

文章编号:2096 - 5389(2022)03 - 0056 - 07

2020 年初夏贵州省降水异常特征及其历史相似性分析

王玥彤¹, 何东坡², 严小冬¹, 张娇艳¹, 陈早阳¹, 李忠燕¹

(1. 贵州省气候中心, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省气象台, 贵州 贵阳 550002)

摘要:该文利用 1961—2020 年贵州省 84 个气象台站 5 月 20 日—7 月 10 日的降水资料与 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了贵州省初夏降水异常时空分布特征及其与海洋、大气环流的联系, 以及对比 2020 年与历史相似年影响因子的异同。对比历史相似年, 当初夏降水偏多时, 大气环流纬向分布呈“两槽一脊”分布型, 低压槽稳定维持在东亚中高纬附近。西太平洋副热带高压西伸脊点明显偏西, 面积偏大, 强度偏强。850 hPa 水汽输送场上通过西北太平洋异常反气旋产生的异常西南风, 向长江及其以南地区输送水汽, 低层水汽输送偏强且辐合带位置相对稳定。前期春季热带印度洋偏暖和太平洋西暖东冷的异常海温加强了菲律宾反气旋, 使西太副高稳定维持在西太平洋和东南亚地区, 导致贵州省初夏降水偏多。

关键词:降水异常; 时空特征; 大气环流; 海温异常

中图分类号:P426.61+4 **文献标识码:**A

Analysis of Features and Historical Similarities of the Precipitation Anomalies in Guizhou Province in Early Summer 2020

WANG Yuetong¹, HE Dongpo², YAN Xiaodong¹, ZHANG Jiaoyan¹, CHEN Zaoyang¹, LI Zhongyan¹

(1. Guizhou Climate Center, Guiyang 550002, China; 2. Guizhou Meteorological Observatory, Guiyang 550002, China)

Abstract: By using the NCEP\NCAR reanalysis data and rainfall data from the 84 stations in Guizhou province during 1961—2020, studied the relationship between the abnormal early summer rainfall and the sea surface temperature and atmosphere circulation, and also analyzed the similarities and differences of impact factors between the year 2020 and historical years when precipitation was positively anomalous. When there is more precipitation in early summer, zonal distribution of atmospheric circulation presented the “- + -” wave train. The trough remained stable near the middle and high latitude of East Asia. And the western ridge of the West Pacific subtropical high (WPSH) was obviously westward, the area of WPSH was bigger and the intensity of WPSH was stronger. On the 850 hPa vapor transport level, there was abnormal southwesterly wind caused by anticyclone in the Northwest Pacific transported water to the Yangtze River and its south, and the low-level water vapor transport was strong and the location of the convergence zone was stable. In the early spring, the warmer tropical Indian Ocean and the Pacific Ocean's warm west and east cold abnormal sea temperature strengthened the anticyclone in the Philippines, which made the WPSH remain stable in the Western Pacific and Southeast Asia, as a result, Guizhou Province has more precipitation in early summer.

Key words: abnormal precipitation; temporal and spatial characteristics; atmosphere circulation; sea temperature anomaly

收稿日期: 2021 - 07 - 02

第一作者简介: 王玥彤(1992—), 女, 工程师, 主要从事气候变化、短期气候预测工作, E-mail: wangyuetongwyt@126.com。

通讯作者简介: 严小冬(1979—), 男, 硕士, 正高, 主要从事气候变化研究工作, E-mail: Yxd_heycon@163.com。

资助项目: 中国气象局创新发展专项: 2020 年长江及淮河流域致洪强降雨及汛期降水预测专题总结分析(CXFZ2021Z033)、华南区域延伸期降水智能网格预测技术(CXFZ2021J026)、西南地区延伸期智能网格逐候预测及检验技术(CXFZ2021J018); 贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2021]01-06号): 2020 年初夏贵州省降水异常特征及其历史相似性分析。

0 引言

初夏时节正是从春季到夏季的季节转换时期,随着夏季风的爆发,降水开始增加,降水过程开始变得集中,降水异常同时受到中高纬和低纬大气环流系统的影响^[1,2]。

贵州省位于东亚夏季风影响的关键区域,汛期(5—9月)降水量占全年降水的72%,5月20日—7月10日(下文称初夏)的降水量占整个汛期降水量的45%左右,贵州东部地区于4月中旬开始进入雨季,每年5月随着南海季风爆发全省由东到西依次进入雨季。暴雨洪涝是贵州省雨季最主要的气象灾害之一,其产生的直接原因是暴雨集中、雨带稳定、强降水过程频繁且持续时间长。持续性暴雨过程产生于稳定的大气环流背景下,且有充足的、持续的水汽供应和对流不稳定能量释放^[3-6],其中大尺度的水汽输送及水汽持续辐合是暴雨形成的必要条件^[7-9]。

2020年入汛以来,我国天气气候形势复杂,贵州省更是总体偏涝,全省范围内出现了不同程度的洪涝灾害,降水极端性十分突出,暴雨强度总体偏强,影响时间持续较长,累计雨量大,灾害影响重。据监测统计,惠水县在6月24日降水量突破历史极值,24 h降雨量达215.6 mm,正安县碧峰镇6月12日03—04时小时雨量突破历史极值达163 mm。期间一共出现了8次区域性暴雨过程^[10],降水落区重叠,多地城镇内涝,全省因洪涝灾害紧急转移安置13.76万人次。局部特大暴雨的降水过程给贵州省的农业、水产养殖业、交通带来严重的影响。对2020年贵州省初夏降水异常成因展开研究,分析与

之相关的气候背景,并结合历史气候异常年开展对比分析^[11],比较2020年气候异常与历史相似年份气候异常之间的差异,找出预测关键因子,为促进贵州省汛期短期气候预测业务发展提供参考和支撑。

1 资料与方法

本文使用的资料主要有:①贵州省1961年以来的初夏时段降水日值数据,时间为20—20时。②大气环流资料为NCEP/NCAR逐日、逐月再分析资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时间为1961—2020年,要素场包括风场、相对湿度和500 hPa高度场。③NOAA提供的海表温度场数据,分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$,时间为1961—2020年。④西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)各项指数,以及Bin Wang^[12]定义的东亚夏季风指数均来自国家气候中心的“气候与气候变化监测系统”。⑤气候常年值为1981—2010年的平均值。

2 初夏贵州省气候异常特征

2.1 初夏贵州省降水特征

2020年初夏全省平均降水量为544.1 mm,较常年同期偏多48.5%,为1961年以来历史同期最多。从1961—2020年初夏时段全省平均降水量时间序列(图1)可看出,贵州省1981—2010年降水量气候态为367.8 mm,降水量呈现明显的年代际变化,在1990年代之前,降水明显偏少,20世纪90年代是降水偏多的集中期,近21世纪初降水又转为偏少,但近5 a呈现出降水明显增加的趋势。

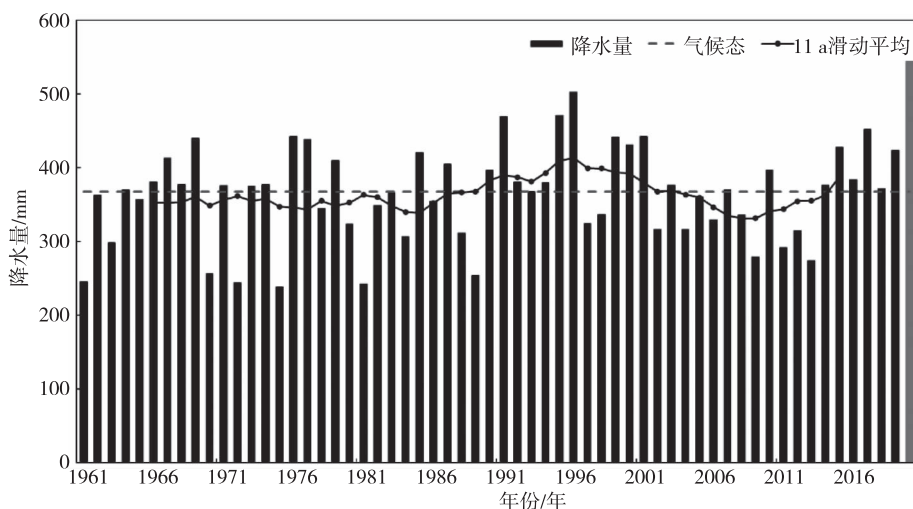


图1 1961—2020 初夏降水量时间序列

Fig. 1 Time series of precipitation in early summer during 1961—2020

初夏时段全省降水量在 250 ~ 900 mm 之间,总体集中在省的中部和南部地区。从为初夏时段降水量的空间分布图 2a 可以看出,除毕节市西部、铜仁市西部、遵义市东南部、黔东南州北部局地外,全省大部分地区降水量在 450 mm 以上。其中,遵义市北部降水量在 550 mm 以上,正安县降水量超过 700 mm;省的西部及南部大部分地区降水量均在 550 mm 以上,其中,安顺市大部、黔南州惠水县及黔东南州丹寨县降水量超过 700 mm,安顺市紫云县和黔南州三都县降水量超过 800 mm。图 2b 为初夏时段降水距平百分率的空间分布,全省除盘州降水偏少

外,其余地区降水均偏多。降水距平百分率值西部相对较小,北部与东部较大。除毕节市西部、六盘水市南部、黔西南州大部、遵义市局地与铜仁市局地降水距平百分率低于 25%,其余省内大部分地区均超过 25%,特别是遵义市北部,黔东南州东北部和南部局地降水距平百分率超过了 100%。对比降水量分布的大值区可以发现,两者在西部地区略有不同,这是由于初夏时段,降水量气候态整体呈现西多东少的分布,导致西部部分地区降水量值较大,而降水距平百分率相对较小。

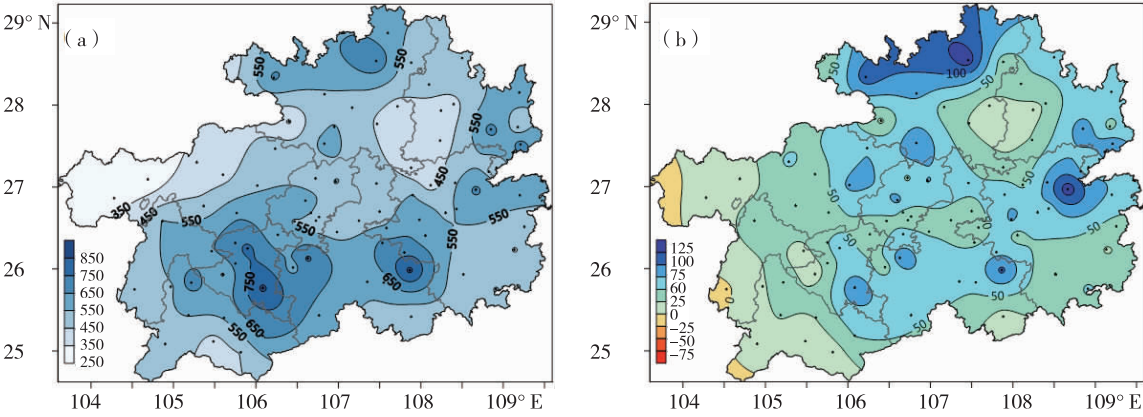


图 2 贵州省 2020 年初夏降水量(a,单位:mm)和降水距平百分率(b,单位:%)空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of precipitation (a,unit:mm) and percentage of precipitation anomaly (b,unit:%) in early summer in Guizhou,2020

据统计,2020 年初夏贵州省共出现了 8 次区域性暴雨过程(表 1),全省范围内区域站出现特大暴雨 59 站次、大暴雨 964 站次、暴雨 4913 站次。其中,6 月 18 日的暴雨过程全省平均降水量最大,为 25.8 mm,贵州省西南部至东北部一线均受到暴雨影响;降水量最少为 6 月 2 日平均为 18 mm;6 月 23—24 日的过程,降水量平均为 25.5 mm,全省中部以南大部地区都受到暴雨影响,其中,单站最大降水量出现在 6 月 24 日惠水县,为 215.4 mm,属特

大暴雨。分析初夏过程主要影响系统,均为 500 hPa 高空槽东移,配合低层切变线影响。贵州省位于西太副高西北侧和低空急流左侧出口区,有充沛的水汽和动力抬升条件,并且,受到副高持续偏西影响,导致过程中降雨系统在贵州省内移动缓慢,降水时间长,达到暴雨降水级别。总结多次过程降水落区,均出现在贵州省西部、南部、东南部和东北部等地,降水落区重叠,使省内多地发生城镇内涝和山洪,造成严重影响。

表 1 2020 年初夏主要降水过程

Tab.1 The main precipitation process in the early summer of 2020

发生时段	全省降水均值/mm	单站最大降水量/mm	主要影响系统	主要影响区域
5 月 20 日	23.1	131.5		省之中部以东以南
6 月 2 日	18	88.8		省之西南部及北部、东部边缘
6 月 8—9 日	17.3	147.6	高原槽东移、切变	省之西部和南部
6 月 13—14 日	22.4	183.3	线、低空急流、贵	省之西部至东北部一线
6 月 18 日	25.8	94.5	州省位于副热带	省之西南至东北部一线
6 月 23—24 日	25.5	215.4	高压西北侧	省之中部以南大部
6 月 30—7 月 2 日	23.6	205.1		除东南部边缘其余大部
7 月 8—10 日	23.1	100.1		除西南部边缘其余大部

2.2 2020年初夏大气环流演变特征

分析初夏大气环流异常演变特征,讨论大气环流对2020年初夏降水异常的影响。图3给出了2020年初夏东北半球大气环流分布,北半球中高纬地区环流经向度较大,由北至南距平场分布大致为“北高南低”分布。纬向分布呈“两槽一脊”分布型,乌拉尔山阻塞高压活跃,北极环流受到上游亚洲高压暖空气向北输送的影响,导致极地冷空气由新地岛—巴伦支海输送到蒙古—东北/华北地区,形成冷涡或冷槽,因此东北冷涡活跃;同时,下游鄂霍次克海以西的高压脊强大而稳定,起到对大范围环流系统的锚定作用,使低压槽稳定维持在东亚中高纬附近,配合青藏高原的不稳定低槽东移,使得雨带停滞于长江流域。中低纬环流场上,印缅槽偏弱,西太平洋副热带高压西伸脊点明显偏西,面积偏大,强度偏强。和气候态相比,5880线与气候态5860线接近,我国南海至华南地区都受到副热带高压主体控制,西伸脊点延伸至中南半岛地区,贵州省位于副高西北侧,受到副高外围风场带来的水汽影响,配合西南季风的水汽输送,有非常充沛的水汽条件,结合中高纬环流配置,使中国南方地区降水落区稳定维持在长江中下游及其以南地区。这一结论与吴萍等^[3]研究厄尔尼诺次年大气环流状况一致。

从西太副高指数逐日变化情况来看,副热带高压脊线位置和西伸脊点在月内变化较大,具体分析如图4所示。西太副高脊线位置在月内有2次显著变化,6月16日前,副热带高压脊线明显偏北,受到中纬度低压槽西移的影响,副热带高压受到压制,不易北跳;16日之后南落并维持相对气候态偏南的位置,直到6月30日才又一次北抬,脊线从偏南位相转换为偏北。虽然月内变化有阶段性偏南的特征,但脊线位置总体偏北。西伸脊点在月内保持整体偏西的状态,但在6月4日后有阶段性东退地演变特征,基本保持在气候态以西的位置。

从东亚夏季风指数逐日变化情况来看(图4a),2020年初夏东亚夏季风总体强度偏弱表现得异常明显,东亚夏季风强度指数甚至达到-8,较常年同期异常偏弱。由于季风偏弱,季风水汽输送路径偏南(图4b),水汽沿着西南季风和南海季风的方向,向中国南方地区输送。结合水汽输送矢量距平图(图4c)可以看出,南海地区有明显的反气旋式环流异常,有利于将南海的水汽通过西南风异常输送到长江流域。并且来自孟加拉湾和赤道印度洋西南风水汽输送较常年偏强。上述2条水汽通道为贵州

省乃至长江流域多雨形势提供了必要条件。同时,中高纬地区的经向型环流带来的动力条件,结合水汽通量散度分布,可以看出西南季风和南海季风将水汽输送至中国的西南地区并产生辐合,因此,降水集中在西南地区及长江流域一线。

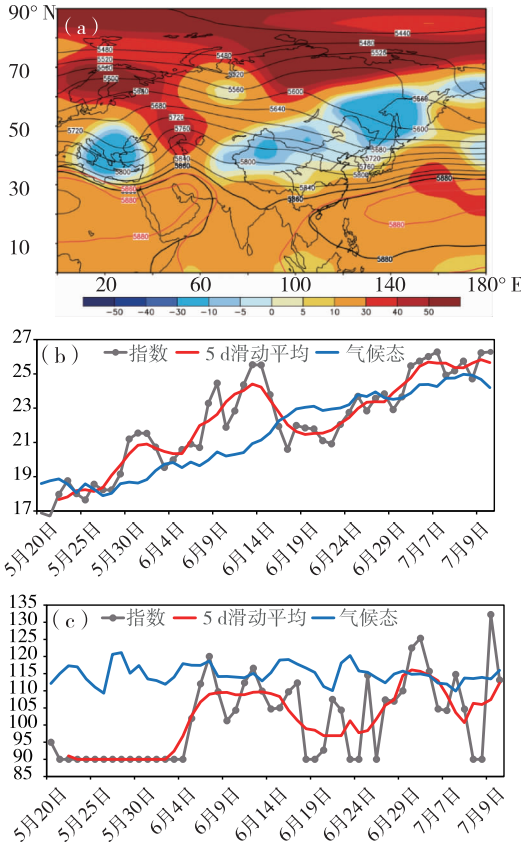


图3 2020年初夏500 hPa位势高度场(a,填色图为距平,黑线为位势高度实况值,红线为气候态)及西太平洋副热带高压各指数逐日变化(b:脊线位置;c:西伸脊点)

Fig. 3 500 hPa geopotential (a, anomaly field, shaded; original field, black contour; climate filed, red contour), the WPSH daily variation ridge position(b), and west ridge point(c) in early summer, 2020

3 贵州省历史同期降水异常偏多年与2020年的对比分析

贵州省降水量年际与年代际变化显著,将初夏降水资料标准化后选取超过1.0个标准差的5个历史偏多年(1996、1995、1991、2017、2001年,2020年除外)作为研究对象。利用合成分析比较2020年初夏与历史同期降水偏多年环流和海温等差别。

3.1 环流对比分析

通过对初夏历史偏多年环流场合成分析发现(图5a),500hPa欧亚中高纬呈现出“两槽一脊”的

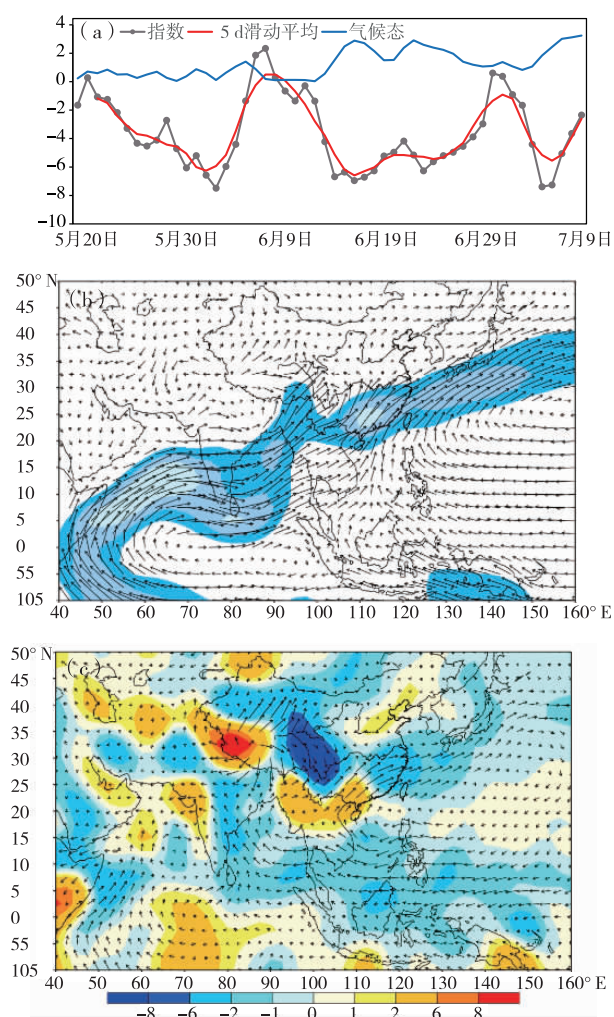


图 4 2020 年初夏东亚夏季风指数逐日变化(a)、850 hPa 水汽输送原始场(b,单位: $10 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$,阴影为水汽输送大于 $80 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 和水汽输送距平场水汽通量散度场(c,箭头为距平,单位: $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$;阴影为水汽通量,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 4 The East Asian summer monsoon index changes daily (a), 850 hPa original water vapor transmission (b, unit: $10 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$, shadow: bigger than $80 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$), water vapor transport anomaly (arrow; unit: $\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$) and water vapor flux divergence (shadow; unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) (c) in early summer, 2020

波列,欧洲南部为正距平分布,北欧至乌拉尔山西侧为负距平分布,西伯利亚至贝加尔湖地区为高度场正异常,鄂霍次克海为负高度异常,高压脊位于青藏高原至东西伯利亚一线。中国除华北和东北地区外大部分地区高度场都为正距平,东亚大槽偏强,东北冷涡活跃,通过异常东北风,向长江及其以南地区输送干冷空气。西太平洋副热带高压相对气候态偏大、西伸脊点偏西,脊线偏北。与历史偏

多年相比,2020 年初夏中纬度地区环流经向度更大,高纬度地区均为正高度异常,且配合乌拉尔山阻塞高压偏强,但中低纬度地区受正距平控制。副热带高压偏大、西伸脊点偏西更明显,这导致了2020 年初夏降水和温度不同的配置。历史偏多年降水偏多,大部分地区气温偏低,而2020 年降水异常偏多,气温异常偏高。850 hPa 水汽输送场上(图5b)通过南海季风和孟加拉湾的西南季风,向长江及以南地区输送水汽,水汽输送大值区位于长江流域以南地区。与2020 年初夏环流形势大致相同,均为低层水汽输送偏强且辐合带位置相对稳定。对比水汽输送距平场,在西太平洋有反气旋水汽输送异常,西南季风水汽输送较常年偏弱,水汽的主要来源是南海季风。贵州省的西部位于水汽辐合区域,相较于2020 年初夏,历史偏多年的水汽辐合中心在长江下游地区。

总体而言,降水偏多时,从环流场异常来看,中高纬地区的环流经向度大,使冷空气输送至东北/华北地区,形成冷涡或冷槽并稳定维持结合充沛的水汽条件及辐合上升运动,是产生大范围持续降水天气的必要条件。

3.2 海温影响

在2019 年9 月—2020 年5 月热带太平洋发生了1 次中部型厄尔尼诺事件,且印度洋海温一致模(IOBW)从2018 年11 月开始至2020 年6 月前维持了19 个月的正位相,热带印度洋偶极子(TIOD)在2020 年1 月前维持了24 个月的正位相。前期异常偏暖的印度洋和太平洋的海温异常是2020 年海温外强迫最明显的特征。

有许多研究指出:前期冬季和春季不同海区的海温异常对西太副高有强迫作用,前期春季赤道中太平洋厄尔尼诺事件有利于夏季副热带西北太平洋出现异常气旋,中太平洋厄尔尼诺事件期间华南地区降水偏多^[14]。同时,热带印度洋海温异常对西太副高也有调制作用,热带印度洋海温正异常有利于西太副高增强,其物理机制主要有2 种解释:一是吴国雄等^[15]提出的“两级热力适应”机制;二是 Ter-ao^[16]和 Xie^[17]及 Wu^[18]等提出的“开尔文波和波致埃克曼辐散”机制。热带印度洋—太平洋纬向海温梯度对西太副高在近年来的研究中也发现有联合作用:热带印度洋偏暖和太平洋西暖东冷的异常纬向海温梯度驱动了赤道西太平洋的异常东风,并通过埃克曼抽吸作用,引起热带外西北太平洋行星边界层辐散,加强了菲律宾反气旋,使副高锁定在西太平洋和东南亚地区^[19]。

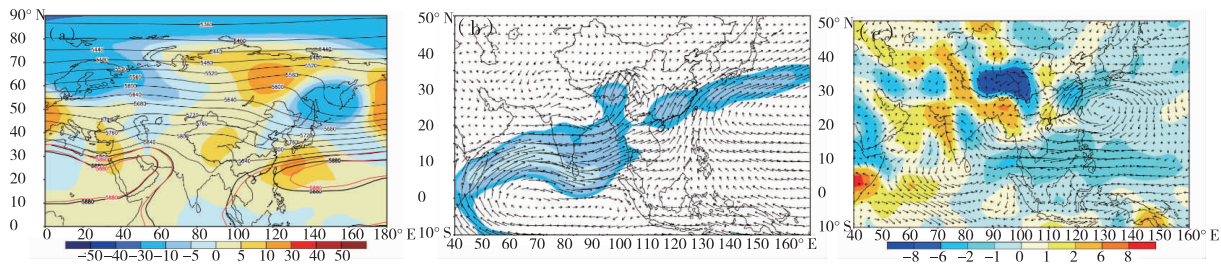


图5 历史偏多年初夏 500 hPa 位势高度场分布(a,同图 3a)、850 hPa 水汽输送分布(b,同图 4b)、水汽输送距平场和水汽通量散度场(c,同图 4c)

Fig.5 500 hPa geopotential (a ,the same as fig.3(a)), 850 hPa original water vapor transmission (b, the same as fig.4(b)) , water vapor transport anomaly and water vapor flux divergence (c, the same as fig.4(c)) in early summer in historical years

从 2020 年春季海温与历史偏多年春季海温合成对比发现(图 6)有 3 个相似之处,一是西印度洋偏暖,二是西太平洋暖池异常偏暖,三是赤道东太平洋有冷海温发展。这种海温配置与上述研究结论一致,即赤道东太平洋西暖东冷位相的海温异常增强了沃克环流在赤道西太平洋地区的上升支,从而加强了西太副高的强度,并引导西太副高异常西

伸。这一特点在今后的预测工作中,可将前期海温的相似特征作为判断初夏降水偏多的依据。但历史偏多年中,东印度洋海温距平为负,印度洋偶极子型分布更显著,相对于 2020 年来说,对沃克环流在赤道西太平洋上的上升支起到了抑制作用,使得西太副高强度略弱于 2020 年。

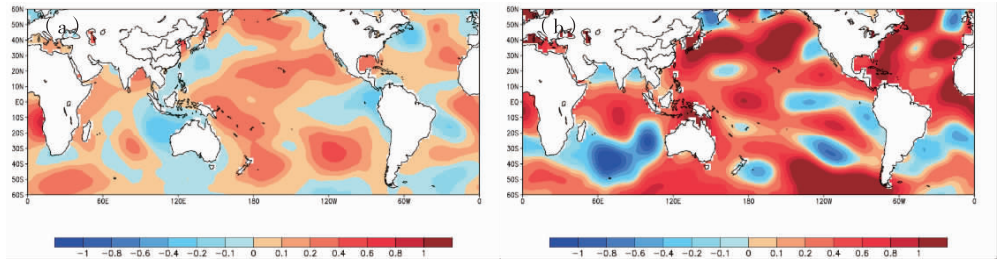


图6 海温距平场分布历史偏多年春季(a)和 2020 年春季(b)

Fig.6 Composite of spring SSTA in historical years(a)and SSTA in the spring of 2020(b)

4 总结

分析 2020 年初夏降水异常的时空分布特征,对比历史偏多年同期和前期大气环流因子的异同,总结了以下结论:

①2020 年初夏,全省平均降水量为 544.1 mm,降水量为 1961 年以来历史同期最多。降水时空分布不均,在省的西部、南部、东南部和东北部等地出现了 8 次强降雨过程,降水落区重叠,全省范围内出现了不同程度的洪涝灾害,降水极端性十分突出。

②2020 年初夏大气环流特征表现为:中高纬纬向分布呈“两槽一脊”分布型,且环流形势稳定维持;中低纬地区西太平洋副热带高压西伸脊点明显偏西,面积偏大,强度偏强,但副热带高压脊线位置

和西伸脊点在月内变化较大。这种高低纬环流配置有利于雨带维持于中国长江中下游及以南地区,与历史偏多年同期环流形势大致相同。但 2020 年副热带高压偏大、西伸脊点偏西的特征更显著。850 hPa 水汽输送场上,西北太平洋异常反气旋产生的异常西南风,向长江及其以南地区输送水汽,与历史偏多年初夏环流形势大致相同,均为低层水汽输送偏强且辐合带位置相对稳定。

③前期春季热带印度洋偏暖和太平洋西暖东冷的异常纬向海温梯度驱动了赤道西太平洋的异常东风,加强了菲律宾反气旋,使副高锁定在西太平洋和东南亚地区。由于副高位置稳定少动,导致贵州省初夏降水偏多,以上说明春季赤道地区海温异常配置对贵州省初夏降水预测有一定指示意义。

从预测的角度来看,前期环流形势和海温情况都是支持预测 2020 年初夏降水偏多的趋势,但预报出它的极端性具有相当难度,在今后的工作中应针对异常气候事件的预测开展进一步的研究。

参考文献

- [1] 韩晋平,王会军,姜大膀. 耦合模式长期积分资料所揭示的华南春季降水及环流特征的年际变化[J]. 气候与环境研究,2006(2):194-202.
- [2] 张洁,周天军,宇如聪,等. 中国春季典型降水异常及相联系的大气水汽输送[J]. 大气科学,2009,33(1):121-134.
- [3] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980:1-225.
- [4] 陈静,李川,湛贵珣. 低空急流在四川“9.8”大暴雨中的触发作用[J]. 气象,2002(8):24-29.
- [5] 尹东屏,吴海英,张冰,等. 2006 年 7 月 19—20 日苏中地区强降水成因分析[J]. 气象科学,2007,27(6):641-647.
- [6] 蔡荣辉,陈静静,文萍,等. 2017 年湖南一次特大致洪暴雨过程的水汽特征[J]. 干旱气象,2019,37(2):288-300.
- [7] 丁一汇,胡国权. 1998 年中国大洪水时期的水汽收支研究[J]. 气象学报,2003(2):129-145.
- [8] 杨平,谢智沛. 黔东南州 2019 年 6—7 月降水异常分析[J]. 中低纬山地气象,2020,44(5):82-87.
- [9] 张凌云,刘蕾,苏小玲. 桂北后汛期一次持续性暴雨天气过程分析[J]. 中低纬山地气象,2020,44(6):25-31.
- [10] 张东海,周文钰,段莹,等. 贵州省区域性重要过程监测与评价指标阈值确定[J]. 中低纬山地气象,2021,45(3):18-23.
- [11] 高雅琦,杜良敏,郭广芬. 2018 年春季长江流域上游降水异常特征及历史相似性分析[J]. 气象与环境科学,2020,43(3):78-83.
- [12] Wang B, Wu Z W, Li J P, et al [J]. How to Measure the Strength of the East Asian Summer Monsoon. Journal of Climate, 2008, 21:4449-4463.
- [13] 吴萍,丁一汇,柳艳菊. 厄尔尼诺事件对中国夏季水汽输送和降水分布影响的新研究[J]. 气象学报,2017,75(3):371-383.
- [14] Chen Z, Wen Z, Wu R, et al. Influence of two types of El Ninos on the East Asian climate during boreal summer: a numerical study [J]. Climate Dynamics, 2014, 43(1-2):469-481.
- [15] 吴国雄,刘平,刘屹岷,等. 印度洋海温异常对西太平洋副热带高压的影响——大气中的两级热力适应[J]. 气象学报,2000,58(5):513-522.
- [16] Terao, Toru. East - West SST contrast over the tropical oceans and post El Nino western North Pacific summer monsoon [J]. Geophys. Res. Lett, 2005, 32(15):L15706.
- [17] Xie S P, Hu K M, Hafner J, et al. Indian Ocean capacitor effect on Indo - western Pacific climate during the summer following El Nino [J]. J. Climate, 2008, 22(3):730-747.
- [18] Wu B, Zhou T, Li T. Seasonally Evolving Dominant Interannual Variability Modes of East Asian Climate [J]. Journal of Climate, 2009, 22(11):2992-3005.
- [19] Wang B, Wu R, Fu X. Pacific - East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? [J]. Journal of Climate, 2000, 13(9):1517-1536.