomalies (vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and divergence of water vapor flux (shaded areas, unit: $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) vertically integrated from surface to 300 hPa from April 10 to June 30, 2011 (a) and from July 10 to August 31, 2011 (b)

水汽输送为主,不利于孟加拉湾的暖湿气流向北输送至我国西南一带。同时,我国南方大部地区上空都为异常东北向水汽输送,西太平洋副热带高压位置偏东偏北,其西侧的东南及偏南风将太平洋上的暖湿气流向北输送到长江下游甚至更北的位置,但对我国西南地区的影响很小。在孟加拉湾水汽输送偏弱而西太平洋副热带高压西侧水汽输送偏东的情况下,我国西南上空形成一水汽辐散区,不利于降水形成。7月中旬至8月底的水汽输送异常形势与此相似,孟加拉湾及西北太平洋上空的水汽输送以东北、偏北异常为主,对西南暖湿气流向北的输送弱,我国西南上空维持水汽辐散区,导致干旱长时间持续。

上面的分析表明,异常高压的长期维持,孟加拉湾的向北水汽输送偏弱及西太平洋副热带高压位置偏东偏北使其西侧的东南和偏南水汽输送对我国西南地区的影响小是导致西南地区严重干旱的大气环流因素。而最新的研究还发现^[9],中部型拉尼娜事件可以在西南地区上空激发出一异常反气旋型环流,且该异常性反气旋自前秋就出现,可一直维持到拉尼娜事件结束年的夏季;其在春夏季尤为明显。因而2010年秋季出现的中部型拉尼娜事件可能是2011年春季我国西南干旱的一个重要外强迫条件。

4.2 长江下游降水明显偏多

长江下游地区在夏季出现了降水显著偏多的状况,下面我们就分析产生这种异常的可能原因。

500 hPa的环流特征已经在第3节中进行了分析,还需要注意到的是,在华北至黄淮一带上空为弱的槽区,有利于引导冷空气南下与偏大偏强的西太平洋副热带高压向北输送的暖湿气流交汇于长江下游一带形成降水。从低层环流场上看(图9),长江中下游地区维持一异常气旋,以上升气流为主,有利于降水产生。并且长江下游地处该异常气旋东侧气流与偏强的副高西侧偏南气流的汇合区,降水量更大。从图上还可以注意到,鄂霍次克海、日本海西北部上空还各有一个异常气旋,与长江中下游异常气旋连成一个异常气旋串,与500 hPa上鄂霍次克海异常低压以南的槽区相对应,表明长江中下游异常气旋是高纬度冷空气向南侵入的结果。

从环流异常的情况看,长江下游地区夏季降水偏多一方面是受到北方冷空气活跃的影响,另一方

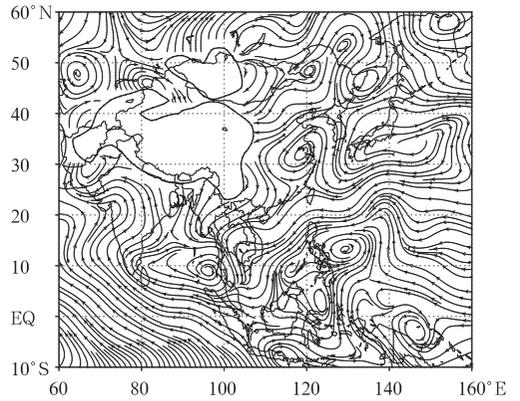


图9 2011年夏季850 hPa异常风场

(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(实线示意青藏高原地区)

Fig. 9 Wind anomalies at 850 hPa for summer 2011 (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), with the solid line denoting the Tibetan Plateau

面是受到西太平洋副热带高压偏大偏强的影响。下面我们就来分析什么因素可能产生这样的环流异常。

图10显示的是长江下游上空850 hPa的平均逐日经向风速。可以看到,从5—8月,长江下游中低层的经向风速以偏北风为主,并且除了个别时段外,经向风速均较气候值偏弱,即以偏北风异常为主。尤其是6—7月,长江下游平均风速为 $-1.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,为1951年以来首次出现北风,较气候平均值($2.86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)明显偏小,为强的偏北风异常。这表明夏季长江下游地区的冷空气活动确实是

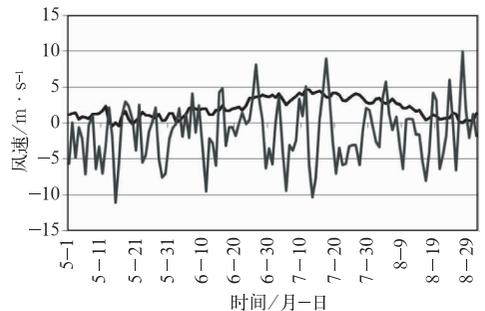


图10 2011年5—8月长江下游(27.5°~32.5°N, 115°~125°E)850 hPa上空平均经向风速的逐日变化

Fig. 10 Daily meridional wind speed (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 850 hPa averaged over the Lower Reaches of the Yangtze River (27.5°—32.5°N, 115°—125°E) during May to August, 2011

非常活跃。有研究指出^[10],夏季亚洲极涡偏弱且面积偏小易使环流呈现出经向型分布,影响高空西风急流位置偏南且有利于冷空气南下;夏季亚洲极涡强度和面积与长江中下游降水呈显著的负相关关系。而监测数据表明,2011年夏季亚洲极涡强度指数为25,较常年同期(27)偏小;面积指数142,也较常年同期(148)偏小,欧亚中高纬经向环流指数为48,较常年同期(43)偏强,这可能是导致长江下游地区上空盛行强的偏北风异常,冷空气活动频繁的重要原因。

从图 11 可以看到,在西太平洋上夏季副热带高压维持的区域($20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$),整个 5—8 月 500 hPa 的高度场均偏高,尤其是 5 月下旬至 7 月中旬,这也证实了西太平洋副热带高压在这个时段内的持续偏强。有研究指出,热带西太平洋的热力状况与副高关系密切,一方面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^[11];另一方面,热带西太平洋海温偏低激发反气旋式环流发展,有利于副高加强^[12-13]。我们分析了夏季 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 区域内的海温特点,发现其持续偏低。海温的冷却效应有利于激发反气旋式环流产生,这可能造成了西太平洋副热带高压的偏大偏强。

从上面的分析得知,2011 年夏季亚洲极涡偏弱偏小,欧亚地区经向环流偏强,有利于冷空气南下影响我国,可能造成了长江下游地区上空冷空气活动

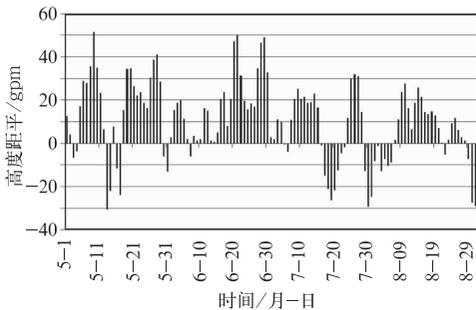


图 11 2011 年 5—8 月逐日西太平洋地区 ($20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 平均 500 hPa 位势高度距平时间序列(单位:gpm)

Fig. 11 Time series of daily geopotential height anomalies (unit: gpm) on 500 hPa level averaged over West Pacific ($20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$) during May—August, 2011

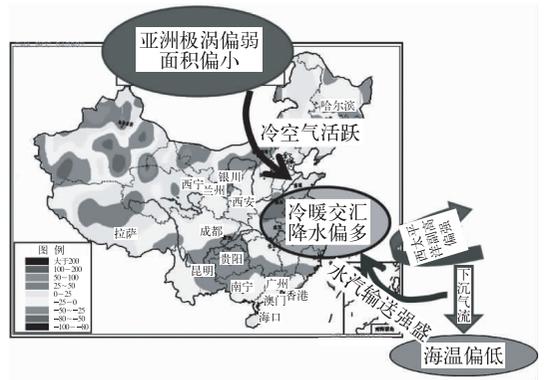


图 12 2011 年夏季长江下游多雨成因示意图
Fig. 12 Schematic map of possible causes for rainfalls much more than normal in the Lower Reaches of the Yangtze River in summer 2011

频繁;另一方面,中纬度西太平洋地区海温持续偏低,激发反气旋式环流产生,可能影响了西太平洋副热带高压偏大偏强。强的冷暖气流在长江下游地区交汇,从而形成这一区域降水显著偏多的异常状况。

5 结论

本文对 2011 年夏季的中国气候及大气环流异常特征进行分析,并针对中国发生的两个主要气候异常事件成因进行了讨论,得到的主要结论如下:

(1) 2011 年夏季,我国总体气温偏高,降水偏少。西北西部、华北南部、江淮至江南一带,西南地区东部等地出现了阶段性的较大范围极端高温天气过程。西南地区东部和广西等地持续高温少雨,出现了严重干旱;而长江下游地区降水显著偏多,为 1951 年以来第三多。

(2) 2011 年夏季,欧亚中高纬呈“两脊一槽”环流型,副高主体偏北、面积偏大,强度偏强。赤道中东太平洋维持拉尼娜状态,西太平洋的中低纬地区为海温负距平。

(3) 异常高压的长期维持,孟加拉湾的向北水汽输送偏弱及西太平洋副热带高压偏东偏北使其西侧的东南和偏南气流对我国西南影响小是导致西南地区严重干旱的大气环流因素;2010 年秋季出现的中部型拉尼娜事件可能是西南干旱的一个重要外强迫条件。

(4) 2011 年夏季亚洲极涡偏弱偏小,有利于冷

空气南下影响我国,造成长江下游上空冷空气活动频繁;同时,中纬度西太平洋地区海温持续偏低,激发反气旋性环流产生,可能影响西太平洋副热带高压偏大偏强。强的冷暖气流在长江下游地区交汇,从而造成这一区域降水显著偏多。

参考文献

- [1] 孙冷. 长江流域暴雨洪涝严重 嫩江出现历史最高洪峰[J]. 气象, 1998, 24(10): 62-63.
- [2] 冯明, 王保家, 熊守权. 1998年长江大洪水与大气环流和海温异常分析[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(1): 112-117.
- [3] 彭京备, 张庆云, 布和朝鲁. 2006年川渝地区高温干旱特征及其成因分析[J]. 气候与环境研究, 2007, 12(3): 464-474.
- [4] 徐良炎. 淮河流域暴雨频繁洪涝严重 江南华南酷热少雨伏旱发展[J]. 气象, 2003, 29(10): 62-63.
- [5] 章国材, 毕宝贵, 鲍媛媛, 等. 2003年淮河流域强降水大尺度环流特征及成因分析[J]. 地理研究, 2004, 23(6): 795-804.
- [6] 吴有训, 束长汉, 程雪生. 2007年夏季淮河流域多时间尺度降水分布和传播特征[J]. 中国农学通报, 2011, 27(23): 276-282.
- [7] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究[J]. 大气科学, 2003, 27: 770-787.
- [8] 国家气候中心. 2011年5—6月全国气候影响评价[R].
- [9] 孙冷, 任福民, 王遵娅, 等. 2011年8月气候异常及成因分析[J]. 气象, 2012, 待刊.
- [10] 王遵娅, 丁一汇. 夏季亚洲极涡的长期变化对东亚环流和水汽收支的影响[J]. 地球物理学报, 2009, 52(1): 20-29.
- [11] Si D, Ding Y H. A numerical simulation of the impact of tropical western Pacific Ocean SSTA on decadal shift of the Meiyu belt [J]. Acta Meteorologica Sinica, Submitted.
- [12] Wen M, Yang S, Kumar A, et al. An analysis of the large scale climate anomalies associated with the snowstorms affecting China in January 2008 [J]. Mon Wea Rev, 2008, 137: 1111-1131.
- [13] Zhang R, Sumi A. Moisture circulation over East Asia during El Nino Episode in northern winter, spring and autumn [J]. J Meteor Soc Japan, 2002, 80: 213-227.