

西南地区夏季降水异常大气环流特征

蒙映菲¹, 毛文书¹, 邓涛², 朱德刚²

¹成都信息工程大学, 四川 成都

²冕宁县气象局, 四川 冕宁

收稿日期: 2022年6月16日; 录用日期: 2022年7月12日; 发布日期: 2022年7月19日

摘要

为了更好地分析中国西南地区近60年来夏季降水变化异常的大气环流形势, 利用1961~2017年西南地区76个气象站点的降水量资料和NCEP/NCAR月平均再分析资料, 网格距 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 主要运用标准化距平和合成分析对该地区近60年夏季降水量异常的高低空大气环流及水汽输送特征进行了详细研究。结果表明: 1) 将西南地区近60年夏季降水量平均值标准化, 以 ± 1 倍标准差为标准, 选取1966, 1968, 1979, 1991, 1995, 1998和1999年共7年为降水异常偏多年, 选取1972, 1975, 1978, 1989, 1992, 2006, 2011和2013年共8年为降水异常偏少年。2) 西南地区100 hPa环流场表明: 降水较多年, 南亚高压较弱, 垂直活动较强; 降水较少年, 南亚高压较强, 盛行下沉气流。3) 500 hPa环流场表明: 降水较多年和降水较少年的亚欧大陆中高纬均有两槽一脊。降水较多年, 中纬度以经向环流为主; 降水较少年, 中纬度以纬向环流为主。4) 700 hPa环流场与500hPa环流场相似, 但波动更大。5) 850 hPa环流场表明: 降水较多年, 西南季风输送水汽较弱, 东南季风输送水汽较强, 配合辐合上升的动力条件, 有利于夏季降水的发生发展; 降水较少年, 西南季风和东南季风相对降水较多年偏弱配合辐散下沉的动力条件, 不利于夏季降水的发生发展。

关键词

西南地区, 降水量, 标准化距平, 合成分析, 环流形势

Characteristics of Anomalous Atmospheric Circulation of Summer Precipitation in Southwest China

Yingfei Meng¹, Wenshu Mao¹, Tao Deng², Degang Zhu²

¹Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Mianning Meteorological Bureau, Mianning Sichuan

Received: Jun. 16th, 2022; accepted: Jul. 12th, 2022; published: Jul. 19th, 2022

Abstract

In order to better analyze the atmospheric circulation pattern of anomalous summer precipitation changes in southwest China during the past 60 years, the precipitation data of 76 meteorological stations and NCEP/NCAR monthly mean reanalysis data from 1961 to 2017 were used, and the grid distance was $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$. The characteristics of atmospheric circulation and transport of water vapor of summer precipitation anomalies in the past 60 years were studied in detail by using Normalized anomaly and Synthetic analysis. The results show that: 1) Standardizing the mean summer precipitation in the past 60 years in southwest China, using ± 1 standard deviation as the standard, seven years including 1966, 1968, 1979, 1991, 1995, 1998 and 1999 were selected as the years of precipitation anomaly. Eight years (1972, 1975, 1978, 1989, 1992, 2006, 2011 and 2013) were selected as precipitation deviant adolescents. 2) The 100 hPa circulation field in southwest China shows that the South Asia high is weak and the vertical activity is strong due to the years of precipitation. Precipitation is relatively young, the South Asia high is strong, prevailing downdraft. 3) The 500 hPa circulation field shows that there are two troughs and one ridge in the middle and high latitudes of The Eurasian continent where the precipitation is relatively old and relatively young. The precipitation was more frequent, and the meridional circulation dominated the middle latitude. The precipitation is juvenile, and the latitudes are mainly zonal circulation. 4) The 700 hPa circulation field is similar to the 500 hPa circulation field, but the fluctuation is larger. 5) The circulation field of 850 hPa shows that the water vapor transported by southwest monsoon is weak and that transported by southeast monsoon is strong, which is conducive to the occurrence and development of summer precipitation with the dynamic condition of convergence rising. The relative precipitation of southwest monsoon and southeast monsoon is weaker than that of many years, which is not conducive to the occurrence and development of summer precipitation due to the dynamic condition of divergence sinking.

Keywords

Southwest Region, Precipitation, Normalized Anomaly, Synthetic Analysis, Circulation Pattern

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

西南地区地形地貌复杂, 包含盆地、高原、丘陵等地形, 局地因子对气候的影响较大。西南地区大部分地域夏季降水占年总降水比重较高。夏季降水既受来自孟加拉湾的西南季风和来自中国南海的东南季风的影响, 同时又受青藏高原环流系统的影响[1]。近年来, 夏季降水量年际变化较大, 灾害性天气发生频率有所上升, 其中持续时间长且出现频繁者首推干旱, 其次是洪涝。

李永华等[2]研究了西南地区东部夏季降水的时空特征, 认为其总体上可以划分为全区域一致型、南北相反型和东西相反型三种, 并且年际及年代际变化都具有明显的 2~3 年、15 年左右的主显著周期。范思睿等[3]基于再分析资料研究了西南区域近 50 年空中水资源的气候特征, 指出近 50 年来, 西南地区水汽总量总体上呈现下降的趋势。夏季, 受季风影响, 孟加拉湾地区的水汽明显加强, 而西南地区主要受到西南方向(孟湾)水汽影响, 水汽辐合的区域明显增大, 整个西南区域上空基本处于水汽辐合, 其中在高

原东南侧的水汽汇合中心强度大幅度增强,加之夏季水汽含量增强,降水效率大大提高。董谢琼等[4]研究了西南地区降水量的气候特征及变化趋势,指出西南地区年降水变率一般在 10%~20%左右。在不同季节,降水量的相对变率均大于年降水量,其中以冬季最大,夏季最小。且各地降水量的季节转换不同步性非常显著,总体趋势是从东往西逐步出现干湿交替。西南地区近多年来的降水量变化趋势表明,西南地区趋势系数除冬季外,春、夏、秋、年降水量都表现出负趋势强于正趋势,但各地差别较大,且正负趋势区成片分布。邵远坤等[5]研究了四川盆地近 40 年来的降水特征分析,指出盆地内降水的相对变率比较小,降水相对比较稳定,而盆地内的降水有较强的分布不均匀性,盆地西部降水的长期变化呈现出明显的下降的趋势。盆地内降水异常的一个显著特征是:盆地西、东两个区域存在着逆向的分布,而盆地内暴雨发生频率在时空分布上都有相似的特征。据建华等[6]研究了云南初夏降水与前期大气环流的关系,指出云南前期夏季降水量与前期 500 hPa 的中高纬度西风带环流配置、和前期 200 hPa 副热带纬向风场分布密切相关。陈权亮等[1]研究了川西高原夏季降水变化特征及其异常年环流形势,认为川西高原的夏季降水多雨年与少雨年的环流形势存在着较大的差异。高原夏季降水量与 500 hPa 乌拉尔山高压脊、亚洲东北部高压脊、巴尔喀什湖至贝加尔湖之间的低压槽密切相关,以及 100 hPa 南亚高压的强度有很大的关系。刘晓冉等[7]研究了川渝地区夏季高温干旱变化特征及其异常年环流形势分析,指出川渝地区夏季高温酷暑年与凉夏年的环流形势存在较大的差别。酷暑年我国南海北部对流加强,导致西太平洋副热带高压偏北乌拉尔山和鄂霍次克海地区无持续性阻塞高压,同时东亚大槽变浅,青藏高原上升运动减弱。在 850 hPa 距平风场上,川渝地区以南被东北距平风控制,以北被正南距平风控制。这种环流形势配合为川渝地区夏季高温干旱的发生、发展提供了有利的条件。陈栋等[8]研究了 1981~2000 年四川夏季暴雨大尺度环流背景特征,指出四川地区夏季暴雨的发生具有显著的轴向分布性和区域移动性特征。西伸的西太平洋副热带高压、北上东进的伊朗高压及高原东部的弱高压、活跃的孟加拉低压和影响四川北部的中高纬长波分裂的低压槽共同作用形成了四川暴雨发生阶段的特殊的“鞍”型大尺度环流背景。在“鞍”型大尺度环流背景下,有利于西南支孟加拉湾水汽和南海水汽输送在四川盆地形成低层辐合,同时在高层形成西南-东北的轴向急流辐合带,水汽输送散度负的大值区即为暴雨发生的主要落区。此外,四川北部在两高压相夹下,有利于高纬度大尺度的两高一脊环流调整产生的弱槽携带冷空气影响四川盆地,形成高层弱冷干与低层强暖湿的强垂直对流不稳定。贾孜拉等[9]研究了 1961~2014 年我国西南地区干湿季变化特征,指出西南地区东部和西北部最早进入湿季;干季由四川盆地、贵州南部开始。西南中东部以及南部等地的湿季长度较长,干季则与之相反。干湿季开始日期以及干湿季长度均具有明显的年代际变化特征,在 20 世纪 70 年代中期到 80 年代出现了气候突变,呈现湿季长度变短,干季变长的趋势。湿季降水呈现东南多、西北少的特征,并表现出中东部减少,西部增加的趋势;干季降水则表现为东多西少的特点,在东部呈增加,在四川等地呈减少趋势。尤卫红等[10]研究了连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用,指出云南地区的气温和降水变化在不同的时间尺度上呈现出相对冷暖或多少交替和突变特征。就温度而言,近年来,云南的大小时段变化均处于较强的偏暖期。但云南近百年来的气温变化除 32 年左右尺度的冷暖交替表现出明显的周期特征外,其余时间尺度的周期变化并不显著,也没有出现明显周期改变的频率突变。温度变化的能量主要集中在较大时间尺度的演变上。就降水而言,近年来,其较大时间尺度的变化仍处于一个降水的偏少期,而其较小时间尺度的变化已处于一个降水的偏多期。但近百年来降水变化的较大时间尺度特征与气温有比较好的对应关系,即偏暖期对应于降水的偏少期,偏冷期则对应于降水的偏多期。降水变化有多个时间尺度的周期变化特征,其中两个比较明显的周期变化是 24 年左右尺度和 14 年左右尺度的多少交替。降水变化的能量则主要集中在较小时间尺度的演变上。

在相对稳定的大气环流形势下,不同尺度、不同性质的天气系统相互作用、相互影响形成降水。但

是西南地区复杂的地形地貌和处于青藏高原东侧的特殊地理位置都导致了其复杂的天气系统[8]。本文基于前人的研究,利用 1961~2017 年 NCEP/NCAR 再分析月平均资料,讨论西南地区夏季降水异常的大尺度大气环流特征,希望更好地了解西南地区夏季降水和同期大气环流之间的关系。

2. 资料和方法

中国西南地区(本文特指 21~32°N、97~110°E 范围内的地区,主要包括四川、贵州、云南三省以及重庆市)是我国夏季降水较为丰沛的地区之一,位于长江上游,东西横跨中国地形大势的第一、第二级阶梯,海拔高低起伏,主要由青藏高原、横断山区、云贵高原和四川盆地等构成,具有尤为复杂的地形地貌[11]。西南地区大面积区域内地带性气候类型被地形气候类型所取代,即在纬度地带性气候规律基础上又叠加其层带气候。这导致西南地区是中国气候带最多的地区之一,且区域分布错综复杂(见图 1)。

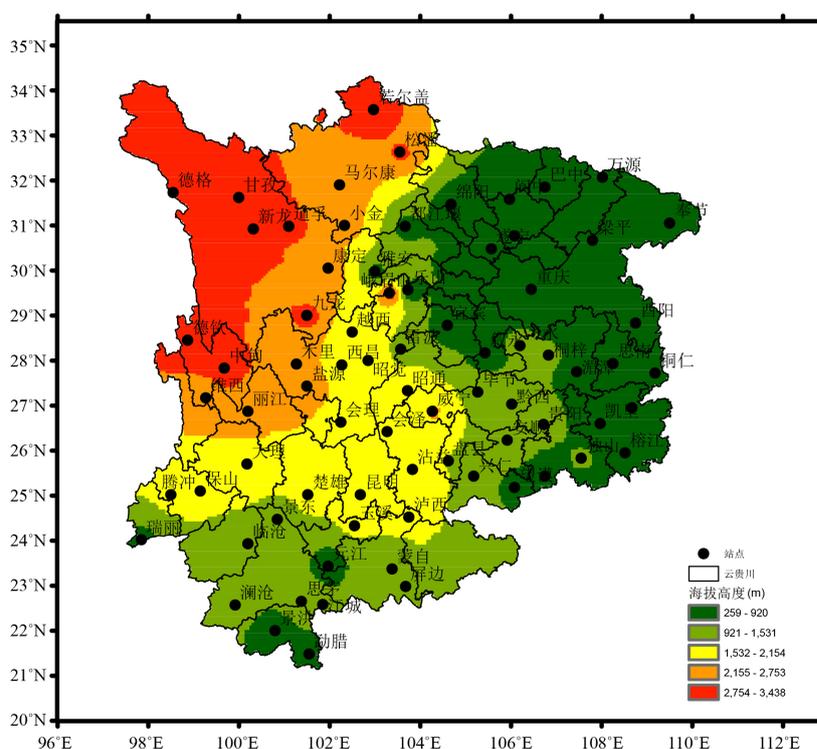


Figure 1. Stations and elevation distribution in Southwest China (unit: m)

图 1. 西南地区站点及海拔分布(单位: m)

2.1. 资料来源和方法

降水资料为 1961~2017 年西南地区 76 个气象站点的降水量资料。大气环流资料为美国国家环境预报中心和大气研究中心(NCEP/NCAR)再分析月平均数据资料集,时间长度为 1961 年 1 月到 2017 年 12 月,所选要素有温度,高度,比湿,风场,地面气压,水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, u、v 风场垂直方向有 17 层,比湿垂直方向为 8 层,地面气压垂直方向只有一层(1000 hPa) [3]。

主要采用标准化距平和合成分析法[12]来探讨西南地区夏季降水异常的大气环流特征。

2.1.1. 标准化距平

在标准化距平中,先求数据距平,再进行标准化。在研究中,标准化距平可以消除数据的单位和离

散程度对进一步分析所带来的影响,使得不同单位、不同量级的数据之间便于比较。

2.1.2. 合成分析

在气候分析诊断与研究中经常使用合成分析方法。这种方法上分析前期(或同期)不同天气、气候状态条件下,后期(或同期)另一要素场或环流场有无明显差异,从而确定不同天气、气候环流或要素状态的影响程度[12]。

3. 西南地区夏季降水的时间演变及标准差

在分析西南地区夏季降水量异常的大气环流特征之前,应先对近 60 年平均夏季降水量时间分布有一个整体的认识。西南地区近 60 年夏季降水呈负趋势,年代际变率为 $-3.456 \text{ mm}/10\text{a}$,这与高焕昕等[13]研究的近 60_a 西南雨季降水变化特征结果相似(见图 2)。

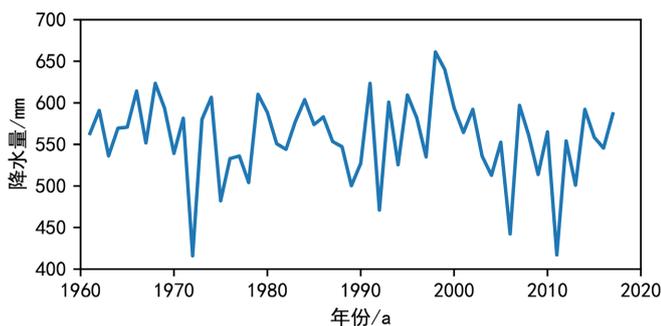


Figure 2. Temporal variation of summer precipitation in Southwest China

图 2. 西南地区夏季降水的时间变化

西南地区近 60 年来夏季降水量空间分布不均匀,大体呈现东多西少,南多北少的变化趋势,且高海拔地区平均降水量明显低于低海拔地区,总降水量在 297~1253 mm 之间。这与熊光洁等[11]研究西南地区近 50 年夏季降水的气候特征时,分析西南地区夏季降水的空间分布结论一致。受多样的地形地貌和气候特征影响,西南地区有多雨区和少雨区交替分布,主要有 3 个降水高值区,分别位于四川中部的峨眉山、雅安、乐山地区;云南南部的江城、勐腊、景洪地区;云南西部的瑞丽、腾冲地区。降水高值区中心值超过 1000 mm,并且降水梯度较大。降水低值区位于川西高原,夏季平均降水量不足 500 mm,且分布比较均匀。

西南地区具有多样的地形地貌和气候类型,受到东亚季风、南亚季风、高原季风的综合影响和制约,各地降水及其变化有较大的差异[3]。将西南地区 57 年夏季降水平均值标准化,超过 ± 1 倍标准差的降水年份视作降水异常。大于 1 倍标准差的降水年份即为降水较多年;小于 -1 倍标准差的降水年份即为降水较少年。因此,在 1961~2017 年中选取了 1966, 1968, 1979, 1991, 1995, 1998, 和 1999 年共 7 个降水较多年和 1972, 1975, 1978, 1989, 1992, 2006, 2011, 和 2013 年共 8 个降水较少年(见图 3)。

4. 西南地区夏季降水异常大气环流特征

本节利用 1961~2017 年西南地区 76 个气象站点的降水量资料,分析得到西南地区夏季降水较多年和较少年。并利用 1961~2017 年 NCEP/NCAR 再分析月平均数据资料集,对位势高度场、风矢量场、散度场、水汽通量场、温度场进行合成分析,研究西南地区夏季降水异常与同期大气环流的关系[6]。

4.1. 100 hPa 环流分析

在降水较多年, 高纬度地区为正距平, 中低纬度地区为负距平。西南地区有西北风距平, 我国大陆主要为气旋性环流。这种高度场和风场的配置表明: 在降水较多年, 南亚高压较弱, 垂直活动较强(见图 4(a))。

降水较少年的 100 hPa 位势高度场距平分布和较多年相反。高纬度地区为负距平, 中纬度地区为正距平, 低纬度地区为负距平。西南地区有偏东风距平, 我国大陆主要为反气旋性环流。这表明: 在降水较少年, 南亚高压较强, 盛行下沉气流。这和陈权亮等[1]在川西高原夏季降水变化特征及其异常年环流形势的研究一致(见图 4(b))。

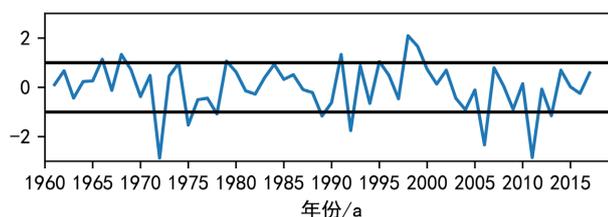


Figure 3. Rainfall standard deviation of summer precipitation in Southwest China

图 3. 西南地区夏季降水量标准差

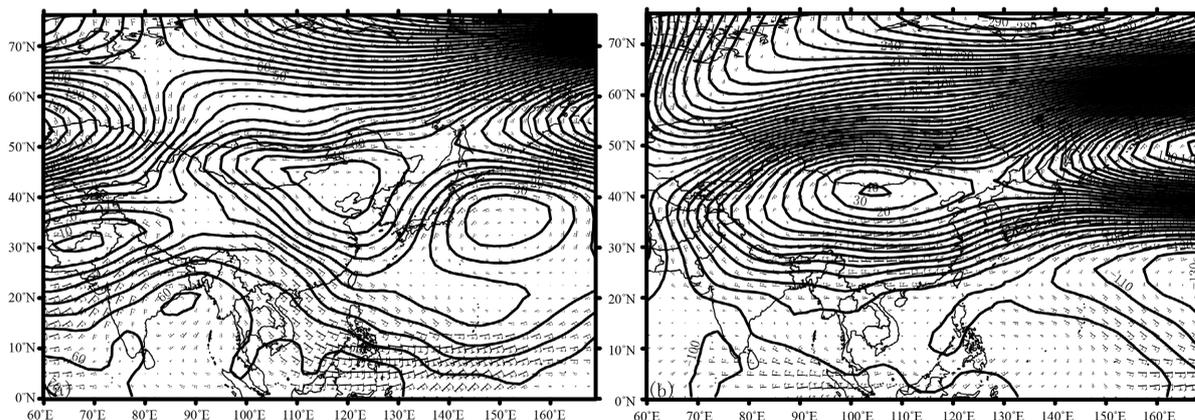


Figure 4. Composite analysis of 100 hPa geopotential height field and wind vector field of summer perennial precipitation (a), juvenile precipitation (b)

图 4. 夏季降水较多年(a)、较少年(b) 100hPa 位势高度场、风场合成

4.2. 500 hPa 环流分析

在降水较多年, 高纬度地区为负距平; 中纬度地区自西向东呈“-+”的分布型式; 低纬度地区为正距平。这种距平分布特征反映出亚欧大陆中高纬有两槽一脊, 乌拉尔山、巴尔克什湖为高压脊, 贝加尔湖为槽区, 同时中纬度以经向环流为主, 青藏高原上空为正距平, 有利于高原低涡、切变线等低值系统的活动。这种环流形式有利于夏季降水发生发展(见图 5(a))。

在降水较少年, 高纬度地区为负距平; 中纬度地区为正距平; 低纬度地区为负距平。这种距平分布特征反映出亚欧大陆中高纬有两脊一槽, 东西伯利亚为高压脊, 贝加尔湖为槽区, 同时东亚地区中纬度以纬向环流为主(见图 5(b))。

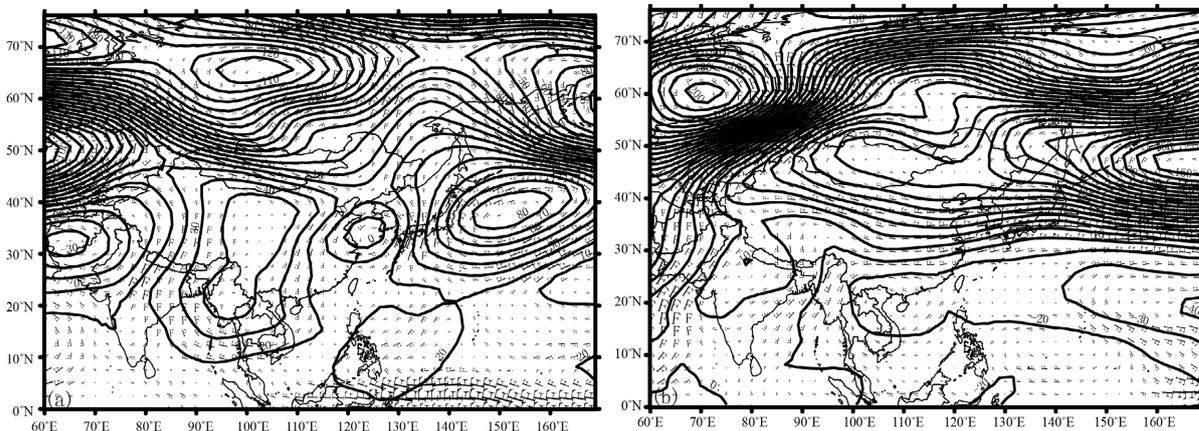


Figure 5. Composite analysis of 500 hPa geopotential height field and wind vector field of summer perennial precipitation (a), juvenile precipitation (b)

图 5. 夏季降水较多年(a)、较少年(b) 500 hPa 位势高度场、风场合成

4.3. 700 hPa 环流分析

700 hPa 环流分布和 500 hPa 相似。在降水较多年，高纬度有负距平；中纬度地区自西向东呈“—+—”的分布型式，大气环流以经向环流为主。这种环流形势表明中高纬度存在两槽一脊。有一点明显区别是：700 hPa 槽脊波动较大，槽向南发展至 30°N，脊向北延伸靠近 70°N (见图 6(a))。

在降水较少年，高纬度有负距平；中纬度有正距平，大气环流以纬向环流为主。相较于 500 hPa，中纬度正距平地区最西可超过 70°E (见图 6(b))。

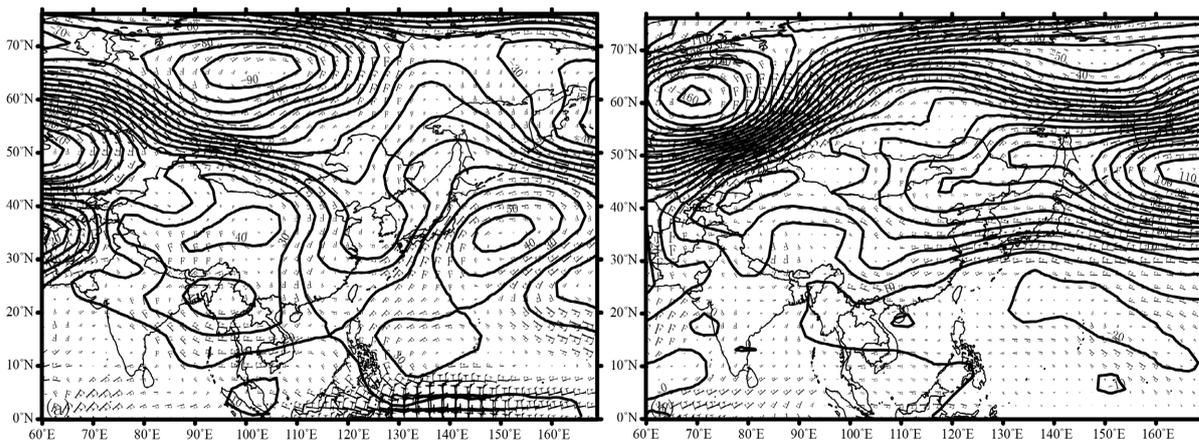


Figure 6. Composite analysis of 700 hPa geopotential height field and wind vector field of summer perennial precipitation (a), juvenile precipitation (b)

图 6. 夏季降水较多年(a)、较少年(b) 700 hPa 位势高度场、风场合成

4.4. 850 hPa 环流分析

在降水较多年，孟加拉湾存在偏东风距平，削弱了西南季风水汽输送。我国南海存在东南风距平，增强了东南季风水汽输送。在朝鲜半岛、日本海存在气旋式距平风场，这增强了来自蒙古的冷空气南下。这种低层流场形势利于西南地区夏季降水的发生发展(见图 7(a))。

在降水较少年，孟加拉湾存在气旋式距平风场，这减弱了西南季风水汽输送。我国南海存在气旋式

距平风场，这阻碍了东南季风水汽输送。这种低层流场形势不利于降水的发生发展(见图 7(b))。

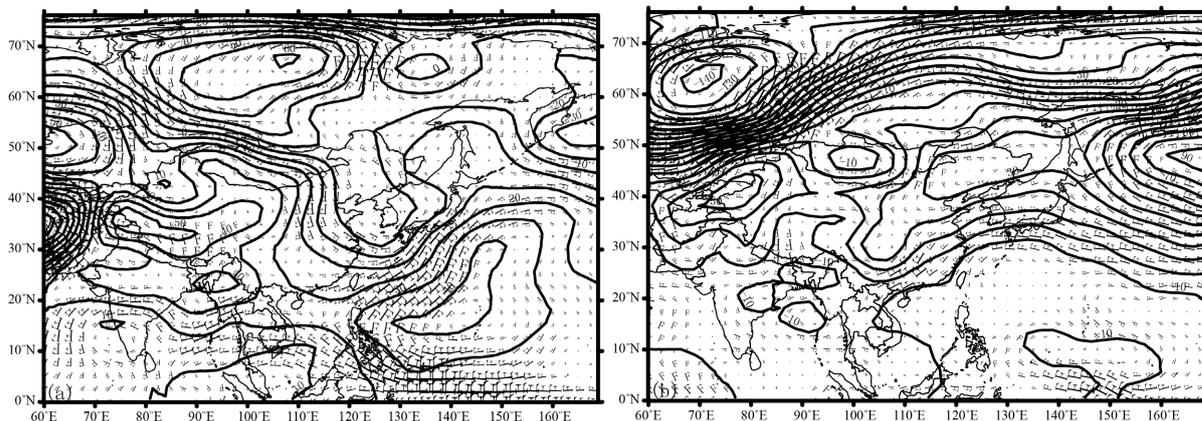


Figure 7. Composite analysis of 850 hPa geopotential height field and wind vector field of summer perennial precipitation (a), juvenile precipitation (b)

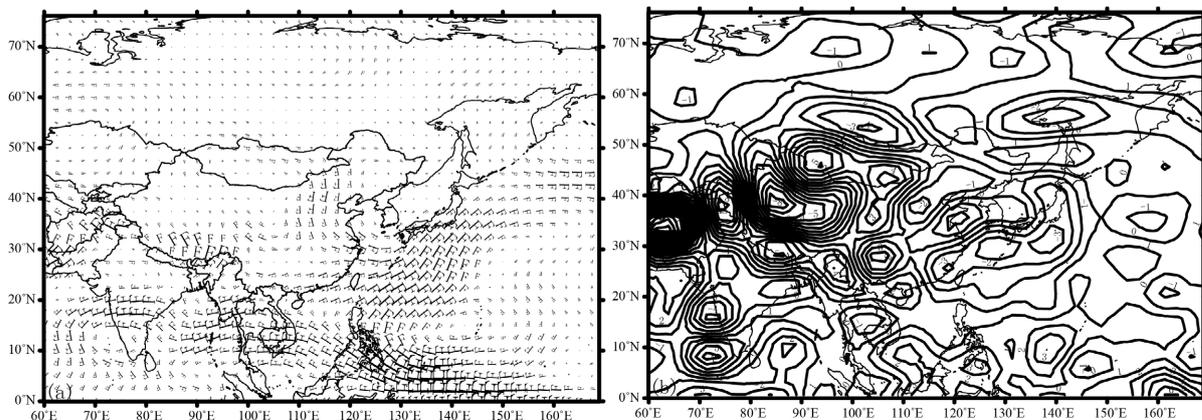
图 7. 夏季降水较多年(a)、较少年(b) 850 hPa 位势高度场、风矢量场合成

4.5. 850 hPa 水汽通量场、散度场和垂直速度场

水汽在运输过程中，伴随着动量、热量的转移，同时，水汽的相态、含量、运动方向和与路线，以及输送强度等随时会发生改变，引起沿途的气温、气压等其他气象因子的改变。气流的辐合辐散，上升下降运动为水汽输送提供了动力条件。因此水汽通量、散度、垂直速度是影响当地天气过程和气候的重要原因[3]。

降水较多年，在水汽通量场中，来自孟加拉湾西南季风和来自南海的东南季风输送水汽进入西南地区。同时，在西太平洋有强大的反气旋性环流配合(见图 8(a))。西南地区有散度负值中心(见图 8(b))，垂直速度负值中心(见图 8(c))，这表明西南地区低层 850 hPa 有辐合上升，配合良好的水汽条件，有利于降水的发生。

降水较少年，西南季风和东南季风变弱，输送水汽减少。西南地区的水汽输送通道主要从西南地区的东边界进来，源地为西太平洋(见图 9(a))。西南地区南部有散度负值中心(见图 9(b))，垂直速度负值中心(见图 9(c))，北部则相反。这表明西南地区南部低层 850 hPa 有辐合上升的动力条件，是有利于降水发生的动力条件；北部有辐散下沉，是不利于降水发生的动力条件。



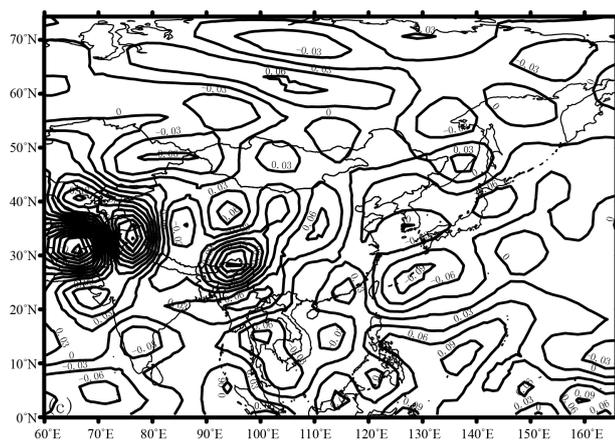


Figure 8. Composite analysis of water vapor flux field (a), divergence field (b) and vertical velocity field (c) in summer perennial precipitation

图 8. 夏季降水较多年水汽通量场(a)、散度场(b)、垂直速度场(c)合成

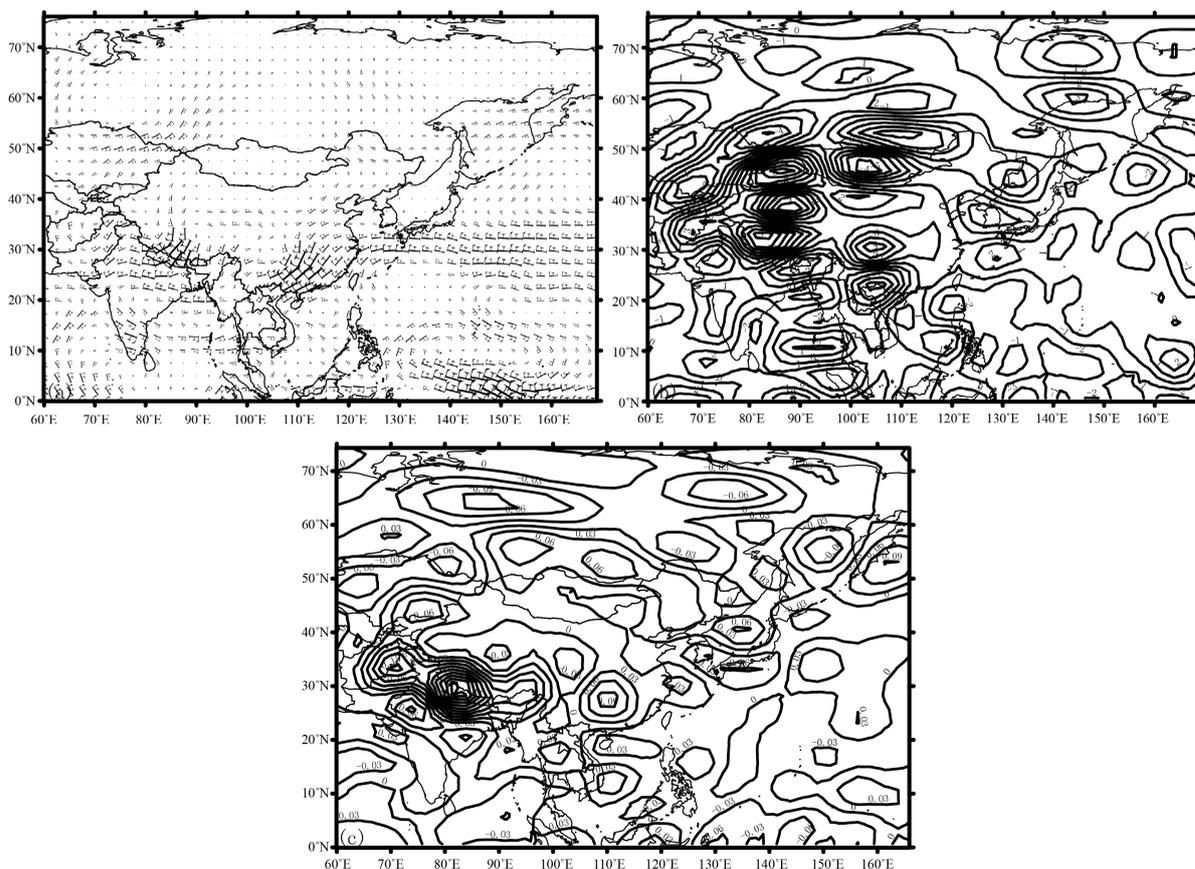


Figure 9. Composite analysis of analysis of water vapor flux field (a), divergence field (b) and vertical velocity field (c) in summer juvenile precipitation

图 9. 夏季降水较少年水汽通量场(a)、散度场(b)、垂直速度场(c)合成

5. 结论

- 1) 西南地区近 60 年来夏季降水量总体呈下降趋势, 降水量在 297~1253 mm 之间。1966, 1968, 1979,

1991, 1995, 1998 和 1999 年为降水较多年; 1972, 1975, 1978, 1989, 1992, 2006, 2011 和 2013 年为降水较少年。

2) 西南地区夏季降水较多年和较少年的大气环流差异明显。100 hPa 高度上, 在降水较多年, 南亚高压较弱, 垂直活动较强; 降水较少年, 南亚高压较强, 盛行下沉气流。

3) 500 hPa 亚欧大陆中高纬有两槽一脊, 乌拉尔山、巴尔克什湖为高压脊, 贝加尔湖为槽区。同时中纬度以经向环流为主, 青藏高原上空为正距平, 有利于高原低涡、切变线等低值系统的活动。这种环流形势有利于西南地区夏季降水的发生发展。较少年 500 hPa 亚欧大陆中高纬有两脊一槽, 东西伯利亚为高压脊, 贝加尔湖为槽区。同时东亚地区中纬度以纬向环流为主。

4) 700 hPa 环流场与 500 hPa 相似, 但环流波动更大。在降水较多年, 槽向南发展至 30°N, 脊向北延伸靠近 70°N; 在降水较少年, 中纬度正距平地区最西可超过 70°E。

5) 西南地区夏季降水受季风影响较大。在 850 hPa 环流场中, 在降水较多年, 西南季风较弱, 东南季风较强; 而在降水较少年西南季风和东南季风都较弱。

6) 在降水较多年, 西南地区低层 850 hPa 有辐合上升, 配合良好的水汽条件, 有利于降水的发生; 在降水较少年, 西南地区南部低层 850 hPa 有辐合上升的动力条件, 有利于降水发生发展; 北部有辐散下沉, 不利于降水发生发展。

参考文献

- [1] 陈权亮, 刘晓冉, 范广洲, 等. 川西高原夏季降水变化特征及其异常年环流形势[J]. 中国沙漠, 2010, 30(3): 706-711.
- [2] 李永华, 徐海明, 白莹莹, 等. 我国西南地区东部夏季降水的时空特征[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 523-530.
- [3] 范思睿, 王维佳, 刘东升, 等. 基于再分析资料的西南区域近 50a 空中水资源的气候特征[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(1): 65-72.
- [4] 董谢琼, 段旭. 西南地区降水量的气候特征及变化趋势[J]. 气象科学, 1998(3): 239-247.
- [5] 邵远坤, 沈桐立, 游泳, 等. 四川盆地近 40 年来的降水特征分析[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005(6): 749-752.
- [6] 据建华, 李绚丽. 云南初夏降水与前期大气环流的关系[J]. 高原气象, 1999(1): 64-71.
- [7] 刘晓冉, 程炳岩, 杨茜, 等. 川渝地区夏季高温干旱变化特征及其异常年环流形势分析[J]. 高原气象, 2009, 28(2): 306-313.
- [8] 陈栋, 顾雷, 蒋兴文. 1981-2000 年四川夏季暴雨大尺度环流背景特征[J]. 大气科学学报, 2010, 33(4): 443-450.
- [9] 贾孜拉·拜山, 李维京, 孙丞虎, 等. 1961-2014 年我国西南地区干湿季变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2017, 13(2): 103-116.
- [10] 尤卫红, 段旭, 杞明辉. 连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用[J]. 高原气象, 1999(1): 48-55.
- [11] 熊光洁, 王式功, 尚可政, 等. 中国西南地区近 50 年夏季降水的气候特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(4): 45-52.
- [12] 高焕昕, 毛文书, 师春香, 等. 近 60 a 西南雨季降水变化特征[J]. 成都信息工程大学学报, 2022, 37(1): 88-95.
- [13] 施能, 顾骏强, 黄先香, 等. 合成风场的统计检验和蒙特卡洛检验[J]. 大气科学, 2004(6): 950-956.