

胡德强, 陆日宇, 苏秦, 等. 2014. 盛夏四川盆地西部地区降水年际变化及其对应的环流异常 [J]. 大气科学, 38 (1): 13–20, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013.12192. Hu Deqiang, Lu Riyu, Su Qin, et al. 2014. Interannual variation in the mid-summer rainfall over the western Sichuan Basin and the associated circulation anomalies [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 38 (1): 13–20.

盛夏四川盆地西部地区降水年际变化 及其对应的环流异常

胡德强¹ 陆日宇² 苏秦^{2,3} 范广洲¹

¹ 成都信息工程学院大气科学学院, 成都 610225

² 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体物理学数值模拟国家重点实验室 (LASG), 北京 100029

³ 中国科学院大学, 北京 100049

摘 要 利用 7、8 月全国 756 站站点降水资料、NCEP/NCAR 再分析资料的月平均资料, 研究了盛夏四川盆地西部地区降水年际变化的基本特征及其对应的环流异常, 并分析了该地区与江南地区降水年际变化的关系及其对应的 700 hPa 环流异常。结果表明: 四川盆地西部地区盛夏降水偏多年, 四川盆地上空为显著的南风异常, 说明西南涡较常年活跃, 同时西太平洋副热带高压偏北; 而降水偏少时, 上述环流异常符号相反, 但更加明显, 说明西南涡明显弱于常年, 西太平洋副热带高压偏南。此外, 四川盆地西部盛夏降水年际变化和我国西北、华北地区降水呈明显的正相关关系, 而与江南地区降水有明显的负相关关系。这些关系与对流层低层环流异常有关。

关键词 四川盆地西部 降水异常 江南地区 盛夏 年际变化 环流异常

文章编号 1006-9895(2014)01-0013-08

中图分类号 P426

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2013.12192

Interannual Variation in the Mid-Summer Rainfall over the Western Sichuan Basin and the Associated Circulation Anomalies

HU Deqiang¹, LU Riyu², SU Qin^{2,3}, and FAN Guangzhou¹

¹ College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology (CUIT), Chengdu 610225

² State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

³ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract Interannual variation of the mid-summer (July and August) rainfall over the western Sichuan Basin and associated lower-tropospheric circulation anomalies are analyzed by using the rainfall data at 730 stations provided by the Chinese Meteorological Data Center, and the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis data. The lower-tropospheric circulation anomalies associated with greater and lesser amounts of rainfall over the western Sichuan Basin are examined. More rainfall over the western Sichuan Basin corresponds to a significant southerly anomaly over the basin, suggesting a stronger occurrence of the Southwest Vortex and a northward displaced subtropical high over the western Pacific. Less rainfall over this basin corresponds to more significant circulation anomalies but with opposite signs, suggesting a weaker Southwest Vortex and a

收稿日期 2012-11-02, 2013-03-19 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金—云南联合基金重点项目 U0933603, 国家自然科学基金项目 41275079, 国家公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY201006023, 四川省青年基金项目 2012JQ0062

作者简介 胡德强, 男, 1983 年出生, 硕士研究生, 主要从事东亚季风变异研究。E-mail: 54569017@qq.com

通讯作者 陆日宇, E-mail: lr@mail.iap.ac.cn

southward shift of the subtropical high. Moreover, interannual variation in mid-summer rainfall in the western Sichuan Basin has a positive and significant correlation with that in Northwest China and North China and a negative and significant correlation with that in South China. These correlations can be explained by the lower tropospheric circulation anomalies.

Keywords Western Sichuan basin, Rainfall anomaly, South China, Mid-summer, Interannual variation, Circulation anomaly

1 引言

四川盆地位于我国西南,人口众多,夏季降水丰沛,暴雨频发,是洪涝灾害多发的区域,因而对四川盆地降水规律的研究一直受到广泛的关注。四川盆地内夏季降水分布西多东少,大值区位于盆地西部,主要中心在雅安、乐山、眉山一带,而且暴雨也多发于盆地西部。除了夏季降水分布不一致,降水变化在东、西部也有差异,表现为东部降水与西部降水反位相变化(邵远坤等, 2005; 田俊等, 2010; 白莹莹等, 2011),而且还有研究表明东、西部降水的长期趋势也不一致(田俊等, 2010; Lu and Ye, 2011),因此在研究四川盆地降水时应将四川盆地东、西两部分分开讨论。四川盆地西部地区包括成都、绵阳、乐山、峨眉山、宜宾等工农业重镇,是四川主要的经济、政治、文化中心地带,研究该区降水变化,提高对该区降水变化规律的认识具有显著的社会、经济意义。

众多学者对该区域的降水变化特征进行了分析研究。一些研究表明四川盆地西部夏季降水有显著减少的趋势(周长艳等, 2006; 陈超等, 2010; Lu and Ye, 2011; 齐冬梅等, 2011; 周长艳等, 2011), Lu and Ye (2011)指出从20世纪50年代开始川西降水的下降趋势为每十年减少40 mm,与华北地区降水下降趋势相当。刘德等(2005)、彭京备等(2007)、李永华等(2009)等研究表明西南地区降水受到中高纬西风带扰动和西太平洋副热带高压、南亚高压等的异常有关,其降水直接受大尺度环流影响。朱艳峰和宇如聪(2003)用川西地区的雅安、绵阳和成都3站1951~2000年夏季降水资料分析了川西地区的7月和8月降水的年际变化、年代际变化,及其对应的环流背景,发现在年际尺度上500 hPa两槽一脊的环流型配合孟加拉湾低压的加强有助于冷空气南下,暖湿空气北上,有利于川西地区降水增多。此外,他们还发现川西降水的年际变化并不是一个局地现象,川西地区降水和华北地区降水为显著正相关,而与长江中下游地区降水为显著负相关。

本文将进一步深入分析影响四川盆地西部地区降水的大尺度环流特征,此外,还将分析四川盆地西部地区与江南地区降水的相关关系所对应的环流特征,并研究这种相关关系对应的环流异常特征,对比分析其与四川盆地西部降水年际变化的环流异常之间的异同点。

2 资料

本文运用的是国家气候中心提供的756个气象站点资料逐日降水资料。经挑选,从1958年7月至2010年8月缺测数据较少、时间序列完整的站点有502个。其中,本文选取四川盆地西部地区($28^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$, $102^{\circ}\text{E}\sim 105^{\circ}\text{E}$)的11个站点(图1)来表示该区降水。这11个站分别是马尔康、绵阳、都江、小金、雅安、乐山、峨眉、越西、昭觉、雷波和宜宾。考虑到Lu and Ye (2011)一文中所使用的成都、平武两站盛夏降水从2002年到2010年不连续,所以本文没有挑选这两个站点。本文采用的环流资料为NCEP/NCAR再分析资料中的700 hPa风场及位势高度场月平均资料。所使用数据的时间为1958年至2010年。

四川盆地西部地区位于青藏高原的东麓,处于海拔高度急剧下降的区域。从图1中可以看到,本文所选取的这些站点有一部分位于川西高原上,如峨眉(海拔高度:3047.4 m)、马尔康(2664.4 m)、

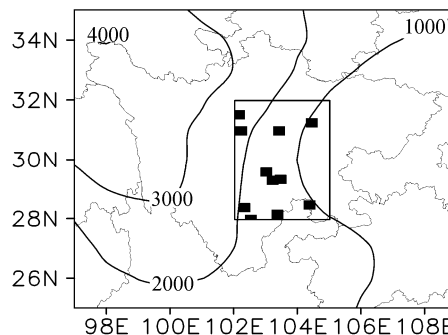


图1 本文使用的四川盆地西部地区站点。等值线为地形海拔高度(单位: m), 方框表示本文界定的四川盆地西部区域

Fig. 1 The stations in the western Sichuan Basin used in this study. Contour shows the elevation (m). The box indicates the western Sichuan Basin region defined in this study

小金 (2369.2 m)、昭觉 (2132.4 m)、越西 (1659.5 m)、雷波 (1255.8 m)。其中, 峨眉站点设在山顶附近, 周围只有很小的地方海拔超过 3000 m, 因而图 1 中没能显示该站点附近的 3000 m 等值线。其他站点的海拔高度在 300 m 到 700 m 之间。

考虑到这些站点的地形高度, 本文使用 700 hPa 风场去分析与降水量有关的环流异常。选择该等压面, 可以使得我们所关注区域的地形基本上处于该等压面之下, 因而该层的数据更为可信。此外, 该层的水汽含量较大, 因而环流异常可以较好地代表水汽输送异常。

3 四川盆地西部降水年际变化的研究

3.1 四川盆地西部地区降水年际变化特征

图 2 为四川盆地西部地区 11 个站点平均的 5 月到 9 月 53 年平均 (1958~2010 年) 降水量及其方差的逐月变化。从图中可以看出, 四川盆地西部地区 8 月降水量最多, 平均降水量为 235.1 mm, 标准差也最大, 为 57.8 mm; 其次为 7 月, 平均降水为 229.8 mm, 标准差为 45.8 mm。其他月份四川盆地西部地区的降水量和降水量的标准差远小于 7 月和 8 月。

另外, 从 5 月 1 日到 9 月 27 日候降水分布上看 (图 3), 自第 1 候开始, 降水量逐渐增加; 从第 11 候 (6 月 25 日至 6 月 29 日) 到第 12 候 (6 月 30 日至 7 月 4 日), 降水量迅速增多, 并维持在 30 mm/候以上, 直至第 26 候 (9 月 3 日至 9 月 7 日); 第 26 候至 27 候, 降水急剧减少至 30 mm/候以下, 之后继续逐渐减少。第 12 候至第 26 候候降水量平均约为 37.1 mm, 远比其他时段的降水多, 其中第 18 候降水量最大, 为 47.0 mm。四川盆地西部地区降水在 6 月底、7 月初迅速增加, 在 9 月初迅速减少, 因此正好 7 月和 8 月两个月的降水远多于其他月份, 所以在本文我们将 7 月和 8 月降水合并为盛夏降水一起研究。

图 4 中线形图是 1958 年至 2010 年的四川盆地西部地区盛夏多年降水量距平, 柱状图为其滤波后的年际变化。本工作主要针对四川盆地西部地区盛夏降水量的年际变化进行分析, 所以对原始降水序列进行 9 年高通滤波以提取其年际信号。本文采用的滤波方法为高斯滤波。四川盆地西部地区盛夏降水量多年平均为 465.0 mm, 且有明显的减少趋势, 其趋势系数为 -1.8 mm/a 。本文给出的四川盆地西

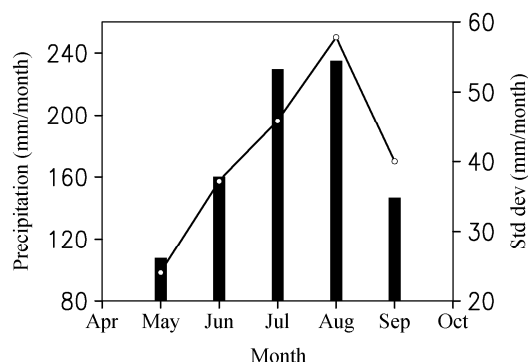


图 2 四川盆地西部地区 5~9 月各月降水量平均 (柱状线) 及其标准差 (折线)。单位: mm/月

Fig. 2 Monthly mean precipitation (bars) and its standard deviation (line) from May to September over the western Sichuan Basin. Unit: mm/month

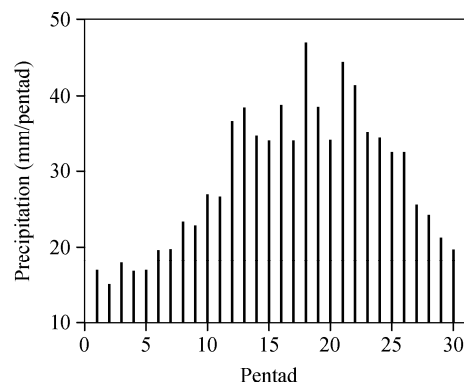


图 3 四川盆地西部地区 5 月 1 日至 9 月 27 日候降水。单位: mm/候

Fig. 3 Pentad precipitation from May 1 to September 27 over the western Sichuan Basin. Unit: mm/pentad

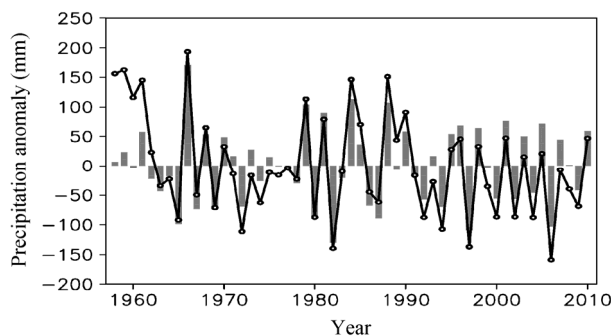


图 4 盛夏 (7、8 月) 四川盆地西部降水距平 (折线) 及高通滤波后的年际变化分量 (柱)。单位: mm

Fig. 4 The precipitation anomaly in mid-summer (July and August) over the western Sichuan Basin (line) and its interannual variation after high-pass filtering (bars). Unit: mm

部降水量减少趋势明显少于 Lu and Ye (2011) 的结果, 其原因除了采用站点稍有些不同之外, 更为主要的原因在于本文只分析了 7、8 月降水量, 而 Lu and Ye (2011) 分析的是 6~9 月降水量。高通滤波后的年际变化时间分量中, 最大值是在 1966 年,

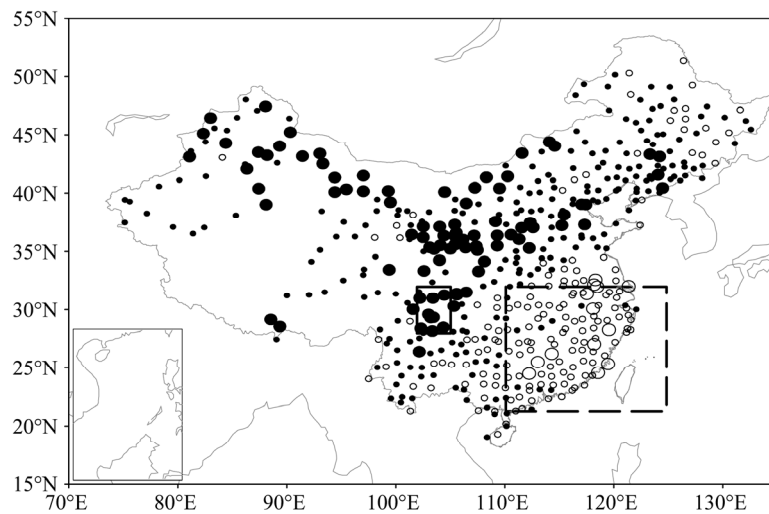


图 5 盛夏四川盆地西部降水量与全国降水量的相关关系。实心圆表示与四川盆地西部降水量正相关的站点，空心圆表示负相关的站点，大的空心圆及实心圆表示通过 95% 信度 t 检验的站点

Fig. 5 Correlation of rainfall over the western Sichuan Basin with rainfall in China. The solid dots represent positive correlation, while the hollow circles represent negative correlation. The big dots and circles show correlations significant at the 95% confidence level by Student's t -test

为 171.0 mm，最小值是在 1982 年，为 -129.7 mm，最大值年与最小值年降水相差 300.7 mm，变化范围超过多年平均值的 60%，可以看出盛夏四川盆地西部地区降水量的年际变化幅度非常大。

3.2 四川盆地西部地区降水与全国降水的关系

在年际变化时间尺度上，盛夏四川盆地西部地区降水量与我国中西部、西北部、内蒙古中部地区降水量呈显著的正相关关系，而与长江中下游和华南大范围地区降水量负相关（图 5）。朱艳峰和宇如聪（2003）的分析结果也表明四川盆地西部地区降水量与河套地区、华北呈显著的正相关，而与长江中下游呈负相关。然而，在他们的结果中，西北和华南并没有出现与四川盆地西部地区降水量的显著相关。本文与朱艳峰和宇如聪（2003）结果之间的差异可能主要来源于分析方法的不同：本文分析的是年际变化，而朱艳峰和宇如聪（2003）采用原始序列。为了定量分析负相关区域的降水量变化情况，本文划定（21°N~32°N，110°E~125°E）内的区域，以图 5 中虚框表示，并称之为江南地区。逐站检查可以发现江南地区大部分站点降水量都与川西降水量负相关，其中有 10 个站点通过了 95% 的信度检验，且这些站点分布比较均匀。少数几个站点可能由于局地影响，与川西降水量呈正相关关系，但这些正相关关系较弱，而且站点数量非常少，因而不影响整个江南地区与川西降水量的负相关关系。我们将在第四部分进一步讨论这种负相关关

系以及对应的大尺度环流背景。

3.3 四川盆地西部地区多雨年和少雨年的风场特征

为分析四川盆地西部地区盛夏降水对应的环流异常，我们根据降水量的年际变化（图 4），将标准化降水异常大于 1 的年份定义为多雨年，标准化降水异常小于 -1 的年份定义为少雨年，从而在 1958~2010 年中选出 8 年为多雨年，11 年为少雨年（表 1）。本文中的这些多雨年、少雨年与朱艳峰和宇如聪（2003）一文中的有一些差异。产生这些差异的原因主要来自如下两点。首先，本文根据降水变化的年际分量挑选年份，而朱艳峰和宇如聪（2003）采用的是降水量原始序列，因而 1958~1961 年作为多雨年出现在朱艳峰和宇如聪（2003），而在本文则为正常年。此外，本文降水资料延伸到 2010 年，因而 2000 年以后多出 2 个多雨年和 1 个少雨年。

表 1 盛夏四川盆地西部地区多雨年和少雨年

Table 1 The years with more and less mid-summer rainfall over the western Sichuan Basin

	年份									
四川多雨年	1966	1979	1981	1984	1988	1996	2001	2005		
四川少雨年	1965	1967	1969	1972	1980	1982	1986	1987	1994	1997 2006

图 6 为四川盆地西部地区盛夏的多雨年和少雨年分别合成的 700 hPa 风场、位势高度场和相对涡度场异常。在进行合成之前，已对风场和位势高度场资料同样进行了 9 年高通滤波以提取其年际信

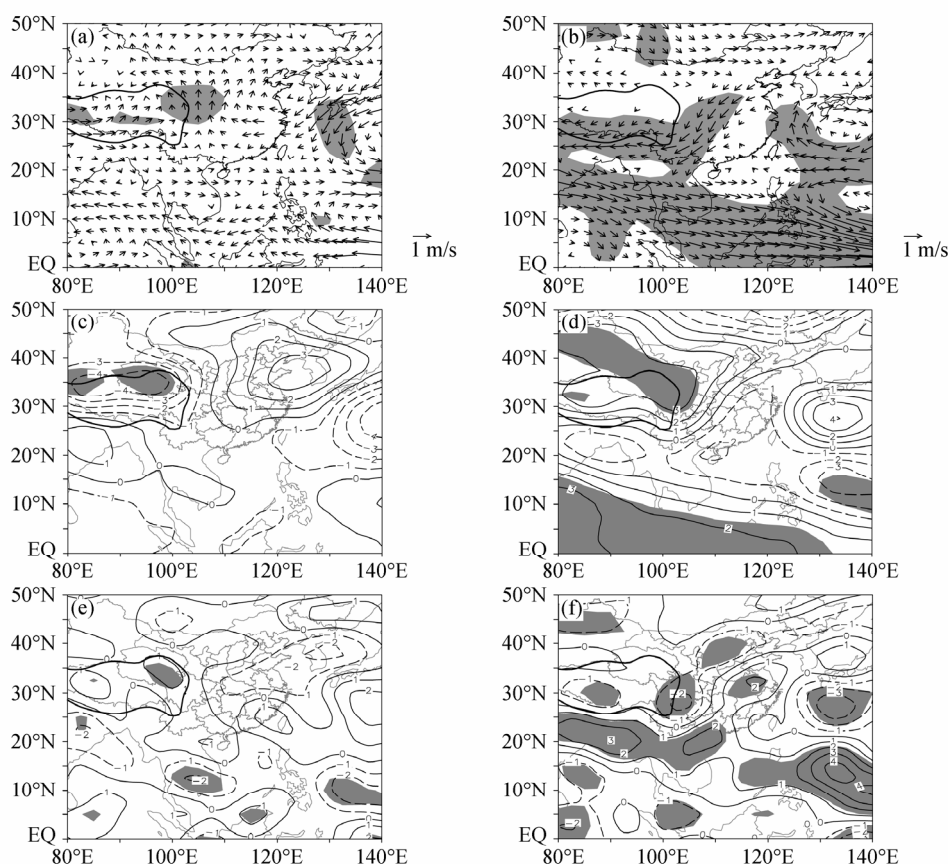


图6 四川盆地西部多雨年和少雨年合成的700 hPa风场(单位: m/s)、位势高度场(单位: gpm)和相对涡度场(单位: $10^{-6} s^{-1}$)异常。(a)多雨年风场;(b)少雨年风场;(c)多雨年高度场;(d)少雨年高度场;(e)多雨年涡度场;(f)少雨年涡度场。阴影部分表示风场(纬向风或经向风)异常、高度场异常、涡度场异常通过95%信度 t 检验的区域

Fig. 6 Composite (a, b) wind anomalies, (c, d) geopotential height anomalies (unit: gpm), and (e, f) relative vorticity anomalies ($10^{-6} s^{-1}$) at 700 hPa in (a, c, e) wet years and (b, d, f) dry years. The shading denotes that wind (zonal or meridional wind) anomalies, geopotential height anomalies, and relative vorticity anomalies are significant at the 95% confidence level by Student's t -test

号。多雨年,在青藏高原的东北侧,即四川盆地上空,存在显著的南风异常,说明西南涡较常年活跃(图6a)。该南风异常继续向北延伸,以东南风异常出现在西北地区,而以西南风异常出现在华北地区。这些风场异常可以把暖湿空气输送到西北和华北地区,有利于这些地区降水量偏多。因而,对流层低层风场异常可以解释四川盆地西部地区降水量年际变化和西北、华北广大地区的降水量呈明显的正相关关系(图5)的原因。图6c是四川盆地西部地区多雨年的700 hPa异常位势高度场图,可以看到在青藏高原为负异常,并延伸到四川西部地区,说明高原涡和西南涡较常年活跃。但需要说明的是在青藏高原的大部分地区700 hPa处于地下,因而可能会受到资料外插带来误差的影响。此外,在四川盆地西部地区的南面,只有极其微弱的南风异常,说明四川盆地西部地区降水量偏多与南

方水汽输送偏多没有显著关系。这或许是因为四川盆地西部在盛夏已经具备充沛的水汽,降水的产生只与局地环流有关,而不依赖于水汽的多少。我们的这一结果与以往的研究(如,朱艳峰和宇如聪,2003;李永华等,2009)不同。以往的研究多认为西南风异常将输送更多的暖湿水汽并引起四川地区降水量偏多。

在少雨年,四川盆地西部地区为显著的东北风异常,该异常从山东半岛一直延伸至中南半岛北部,并在青藏高原南麓折为东风异常(图6b)。这些风场异常不利于南方暖湿空气向四川盆地西部地区的输送,因此不利于降水的产生。上述结果表明四川盆地西部少雨年和多雨年对应的环流异常具有明显的差异,没有明显的反对称关系,这可能与该地区盛夏独特的水汽近饱和和特征有关:水汽进一步增加无助于降水量增加,而水汽降低却会减少

降水。四川盆地西部的北风异常说明西南涡活动弱于常年。图 6d 是四川盆地西部地区少雨年的 700 hPa 位势高度异常合成图, 可以看到在青藏高原东麓和川西地区为显著的正异常, 因而西南涡不如常年活跃。我们还分析了降水量多寡年合成的涡度异常 (图 6e、f)。多雨年对应的正涡度异常显现的位置除了青藏高原之外, 大值区均局限在川西地区 (图 6e), 和西南涡的气候位置一致。而在少雨年, 川西地区为明显的负涡度异常, 该异常大值区还向东有较明显的拓展。涡度异常的结果也说明降水量多寡对应着西南涡活跃与否。

从图 6 中可以看到, 四川盆地西部降水异常还与一些大尺度环流异常有关。首先, 是沿青藏高原南面的东西风异常, 该东西风异常与四川盆地上空的南风或东北风异常连在一起。其次, 四川盆地西部降水量多寡在西北太平洋上空分别对应着气旋、反气旋异常, 表明盛夏期间副高分别偏北、偏南, 这一点也可以从我国渤海、黄海上空位势高度场在降水量多寡时分别显现出的正负异常中看出 (图 6c、d)。但这些气旋和反气旋异常是否能够对四川盆地降水产生影响、如何产生影响, 还应进一步研究。此外, 四川盆地西部降水量多寡在赤道太平洋上分别对应着东、西风异常。

图 6 还显示出四川盆地西部降水量多时, 对应的环流异常总体较弱, 统计信度也不是很明显; 而降水少时对应的环流异常较强, 信度明显。这种强度和信度上的差别在四川盆地、青藏高原南面、西北太平洋、赤道太平洋均有明显体现。

4 四川多雨、江南少雨年与四川少雨、江南多雨年的降水分布和风场特征

图 5 中表明四川盆地西部地区降水量年际变化与江南地区显著负相关。我们以图 5 虚线框内各站点平均的降水量来代表江南地区的降水量, 并与四川盆地西部地区降水量变化进行比较 (图 7)。如图所示, 四川盆地西部降水量与江南降水量基本呈现反位相的变化。经过计算, 二者之间的相关系数为 -0.37 , 通过 95% 的信度检验, 即四川盆地西部和江南地区降水量呈现显著的负相关关系。此外, 江南地区盛夏降水量多年平均为 344.4 mm , 少于四川盆地西部地区的降水量。滤波后江南地区盛夏降水最大值出现在 1980 年, 为 111.1 mm , 最小值出现在 2003 年, 为 -118.2 mm , 最大值与最小值相差

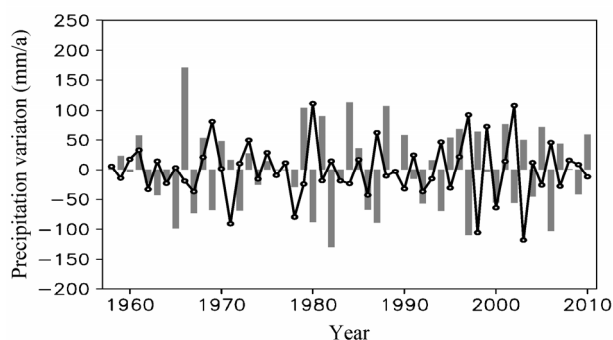


图 7 盛夏四川盆地西部降水量 (柱) 和江南降水量 (折线) 的年际变化, 单位: mm/a

Fig. 7 The interannual variations of mid-summer precipitation (unit: mm/a) over western Sichuan Basin (bars) and Jiangnan (the regions south of the lower reaches of the Changjiang River) (line)

229.3 mm , 占历年平均的 60% 左右。

为便于研究四川盆地西部与江南降水量年际变化之间的联系所对应的大气环流特征, 同上一部分类似, 我们选取一些年份进行合成分析, 但为了获取较充足的分析样本, 我们这里定义标准化降水异常大于 0.5 的年份为多雨年, 而小于 -0.5 的为少雨年。表 2 列出了四川盆地西部多雨同时江南少雨的有 8 年 (1979、1984、1990、1995、1998、2003、2005、2007 年); 而四川盆地西部少雨同时江南多雨的有 7 年 (1969、1980、1987、1994、1997、2002、2006 年)。

表 2 盛夏四川盆地西部地区与江南降水反相关显著的年份
Table 2 The years in which mid-summer rainfall has a negative and significant correlation over the western Sichuan Basin with that in Jiangnan

	年份							
四川多雨、江南少雨	1979	1984	1990	1995	1998	2003	2005	2007
四川少雨、江南多雨	1969	1980	1987	1994	1997	2002	2006	

图 8 为根据表 2 中的两种典型情况对降水异常进行的合成分析结果。从中可以看出, 降水异常在这两种典型情况呈现相似的分布特征, 只不过符号相反。在我国东部地区, 降水异常呈现南北分布特征, 在江南和黄淮地区降水异常符号相反, 而黄淮降水异常与四川盆地西部降水异常符号一致。江南降水异常出现在长江中下游和华南广大区域, 其大值区位于广西。

图 9 给出上述两种典型情况对应的 700 hPa 风场异常。当四川多雨、江南少雨时 (图 9a), 四川地区东南方为显著的西南风异常, 该西南风异常向

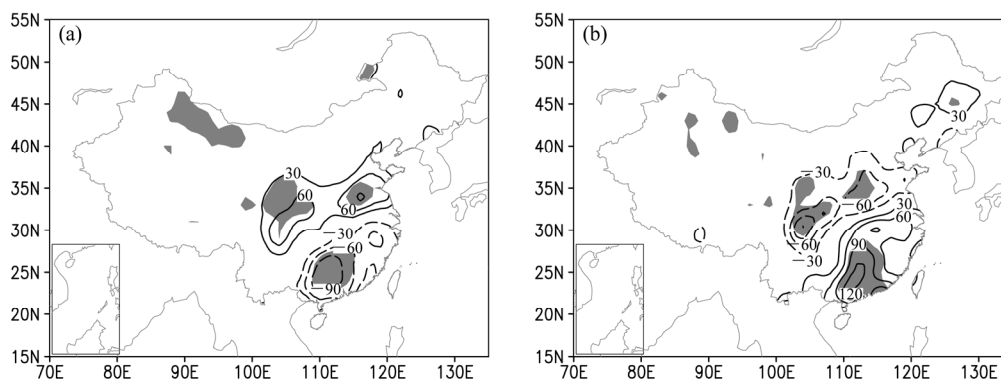


图 8 (a) 四川多雨、江南少雨年份和 (b) 四川少雨、江南多雨年份降水异常合成图。等值线间隔为 30 mm/a (零线略去)。阴影部分表示通过 95% 信度 t 检验的区域。单位: mm/a

Fig. 8 Composite precipitation anomalies (unit: mm/a) in (a) the wet years over the western Sichuan Basin and the dry years over Jiangnan, and (b) the dry years over the western Sichuan Basin and the wet years over Jiangnan. The contour interval is 30 mm/a and the contour line of zero is omitted. The shading indicates significance at the 95% confidence level by Student's t -test

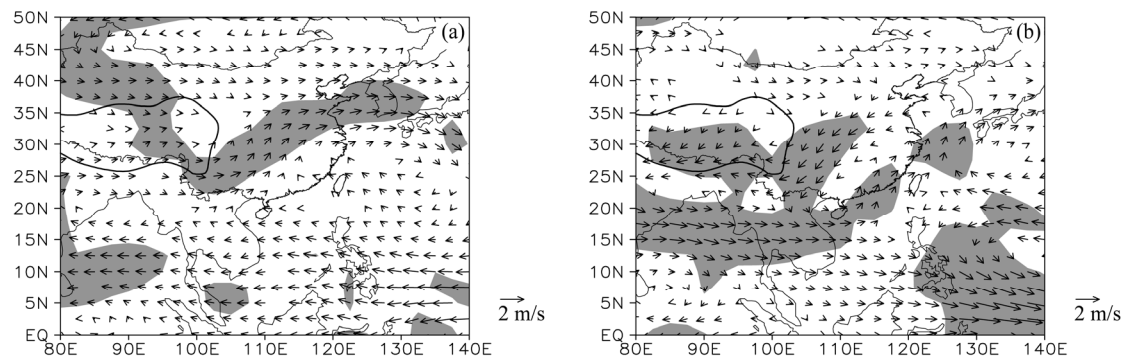


图 9 (a) 四川多雨、江南少雨年份和 (b) 四川少雨、江南多雨年份 700 hPa 风场异常合成图。阴影部分为纬向风或经向风通过 95% 信度 t 检验的区域

Fig. 9 Composite 700-hPa wind anomalies in (a) the wet years over the western Sichuan Basin and the dry years over Jiangnan, and (b) the dry years over the western Sichuan Basin and the wet years over Jiangnan. The shading indicates significance at the 95% confidence level by Student's t -test for either zonal or meridional wind anomalies

东北方向伸展, 经黄淮流域一直到朝鲜半岛, 这有利于黄淮地区降水量的增加 (图 8a)。此外, 该西南风异常与位于江南和东海地区的反气旋异常相关联, 而在该反气旋异常的控制下, 江南降水量减少 (图 8a)。与单纯的四川盆地西部降水量偏多时对应的环流异常不同, 江南地区同时降水量偏少时在青藏高原东北侧没有南风异常, 而且西南风异常明显偏向东部。当四川少雨而江南多雨时 (图 9b), 四川盆地上空为显著的东北风异常, 该东北风异常一直延伸到云南地区, 并在青藏高原南麓折向成为东风异常, 这将不利于水汽输送至四川盆地, 并导致川西地区降水减少。此外, 江南地区处于气旋式异常的控制之下, 可能会有助于该地区降水量偏多。上述这些风场异常与单纯的四川盆地西部地区降水量偏少时对应的环流异常 (图 6b) 很相似。图 9b 与图 6b 不同之处在于前者在华南沿海地

区出现显著的西南风异常, 该西南风异常与印度洋北部的西风异常相连, 有益于水汽输送至江南地区, 也可能有利于降水量增多。此外, 与图 9a 相比, 图 9b 中显示的环流异常较强, 信度也更加明显, 这一结果和图 6 的结果一致。

5 结论与讨论

本文利用全国 756 站逐日降水资料和 NCEP/NCAR 再分析资料分析了四川盆地西部地区盛夏降水量的年际变化特征及其对应的对流层下层 (以 700 hPa 代表) 环流异常特征。由于盛夏川西降水量与江南地区降水量呈显著负相关关系, 我们还分析了导致四川盆地西部地区与江南地区降水量负相关的环流异常特征, 并将这种负相关关系对应的环流异常与四川盆地西部地区降水异常对应的环流异常进行了对比。得到如下主要的结果:

四川盆地西部地区盛夏降水量偏多年,四川盆地上空为显著的南风异常,对应西南涡较常年活跃;而降水量偏少时,盆地上空为明显的北风异常,对应西南涡明显弱于常年。此外,四川盆地西部地区盛夏降水量偏多年和偏少年所合成的风场异常表现出明显的非对称性:降水量偏多时,四川盆地南部没有明显的风场异常;而降水偏少量时,四川盆地南侧出现明显的东北风异常,并在青藏高原南麓折向成东风异常,导致输送到四川盆地的水汽减少。我们认为环流异常的这种非对称性可能和四川盆地盛夏独特的水汽近饱和和特征有关:水汽进一步增加无助于降水增加,而水汽降低却会减少降水。此外,四川盆地西部降水多寡还分别对应着副高偏北、偏南以及赤道太平洋上的东、西风异常。

四川盆地西部盛夏降水量年际变化和我国西北、华北地区降水量呈明显的正相关关系。这与对流层低层环流异常有关:四川盆地西部降水量偏多时,在北部广大的区域则出现东南风异常(西北地区)和西南风异常(华北地区);而在降水量偏少时,东北风异常出现在自山东半岛一直西南向延伸到中南半岛北部。

除了我国北方地区,四川盆地西部盛夏降水量还与江南地区降水量有明显的关系,但为负相关关系,两者之间的相关系数为 -0.37 。四川和江南降水量之间的这种负相关关系主要与位于江南和东海的气旋/反气旋环流异常有关。一方面,这一气旋/反气旋异常西北侧的风场异常可以影响四川降水;另一方面,在气旋/反气旋异常的直接控制下,江南地区出现降水增加/减少。

致谢 两位审稿人详细地指出了文稿中存在的不足之处和修改建议,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- 白莹莹, 张焱, 高阳华, 等. 2011. 四川盆地降水变化的区域差异 [J]. 地理科学, 31 (4): 478–484. Bai Yingying, Zhang Yan, Gao Yanghua, et al. 2011. Spatial differences of precipitation over Sichuan Basin [J]. Scientia Geographica Sinica (in Chinese), 31 (4): 478–484.
- 陈超, 庞艳梅, 潘学标. 2010. 近半个世纪以来四川盆地气温和降水的变化特征 [J]. 中国农业气象, 31 (S1): 27–31. Chen Chao, Pang Yanmei, Pan Xuebiao. 2010. Analysis of variation characteristics of air temperature and precipitation in Sichuan Basin in recent half century [J]. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 31 (S1): 27–31.
- 李永华, 徐海明, 刘德. 2009. 2006 年夏季西南地区东部特大干旱及其大环流异常 [J]. 气象学报, 67 (1): 122–132. Li Yonghua, Xu Haiming, Liu De. 2009. Features of the extremely severe drought in the east of Southwest China and anomalies of atmospheric circulation in summer 2006 [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 67 (1): 122–132.
- 刘德, 李永华, 高阳华, 等. 2005. 重庆夏季旱涝的欧亚环流特征分析 [J]. 高原气象, 24 (2): 275–279. Liu De, Li Yonghua, Gao Yanghua, et al. 2005. Analysis on Eurasian circulation of drought and flood in summer of Chongqing [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 24 (2): 275–279.
- Lu Riyu, Ye Hong. 2011. Decreasing trend in summer precipitation over the western Sichuan Basin since the 1950s [J]. Atmos. Oceanic Sci. Lett., 4 (2): 114–117.
- 彭京备, 张庆云, 布和朝鲁. 2007. 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, 12 (3): 464–474. Peng J B, Zhang Q Y, Bueh C. 2007. On the characteristics and possible causes of a severe drought and heat wave in the Sichuan–Chongqing region in 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (3): 464–474.
- 齐冬梅, 李跃清, 陈永仁, 等. 2011. 近 50 年四川地区旱涝时空变化特征研究 [J]. 高原气象, 30 (5): 1170–1179. Qi Dongmei, Li Yueqing, Chen Yongren, et al. 2011. Spatial-temporal variations of drought and flood intensities in Sichuan region in the last 50 years [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 30 (5): 1170–1179.
- 邵远坤, 沈桐立, 游泳, 等. 2005. 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), 27 (6): 749–752. Shao Yuankun, Shen Tongli, You Yong, et al. 2005. Precipitation features of Sichuan Basin in the recent 40 decades [J]. Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science) (in Chinese), 27 (6): 749–752.
- 田俊, 马振峰, 范广洲, 等. 2010. 新的高原季风指数与四川盆地夏季降水的关系 [J]. 气象科学, 30 (3): 308–315. Tian Jun, Ma Zhenfeng, Fan Guangzhou, et al. 2010. Relationship between a new plateau monsoon index and summer precipitation in Sichuan Basin [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 30 (3): 308–315.
- 周长艳, 李跃清, 彭俊. 2006. 高原东侧川渝盆地降水与水资源特征及变化 [J]. 大气科学, 30 (6): 1217–1226. Zhou Changyan, Li Yueqing, Peng Jun. 2006. The characteristics and variation of precipitation and water resource of Sichuan and Chongqing Basin on the eastern side of the Plateau [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (6): 1217–1226.
- 周长艳, 岑思弦, 李跃清, 等. 2011. 四川省近 50 年降水的变化特征及影响 [J]. 地理学报, 66(5): 619–630. Zhou Changyan, Cen Sixian, Li Yueqing, et al. 2011. Precipitation variation and its impacts in Sichuan in the last 50 years [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 66 (5): 619–630.
- 朱艳峰, 宇如聪. 2003. 川西地区夏季降水的年际变化特征及与大尺度环流的联系 [J]. 大气科学, 27(6): 1045–1056. Zhu Yanfeng, Yu Rucong. 2003. Interannual variation of summer precipitation in the west of Sichuan Basin and its relationship with large-scale circulation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27(6): 1045–1056.