Vol. 41 No. 6 Nov. 2017

孙小婷,李清泉,王黎娟. 2017. 我国西南地区夏季长周期旱涝急转及其大气环流异常 [J]. 大气科学, 41 (6): 1332–1342. Sun Xiaoting, Wang Lijuan, Li Qingquan. 2017. Characteristics of long-cycle abrupt drought—flood alternations in Southwest China and anomalies of atmospheric circulation in summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 41 (6): 1332–1342, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1705.16282.

我国西南地区夏季长周期旱涝急转及其 大气环流异常

孙小婷^{1,2} 李清泉^{1,2} 王黎娟¹

1 南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044 2 国家气候中心中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

摘 要 利用 1961~2015 年中国 567 站逐日降水资料,定义了一个西南地区夏季长周期旱涝急转指数,结果表明: 1961~1970 年夏季旱转涝多于涝转旱,1971~1980 年夏季涝转旱年较多,1981~2000 年旱转涝与涝转旱年相当,21 世纪初以来,指数又呈现出负值的趋势,涝转旱年偏多。选取西南地区夏季旱涝急转典型年,对旱涝急转年的大气环流和水汽输送异常进一步分析发现,旱转涝年旱期西太平洋副热带高压偏西偏强,中高纬西风带偏强,冷空气不易南下,垂直场上表现为下沉运动,来自孟加拉湾和南海的水汽输送异常偏弱,西南地区亦处于水汽辐散区,因此降水偏少。而涝期中高纬环流的经向运动增强,乌拉尔山以东的槽加深,东亚沿岸脊加强,中高纬西风带偏弱,在垂直场上表现为上升运动,孟加拉湾和南海为西南地区提供了充足的水汽,有利于该地区降水增多;涝转旱年则相反。

关键词 西南地区 旱涝急转 大气环流 水汽输送

文章编号 1006-9895(2017)06-1332-11

中图分类号 P426

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1705.16282

Characteristics of Long-Cycle Abrupt Drought-Flood Alternations in Southwest China and Anomalies of Atmospheric Circulation in Summer

SUN Xiaoting^{1, 2}, LI Qingquan^{1, 2}, and WANG Lijuan¹

- 1 Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044
- 2 Laboratory for Climate Studies of China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081

Abstract Based on daily precipitation data collected at 567 stations in China from 1961 to 2015, an index of abrupt drought–flood alternation in Southwest China in summer was defined. The results show that the alternation events from drought to flood are more than those from flood to drought in the summers during 1961–1970, the alternations from flood to drought are more during 1971–1980, and the alternations from drought to flood are equal to those from flood to drought during 1981–2000. Since the early 21st century, abrupt alternations from flood to drought tend to increase. Typical abrupt drought–flood alternation events in summer were selected and the characteristics of the anomalous

收稿日期 2016-12-07; 网络预出版日期 2017-05-16

作者简介 孙小婷,女,1993年出生,硕士研究生,主要从事气候诊断与气候变化研究。E-mail: sunmenghe@qq.com

通讯作者 王黎娟, E-mail: wljfw@163.com

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2013CB430202、2012CB955203

Funded by National Basic Research Program of China (Grants 2013CB430202 and 2012CB955203)

atmospheric circulation and water vapor transportation were analyzed. It was found that the western Pacific subtropical high extended westward and became stronger during the drought period before the conversion from drought to flood. The westerlies at the middle and high latitudes also became stronger, preventing cold air from moving southward. In the vertical, downdraft prevailed and the moisture transport from the Bay of Bengal and South China Sea was weaker than before. Southwest China was located at the moisture divergence area. In addition, there was less rainfall during drought periods. During the flood period after the conversion from drought to flood, meridional circulation at the middle and high latitudes tended to be stronger. The trough to the east of the Ural Mountains deepened and the eastern Asia ridge strengthened. The westerlies at the middle and high latitudes became weaker and updrafts prevailed in the vertical. Also, large amounts of moisture were transported from the Bay of Bengal and South China Sea to Southwest China, which explains why rainfall became abundant there. The opposite was true in the years of conversion from flood to drought.

Keywords Southwest China, Drought-flood abrupt alternation, Atmospheric circulation, Moisture transportation

1 引言

旱、涝灾害是我国主要的两种气象灾害。在全 球气候变暖的背景下,极端天气气候事件出现了增 多增强的趋势(Karl et al., 1995)。西南地区自古以 来是我国洪涝灾害频发且较为严重的区域之一,但 最近几年,该地区屡屡发生严重的干旱灾害,旱涝 灾害造成了难以估量的损失(冯水志和罗德富, 1995)。以往关于西南地区旱涝的研究主要集中在 季节整体性旱事件或涝事件(Dai et al., 1998; 李 跃清, 2003; Ju et al., 2005; 鲍媛媛等, 2007; 王 遵娅和丁一汇,2008;李永华等,2009;王林和陈 文, 2012), 例如李韵婕等(2014) 通过采用区域 性极端事件客观识别法发现,11 月至次年 4 月为西 南地区的旱季,5~10 月为非旱季。云南和四川南 部为西南干旱发生的高频、高强中心区域。白莹莹 等(2010)则研究了气候变化对重庆高温和旱涝灾 害的影响。其结果表明,重庆地区 1961~2006 年 期间降水总量不变、但频率减少,降水过程存在强 化的趋势。重庆地区明显增暖开始于20世纪90年 代后期。增暖后,极端高温事件发生频次明显增加, 高温热浪风险显著上升,极端降水事件发生频次也 呈增加趋势。西南地区 1960~2010 年间最严重的 干旱事件是 2009 年 9 月至 2010 年 4 月发生的秋冬 春连旱。黄荣辉等(2012)发现,2009年秋到2010 年春季,热带西太平洋和热带印度洋处于升温状 态,它使得热带西太平洋上空产生反气旋异常环 流,造成了西南气流异常在我国东南沿海加强,而 华南和华中地区上空处于低槽控制,因而在高原东 部为槽后西北气流和下沉气流所控制,造成了从孟 加拉湾来的水汽很难到达云贵高原, 从而引起了西 南区域降水长期偏少。并且,绕高原路径的冷空气 偏弱也是造成该次严重干旱事件的主要原因之一。

王斌和李跃清(2010)对 2010 年秋冬季西南地区 严重干旱事件分析后发现,该次严重干旱的开始、 发展和减弱与同期 500 hPa 南支槽活动及整层水汽 输送有着密切的关系。该地区 11 月至次年 3 月的 降水和前期 11 月南支槽指数在 10~12 年周期变化 上存在显著的反相关系。彭京备等(2007)对2006 年川渝地区高温干旱进行了研究, 认为该年西太平 洋副热带高压(西太平洋副高)西伸,大陆副热带 高压东伸,同时东亚中纬度西风带扰动偏北偏弱, 热带地区对流活跃、孟加拉湾地区降水异常增多导 致了热带加热场的异常。李永华等(2010, 2011, 2016) 通过对西南地区东部旱涝成因的一系列研究 发现,该地区的水汽来源主要有两条:第1条主要 来自于青藏高原转向和孟加拉湾经缅甸、云南进入 西南地区东部;第2条水汽经由孟加拉湾南部,向 东输送至中南半岛及南海,和南海越赤道气流所携 带的水汽汇合后转向至西南地区东部。印度洋和孟 加拉湾偏北地区是西南地区东部重要的水汽源地。 该地区夏季降水与水汽输送纬向通道的强度变化 关系密切,而与经向通道的水汽输送强度变化关系 不明显。通过对夏季降水指数和青藏高原大气热源 做相关分析得出, 西南地区东部夏季降水与高原主 体东南部(30°N~35°N,90°E~100°E)的热源变 化关系密切, 当该区域大气热源偏强时, 西南地区 东部夏季降水偏多的可能性大。其通过研究热带大 气季节内振荡 (MJO) 对西南地区东部夏季降水的 影响发现,当 MJO 处于第 4 (第 6)位相时,西南 地区东部夏季降水具有较明显的偏多(偏少)特征。 蒋兴文等(2007)通过研究四川盆地夏季水汽输送 特征及其对旱涝的影响发现,四川盆地夏季水汽主 要来源于青藏高原、孟加拉湾及南海地区,并通过 EOF 分析指出四川盆地降水呈东西反位相是一个 重要的模态。其关于水汽主要来源的结论与李永华

(2010)对西南地区东部的水汽输送来源结论一致。

目前,针对西南地区某些旱涝极端年份的个例 分析也已取得一定的进展,但对于季节内降水异常 变化的研究还比较少。旱涝急转可能引发农作物减 产、山洪、泥石流、城市内涝等自然灾害,给社会 经济发展和居民日常生活都将带来严重影响。因 此,对旱涝急转事件的变化特征及其发生规律进行 研究是十分有科学意义和应用价值的。部分专家学 者已对国内旱涝成因及预测方面做了一些有意义 的工作。吴志伟(2006)、吴志伟等(2006, 2007) 定义了长江中下游夏季旱涝急转指数,对夏季旱涝 急转进行定量研究; 司东等(2012)发现 2011年 5 月长江中下游地区降水异常偏少,6月转为异常偏 多,出现了明显的旱涝转换,长江中下游地区的旱 涝转换主要受南海季风、东亚季风强度以及西太平 洋副高异常快速北跳的影响;李明(2013)、沈柏 竹等(2012)和封国林等(2012)对 2011 年春末 夏初长江中下游地区旱涝急转事件进行分析,认为 中高纬环流形势持续稳定为此次事件提供大尺度 环流背景场,其前期信号存在于赤道中东太平洋及 赤道印度洋。张天宇等(2014)通过研究发现,重 庆市夏季旱涝急转事件有阶段连续性和间歇性并 存的特点,西太平洋副高的季节内振荡异常是影响 该地区旱涝急转的主要原因。

由上述可见,以往的旱涝急转研究多是针对长 江中下游旱涝急转的研究,而对旱、涝灾害时常发 生的西南地区,针对夏季旱涝急转事件的研究还比 较少。因此,本文着重研究西南地区夏季旱涝急转 特征,并对典型事件对应的大气环流和水汽输送异 常进行分析,期望能够更深入认识该地区夏季旱涝 急转现象与其大气环流异常的联系,为短期气候预 测提供参考依据。

2 资料与方法

本文所用资料为中国气象局国家气象信息中心提供的 1961~2015 年中国 632 站逐日降水资料。由于原始 632 个站点的逐日降水数据存在缺测,长度不一致,因而在使用前对其进行了处理。首先,对各站 5~8 月逐日降水缺测日数大于 30 天的年资料算作缺测。从 2015 年开始向前检验,保证每站的数据都至少包含从 1971~2015 年的连续记录,将资料连续长度短于 45 年的站点进行剔除。由此

得到 567 站的逐日降水资料。另外,还使用了同时期美国 NCEP/NCAR 提供的全球逐月再分析资料(Kalnay et al., 1996),包括垂直方向 $1000\sim10$ hPa 共 17 层等压面的风场(u、v)、高度场(H),12 层的垂直速度场(ω),以及垂直方向 $1000\sim300$ hPa 共 8 层等压面的比湿场(g)。

由于西南地区地理位置特殊,降水空间分布差 异较大,因此本文参考王艳姣和闫峰(2014)、詹 丰兴等 (2015) 的工作,对 1961~2015 年全国 567 个台站 5~8 月降水标准化距平场采用旋转经验正 交函数分解(REOF)方法进行降水分区,选取西 南地区夏季降水代表站。表 1 列出前 10 个 REOF 模态对全国降水距平场总方差的贡献率和累积贡 献率,由表1可见,旋转后的特征向量方差分布相 对均匀,累积方差为 100%,旋转后的特征向量基 本能包含全国降水的空间分布信息(王艳姣和闫 峰, 2014)。对 REOF 的前十个模态进行分析,发 现旋转后的第八模态主要大值(正值)区位于西南 地区(图 1)。据此选取(22°N~30°N,100°E~110°E) 作为研究区域,将其中的站点作为西南地区夏季降 水代表站,总共 64 个站,主要包括云南省东部、 四川省南部、重庆、贵州大部和广西西部的站点。

表 1 REOF 旋转向量对总方差的贡献率和累积贡献率
Table 1 Contributions and cumulative contributions of
REOF (Rotated Empirical Orthogonal Function) rotated
vectors to the total variance of precipitation

REOF 模态	贡献率	累积贡献率
1	15.27%	15.27%
3	10.72%	38.41%
4	10.55%	48.96%
5	10.45%	59.41%
6	9.70%	69.11%
7	8.69%	77.80%
8	8.19%	85.99%
9	7.33%	93.32%
10	6.68%	100%

本文研究的夏季旱涝急转时间尺度为 2 个月。 "旱转涝"是指 5、6 月份旱,7、8 月份涝;"涝转旱"指 5、6 月份涝,7、8 月份旱。为了定量研究西南地区旱涝急转的气候特征,本文首先定义了西南地区旱涝急转指数。参考中国气象局国家气候中心的区域降水指数(赵振国,1999;陈兴芳和赵振国,2000),本文首先计算了 5~6 月和 7~8 月的西南地区区域降水指数,将标准化后的 7~8 月降水指数(γ₇₈)与 5~6 月降水指数(γ₅₆)差值定 义为西南地区夏季长周期旱涝急转指数 Z: $Z = \gamma_{78} - \gamma_{56} =$

$$\left[\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{R_{i(78)}}{\overline{R}_{i(78)}} + \frac{n_{78}^{+}}{n_{78}} \right) - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{R_{i(56)}}{\overline{R}_{i(56)}} + \frac{n_{56}^{+}}{n_{56}} \right) \right] \times 100\%, (1)$$

其中,n 为研究区域内的测站总数, $R_{i(78)}$ 为某站 $7\sim$ 8 月总降水量, $\overline{R}_{i(78)}$ 为该站 $1981\sim2010$ 年 $7\sim$ 8 月降水量平均值, $R_{i(56)}$ 为 $5\sim$ 6 月总降水量, $\overline{R}_{i(56)}$ 为 $1981\sim2010$ 年 $5\sim$ 6 月降水量平均值,i 为测站序号(i=1,2,3,…,n),n⁺表示 n 个测站中降水量距平 $\triangle R \geqslant 0$ 的站数。

3 西南地区夏季长周期旱涝急转特征

图 2 为 1961~2015 年西南地区 5~6 月和 7~8

月区域降水指数的逐年变化图。从图 2 可以看出,西南地区 5~6 月和 7~8 月降水的年际变化较大,且 7~8 月降水变化更为显著。将高于降水指数 0.5 倍标准差作为涝期,低于降水指数—0.5 倍标准差作为旱期,5~6 月可以得到 16 个旱期和 17 个涝期(图 2a)。由图 2a 可见,5~6 月,20 世纪 60~80 年代 γ 指数相对较大,其中有 8 年为涝,4 年为旱;随后的 20 年间(1981~2000 年),γ 指数相对偏小,有 8 个旱期,5 个涝期;21 世纪初,旱涝年分布相对比较均匀,有 4 个涝期和 3 个旱期。7~8 月(图 2b),1961~1980 年旱涝期较为平均,各出现 6 个;1981~2000年间,γ 指数相对偏大,其中有 6 年为涝期,3 年为

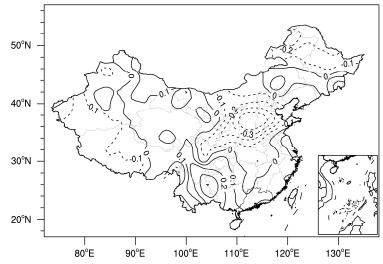


图 1 降水标准化距平场 REOF 第 8 模态空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of the eighth mode of REOF of the standardized precipitation anomaly

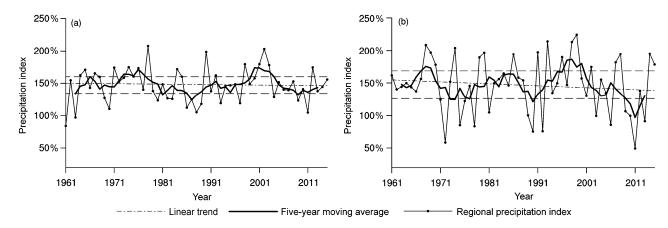


图 2 1961~2015 年西南地区区域平均的降水指数序列(带黑点实线): (a) 5~6 月; (b) 7~8 月。粗实线为五年滑动平均,点虚线为线性趋势,上方虚线为区域降水指数 0.5 倍标准差,下方虚线为区域降水指数—0.5 倍标准差

Fig. 2 Time series of regional-averaged precipitation index (solid lines with black dots) in Southwest China from 1961 to 2015: (a) May to June; (b) July to August. Thick solid curve: five-year moving average; dotted-dashed line: linear trend; the upper dashed line: the regional precipitation index of 0.5 times the standard deviation, the lower dashed line: the regional precipitation index of -0.5 times the standard deviation

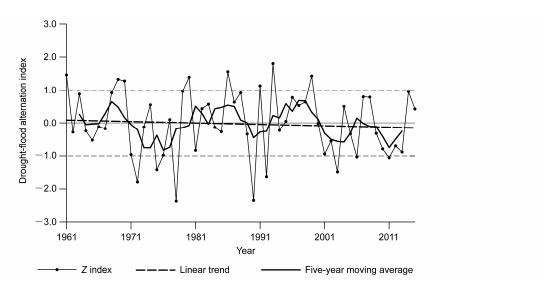


图 3 1961~2015 年西南地区旱涝急转指数时间序列(带黑点实线)。粗实线为五年滑动平均,粗虚线为线性趋势

Fig. 3 Time series of abrupt drought-flood alternation index (solid line with black dots) in Southwest China from 1961 to 2015. Thick solid line: five-year moving average, thick dashed line: linear trend

早期; $2001\sim2015$ 年, γ 指数相对偏小, 出现 6 个 早期, 5 个涝期, 且早期的强度较强。

图 3 为 1961~2015 年我国西南区域旱涝急转指数 (Z) 的逐年变化曲线。正指数值越大代表旱转涝程度越强,负指数越小代表涝转旱程度越强;旱涝急转指数的绝对值越大,表示旱涝急转强度越大。由图 3 可以看出,西南区域旱涝急转指数呈现出明显的年际变化。1961~1970 年间为明显的高值年,旱转涝年多于涝转旱年;1971~1980 为明显的低差值年,涝转旱年较多,急转程度较强;1981~2000 年间正负指数较为平均,旱转涝与涝转旱年均存在,且急转程度较强;进入 21 世纪初,指数又呈现出负值的趋势,5~6 月比 7~8 月更易较常年降水偏多、偏涝。

选取西南地区旱涝急转指数大于 1、且同时满足 5~6 月旱(低于降水指数-0.5 倍标准差)、7~8 月涝(高于降水指数 0.5 倍标准差)的年份作为旱转涝典型年,满足条件的年份有 1969 年、1970 年、1980 年、1986 年和 1993 年。类似地,选取西南地区旱涝急转指数小于-1、且同时满足 5~6 月涝、7~8 月旱的年份作为涝转旱典型年,这样的年份有1975 年、1978 年、1990 年、1992 年和 2003 年。

表 2 为典型年旱涝急转指数值及 5~6 月、7~8 月降水指数距平。其中,5~6 月降水指数距平绝对值大于 13 为超过 0.5 倍标准差,7~8 月降水指数距平绝对值大于 21.2 为超过 0.5 倍标准差。由表

2 可以看出,在高急转指数年(旱转涝年),5~6 月降水指数距平均为负值,即降水指数低于平均 值、西南地区偏旱;7~8 月降水指数距平均为正值, 即降水指数高于平均值、西南地区偏涝;且 5~6 月和 7~8 月降水指数均达到旱期或涝期标准。低 急转指数年则反之,5~6 月降水指数距平均为正 值、偏涝,7~8 月降水指数距平均为负值、偏旱。

表 2 西南地区旱转涝、涝转旱典型年旱涝急转指数值及 5~6 月、7~8 月降水指数距平

Table 2 Abrupt drought-flood alternation indexes, regional precipitation index anomalies (May to June and July to August) in Southwest China in the typical drought to flood years and flood to drought years

早转涝典型年				涝转旱典型年			
		5-6月	7-8 月			5-6 月	7-8 月
	旱涝急	降水指	降水指		早涝急	降水指	降水指
年份	转指数	数距平	数距平	年份	转指数	数距平	数距平
1993年	1.80	-28.04%	66.90%	1978年	-2.36	60.87%	-63.39%
1986年	1.56	-34.82%	47.20%	1990年	-2.34	51.83%	-71.31%
1980年	1.39	-23.78%	49.57%	1992年	-1.63	15.11%	-70.89%
1969年	1.33	-20.11%	49.93%	2003年	-1.49	30.88%	-47.67%
1970年	1.28	-36.75%	30.68%	1975年	-1.43	13.25%	-61.80%

为了验证根据本文定义的旱涝急转指数选取的典型年是否能够正确反映西南地区夏季旱涝急转情况,图 4 分别给出了旱转涝年和涝转旱年 5~6月与 7~8月的降水距平百分率合成图。由旱转涝年合成图(图 4a、b)可以看出,在旱期,西南绝

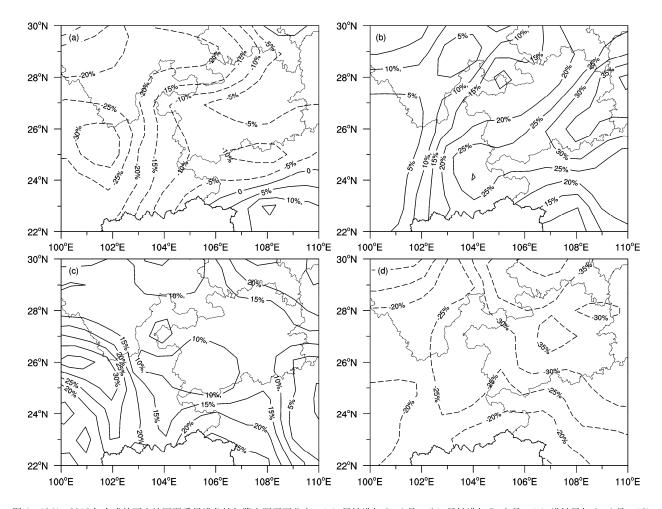


图 4 1961~2015 年合成的西南地区夏季旱涝急转年降水距平百分率: (a) 旱转涝年 5~6 月; (b) 旱转涝年 7~8 月; (c) 涝转旱年 5~6 月; (d) 涝转旱年 7~8 月

Fig. 4 Composites of percentages of precipitation anomalies in typical abrupt drought-flood alternation years in Southwest China during 1961–2015: (a) May to June in drought to flood years; (b) July to August in drought to flood years; (c) May to June in flood to drought years; (d) July to August in flood to drought years

大部分地区的同期降水偏少 10%以上,偏少 20%的地区几乎占到一半,特别是云南省北部降水偏少30%以上,总体呈现出全区整体降水偏少的情况;到了涝期,西南降水则表现为整体偏多,贵州、重庆和云南东部降水偏少 25%以上。从涝转旱年合成图(图 4c、d)来看,选取的异常年亦能够反映出该地区降水由涝期偏多到旱期偏少的情况,涝转旱年涝期,云南省东北部降水明显偏多;而到了旱期,贵州、重庆、广西北部地区降水偏少 30%以上。

4 西南夏季旱涝急转期间的大气环 流异常特征

西南地区夏季旱涝急转事件的发生与其同期的大气环流形势持续异常有直接关系。下面将从中高纬度环流、西太平洋副热带高压、西风带环流、

垂直运动以及水汽输送等几个方面对西南地区夏季旱涝急转期间的大气环流异常特征进行分析讨论。

4.1 500 hPa 高度场

首先对比西南地区旱转涝年前期和涝转旱年前期。在旱转涝年前期(旱期,图 5a),中高纬 500 hPa 高度距平场呈带状分布,且为负值区,中高纬度环流的纬向运动较强,西太平洋副高位置偏西、强度偏强,面积偏大,南海及西太平洋的水汽不易到达我国西南地区,不利于降水产生;而在涝转旱年前期(涝期,图 5c)时,对流层中层环流形势与旱转涝年前期相反,乌拉尔山及附近地区存在大范围负距平区,西伯利亚—蒙古和我国东北地区为大范围正距平区,槽脊明显,中高纬环流的经向运动偏强,副高较旱转涝年前期偏东,西南地区位于副

高西北侧,有利于南海及西太平洋的水汽与中高纬冷空气在西南地区交汇,降水增多。

在旱转涝年后期和涝转旱年后期,中高纬环流形势与前期正好相反。在旱转涝年后期(涝期,图5b),环流的经向运动较强,乌拉尔山东侧的槽加深,东亚沿岸脊加强,有利于中高纬冷空气南下;而其前期(旱期),纬向运动较强,且为带状负距平区。在涝转旱年后期(旱期,图5d),西太平洋副高比旱转涝年后期,位置偏东、强度偏弱。当西太平洋副高异常偏西偏强或偏东偏弱时,南海及西

太平洋的水汽不易到达我国西南地区,均不利于西南地区降水。

4.2 200 hPa 纬向风场

中高纬冷空气活动是影响西南地区夏季旱涝 的重要因素,西风带中冷空气的强弱及其南下对我 国西南地区的降水将产生直接影响。下面对旱涝急 转时西风带环流特征进行分析。

图 6 为夏季旱涝急转典型年 200 hPa 合成纬向 风场差值图。可以看出,5~6 月(图 6a)中高纬的 高空西风带强度偏强,蒙古和贝加尔湖附近为大范

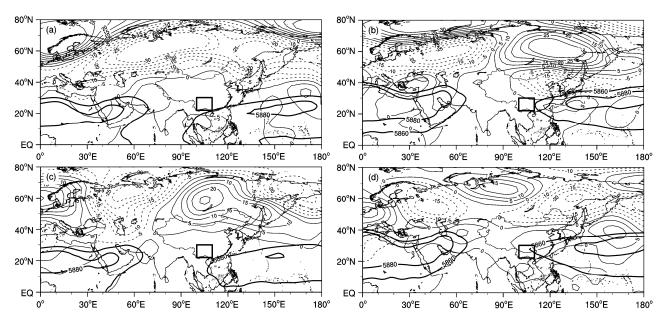


图 5 1961~2015 年合成的夏季旱涝急转年 500 hPa 位势高度距平场(单位: gpm, 加粗线为 5860 gpm 位势高度等值线和 5880 gpm 位势高度等值线): (a) 旱转涝年 5~6 月; (b) 旱转涝年 7~8 月; (c) 涝转旱年 5~6 月; (d) 涝转旱年 7~8 月。矩形框区为中国西南地区,下同

Fig. 5 Composites of 500-hPa geopotential height anomalies (units: gpm, thick contours: 5860 gpm geopotential height and 5880 gpm geopotential height) in summer in typical abrupt drought–flood alternation years during 1961–2015: (a) May to June in drought to flood years; (b) July to August in drought to flood years; (c) May to June in flood to drought years; (d) July to August in flood to drought years. Rectangles indicate Southwest China, the same below

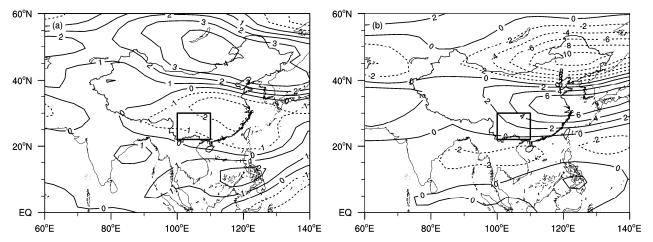


图 6 1961~2015 年合成的夏季旱涝急转年 200 hPa 纬向风差值场(旱转涝年减去涝转旱年,单位: m s⁻¹): (a) 5~6 月; (b) 7~8 月 Fig. 6 Composite differences (units: m s⁻¹) of 200-hPa zonal wind between typical abrupt drought-flood and flood-drought alternation years during 1961–2015: (a) May to June; (b) July to August

围正差值区,因此在旱期,中高纬西风带形势不利于冷空气南下;到了7~8月(图6b),中高纬西风带呈带状负值区,表明涝期时高空西风带强度偏弱,冷空气经向活动较强,有利于其南下并且影响我国西南地区产生降水。

4.3 700 hPa 垂直速度场

从夏季旱涝急转年700 hPa 垂直速度差值场来看,5~6月(图7a)西南地区为正差值区控制,盛行下沉气流。因此,旱转涝年旱期比涝转旱年涝期,西南地区下沉运动较强,不易产生降水;7~8月(图

7b)则相反,西南地区为负差值区控制,上升运动较强,表明旱转涝年涝期比涝转旱年旱期,西南地区盛行上升气流,有利于降水增多。

4.4 水汽输送场

水汽输送是水分循环的重要环节,来自孟加拉湾、南海、西太平洋的水汽都将直接影响我国西南地区夏季的旱涝情况。因此,为了更深入了解该地区旱涝急转的发生机理,下面对西南地区夏季旱涝急转年的水汽输送情况进行研究。

图 8 为西南地区夏季旱涝急转年东亚地区整层

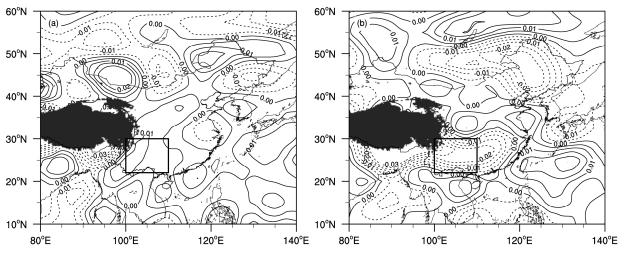


图 7 1961~2015 年合成的夏季旱涝急转年 700 hPa 垂直速度差值(旱转涝年减去涝转旱年,单位: Pa s^{-1})场: (a) 5~6 月; (b) 7~8 月。黑色阴区影表示地形,下同

Fig. 7 Composite differences (units: Pa s⁻¹) of 700-hPa vertical velocity between typical abrupt drought–flood and flood–drought alternation years during 1961–2015: (a) May to June; (b) July to August. The black shaded areas represent topography, the same below

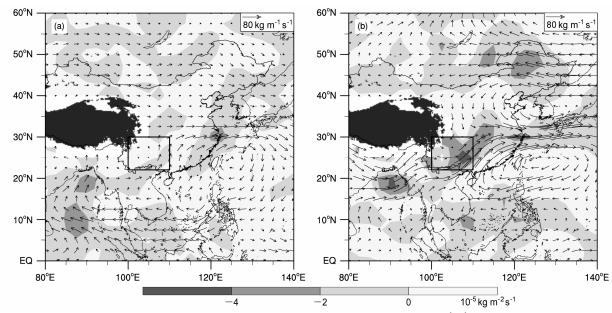


图 8 1961~2015 年合成的旱涝急转年整层水汽通量差值场(旱转涝年减去涝转旱年,箭头,单位: kg m $^{-1}$ s $^{-1}$): (a) 5~6 月; (b) 7~8 月。阴影区域为水汽通量散度负值区,单位: 10^{-5} kg m $^{-2}$ s $^{-1}$

Fig. 8 Composite differences of water vapor fluxes (arrows, units: kg m $^{-1}$ s $^{-1}$) for the whole layer between typical abrupt drought–flood and flood–drought alternation years during 1961–2015: (a) May to June; (b) July to August. Shaded areas indicate negative water vapor flux divergence, units: 10^{-5} kg m $^{-2}$ s $^{-1}$

水汽通量矢量合成差值图(旱转涝年减去涝转旱年)。可以看出,5~6月(图 8a)西南地区整层水汽通量差值较小,南海及西太平洋地区水汽输送差值为偏西方向,表明来自南海和西太平洋的水汽偏弱,孟加拉湾及中南半岛南部存在大范围向西的水汽输送,由西南方向到达我国西南地区的水汽明显减少,且西南大部分地区处于水汽输送辐散区,不利于降水;7~8月(图 8b)则相反,南海及附近西太平洋为偏东南水汽输送,孟加拉湾经中南半岛北部到达我国西南地区的水汽明显增多,西南地区亦位于水汽输送辐合区,有利于降水偏多。

5 结论与讨论

利用 1961~2015 年中国 567 站逐日降水资料和 NCEP/NCAR 再分析资料,研究我国西南地区夏季长周期旱涝急转的特征及其相联系的大气环流和水汽输送异常特征,主要结论如下:

- (1)本文定义了西南地区夏季长周期旱涝急转指数,并在此基础上分析了近 50 年来西南地区夏季长周期旱涝急转的特征。1961~1970年夏季旱转涝多于涝转旱,1971~1980年夏季涝转旱年较多,1981~2000年旱转涝与涝转旱年相当,21世纪初以来,指数又呈现出负值的趋势,涝转旱年偏多。
- (2)对大气环流异常特征的合成分析表明,在 西南地区夏季旱转涝年的旱期,西太平洋副高偏 西、偏强,中高纬环流纬向运动较强,高空西风带 偏强,冷空气不易南下,垂直场上表现为下沉运动, 不利于西南地区降水;而旱转涝年的涝期,中高纬 环流的经向运动增强,乌拉尔山以东的槽加深,东 亚沿岸脊加强,西风带偏弱,在垂直场上表现为上 升运动,有利于西南地区降水增多。涝转旱年,大 气环流情况相反。
- (3)在西南地区夏季旱涝急转的旱期,来自孟加拉湾和南海的水汽输送异常偏弱,该地区亦处于水汽辐散区,不利于降水产生;在旱涝急转的涝期,自孟加拉湾经中南半岛北部到达我国西南地区的水汽明显增多,南海及附近西太平洋为偏东南水汽输送,来自东南和西南两个方向的水汽均向西南地区输送,造成西南地区降水偏多。

本文研究了我国西南地区较长周期(时间尺度 为 2 个月)的旱涝急转,即 5~6 月份旱(涝)转 7~ 8 月份涝(旱),对该现象的定义、演变规律及环流 和水汽输送特征进行了探究,得到一些有意义的结 果。此外,利用国家气候中心提供的 88 项大气环流指数与西南区域降水指数进行相关分析后发现,西南夏季降水异常与亚洲区极涡面积、东亚槽强度、大西洋欧洲区极涡面积以及北大西洋—欧洲环流 C 型指数等存在显著的相关关系。由于文章篇幅所限,本文就不做过多讨论,相关内容将在另一篇文章中具体分析。本文同时也发现,在 2 个月时间尺度上,西南地区在 1971~2000 年期间夏季旱涝急转程度较强,而自 21 世纪初以来旱涝急转程度略有减弱。这也许暗示着西南地区旱涝急转的时间尺度可能由长周期(2 个月)向较短周期的转变,同时大气环流等影响因子也可能存在变化,这些问题将在今后的工作中进一步研究。

参考文献 (References)

白莹莹, 高阳华, 张焱, 等. 2010. 气候变化对重庆高温和旱涝灾害的影响 [J]. 气象, 36 (9): 47–54. Bai Yingying, Gao Yanghua, Zhang Yan, et al. 2010. Impact of climate changes on high-temperature, drought and flood disasters of Chongqing [J]. Meteor. Mon. (in Chinese), 36 (9): 47–54, doi:10.7519/j.issn.1000-0526.2010.9.008.

鲍媛媛, 康志明, 金荣花, 等. 2007. 川渝地区夏季旱涝与海温异常浅析 [J]. 气象, 33 (5): 89–93. Bao Yuanyuan, Kang Zhiming, Jin Ronghua, et al. 2007. Analysis of floods and droughts in Chongqing and East Sichuan [J]. Meteor. Mon. (in Chinese), 33 (5): 89–93, doi:10.3969/j.issn.1000-0526.2007.05.013.

陈兴芳, 赵振国. 2000. 中国汛期降水预测研究及应用 [M]. 北京: 气象出版社. Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. 2000. The Research and Application of Precipitation Forecast in Flood Season in China (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.

Dai A G, Trenberth K E, Karl T R. 1988. Global variations in droughts and wet spells: 1900–1995 [J]. Geophys. Res. Lett., 25 (17): 3367–3370, doi:10.1029/98GL52511.

封国林, 杨涵洧, 张世轩, 等. 2012. 2011 年春末夏初长江中下游地区早 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 of 2011 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (5): 1009–1026, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2012.11220.

冯水志, 罗德富. 1995. 西南地区洪涝灾害区划 [J]. 山地研究, 13 (4): 255–260. Feng Shuizhi, Luo Defu. 1995. Division of flood-waterlogging hazard in Southwest China [J]. Mountain Res. (in Chinese), 13 (4): 255–260.

黄荣辉, 刘永, 王林, 等. 2012. 2009 年秋至 2010 年春我国西南地区严重 干旱的成因分析 [J]. 大气科学, 36 (3): 443-457. Huang Ronghui, Liu Yong, Wang Lin, et al. 2012. Analyses of the causes of severe drought occurring in Southwest China from the fall of 2009 to the spring of 2010 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (3): 443-457, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11101.

- 蔣兴文,李跃清,李春,等. 2007. 四川盆地夏季水汽输送特征及其对早 涝的影响 [J]. 高原气象, 26 (3): 476–484. Jiang Xingwen, Li Yueqing, Li Chun, et al. 2007. Characteristics of summer water vapor transportation in Sichuan Basin and its relationship with regional drought and flood [J]. Plateau Meteor. (in Chinese), 26 (3): 476–484, doi:10.3321/j.issn:1000-0534 2007 03 006
- Ju J H, Lü J M, Cao J, et al. 2005. Possible impacts of the arctic oscillation on the interdecadal variation of summer monsoon rainfall in East Asia [J]. Adv. Atmos. Sci., 2005, 22 (1): 39–48, doi:10.1007/BF02930868.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77 (3): 437–471, doi:10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2.
- Karl T R, Knight R W, Plummer N. 1995. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century [J]. Nature, 377 (6546): 217–220, doi:10.1038/377217a0.
- 李明. 2013. 2011 年春夏季节长江中下游旱涝急转成因分析 [D]. 中国气象科学研究院硕士学位论文. Li Ming. 2013. The causes of abruptly drought—flooding turn in the mid—lower reaches of Yangtze River during spring to summer in 2011 [D]. M. S. thesis (in Chinese), Chinese Academy of Meteorological Sciences.
- 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气环流异常 [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 Meteor. Sinica (in Chinese), 67 (1): 122–132, doi:10.3321/j.issn:0577-6619.2009.01.013.
- 李永华,徐海明,高阳华,等. 2010. 西南地区东部夏季早涝的水汽输送特征 [J]. 气象学报, 68 (6): 932–943. Li Yonghua, Xu Haiming, Gao Yanghua, et al. 2010. The characteristics of moisture transport associated with drought/flood in summer over the east of the southwestern China [J]. Acta Meteor. Sinica (in Chinese), 68 (6): 932–943, doi:10.11676/gxxb2010.088.
- 李永华, 卢楚翰, 徐海明, 等. 2011. 夏季青藏高原大气热源与西南地区东部旱涝的关系 [J]. 大气科学, 35 (3): 422–434. Li Yonghua, Lu Chuhan, Xu Haiming, et al. 2011. Contemporaneous relationships between summer atmospheric heat source over the Tibetan Plateau and drought/flood in eastern Southwest China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (3): 422–434, doi:1006-9895.2011.03.04.
- 李永华,向波,卢楚翰,等. 2016. 热带大气季节内振荡对西南地区东部夏季降水的影响及其可能机制 [J]. 大气科学, 40 (2): 437–450. Li Yonghua, Xiang Bo, Lu Chuhan, et al. 2016. Impact of Madden-Julian Oscillation activities on precipitation in summer over the east of Southwest China and its possible mechanism [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 40 (2): 437–450, doi:10.3878/j.issn. 1006-9895.1506.15134.
- 李跃清. 2003. 青藏高原地面加热及上空环流场与东侧旱涝预测的关系 [J]. 大气科学, 27 (1): 107–114. Li Yueqing. 2003. Surface heating in the Tibetan Plateau and general circulation over it and their relations with the prediction of drought–flood at its eastern side [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (1): 107–114, doi:10.3878/j.issn. 1006-9895.2003.01.10.
- 李韵婕, 任福民, 李忆平, 等. 2014. 1960-2010 年中国西南地区区域性气

- 象干早事件的特征分析 [J]. 气象学报, 72 (2): 266–276. Li Yunjie, Ren Fuming, Li Yiping, et al. 2014. A study of the characteristics of the southwestern China regional meteorological drought events during 1960–2010 [J]. Acta Meteor. Sinica (in Chinese), 72 (2): 266–276, doi:10.11676/qxxb2014.026.
- 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 Jingbei, Zhang Qingyun, Bueh Cholaw. 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, doi:10.3969/j.issn.1006-9585.2007.03.026.
- 沈柏竹, 张世轩, 杨涵洧, 等. 2012. 2011 年春夏季长江中下游地区早涝 急转特征分析 [J]. 物理学报, 61 (10): 109202. Shen Baizhu, Zhang Shixuan, Yang Hanwei, et al. Analysis of characteristics of a sharp turn from drought to flood in the middle and lower reaches of the Yangtze River in spring and summer in 2011 [J]. Acta Phys. Sinica (in Chinese), 2012, 61 (10): 109202, doi:10.7498/aps.61.109202.
- 司东, 柳艳菊, 马丽娟, 等. 2012. 2011 年初夏我国长江中下游降水的气候特征及成因 [J]. 气象, 38 (5): 601–607. Si Dong, Liu Yanjiu, Ma Lijuan, et al. 2012. Climatic characteristics and cause analysis of precipitation over the middle and lower reaches of the Yangtze River valley during early summer of 2011 [J]. Meteor. Mon. (in Chinese), 38 (5): 601–607, doi:10.7519/j.issn.1000-0526.2012.5.011.
- 王斌,李跃清. 2010. 2010 年秋冬季西南地区严重干旱与南支槽关系分析 [J]. 高原山地气象研究, 30 (4): 26–35. Wang Bin, Li Yueqing. 2010. Relationship analysis between south branch trough and severe drought of Southwest China during autumn and winter 2009/2010 [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research (in Chinese), 30 (4): 26–35, doi:10.3969/j.issn.1674-2184.2010.04.004.
- 王林, 陈文. 2012. 近百年西南地区干旱的多时间尺度演变特征 [J]. 气象科技进展, 2 (4): 21–26. Wang Lin, Chen Wen. 2012. Characteristics of multi-timescale variabilities of the drought over last 100 years in Southwest China [J]. Adv. Meteor. Sci. Technol. (in Chinese), 2 (4): 21–26, doi:10.3969/j.issn.2095-1973.2012.04.003.
- 王艳姣, 闫峰. 2014. 1960–2010 年中国降水区域分异及年代际变化特征 [J]. 地理科学进展, 33 (10): 1354–1363. Wang Yanjiao, Yan Feng. 2014. Regional differentiation and decadal change of precipitation in China in 1960–2010 [J]. Progress in Geography (in Chinese), 33 (10): 1354–1363, doi:10.11820/dlkxjz.2014.10.007.
- 王遵娅, 丁一汇. 2008. 中国雨季的气候学特征 [J]. 大气科学, 32 (1): 1–13. Wang Zunya, Ding Yihui. 2008. Climatic characteristics of rainy seasons in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (1): 1–13, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2008.01.01.
- 吴志伟. 2006. 长江中下游夏季风降水"早涝并存、旱涝急转"现象的研究 [D]. 南京信息工程大学硕士学位论文, 5-6. Wu Zhiwei. 2006. Understanding the occurrence of droughts and floods during the summer monsoon rainy season in the middle and lower reaches of the Yangtze River valley [D]. M. S. thesis (in Chinese), Nanjing University of Information Science & Technology, 5-6.
- 吴志伟, 李建平, 何金海, 等. 2006. 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. 2006. Large-scale atmospheric singularities

and summer long-cycle droughts-floods abrupt alternation in the middle and lower reaches of the Yangtze River [J]. Chinese Science Bulletin, 51 (16): 2027–2034, doi:10.3321/j.issn:0023-074X.2006.14.016.

吴志伟, 李建平, 何金海, 等. 2007. 正常季风年华南夏季"旱涝并存、旱涝急转"之气候统计特征 [J]. 自然科学进展, 17 (12): 1665–1671. Wu Zhiwei, Li Jianping, He Jinhai, et al. 2007. The climate statistical characteristics about coexistence and sharp turn between flood and drought of rainfall in normal monsoon yearn over southern China in summer [J]. Progress in Natural Science (in Chinese), 17 (12): 1665–1671, doi:10.3321/j.issn:1002-008x.2007.12.009.

詹丰兴, 何金海, 章毅之, 等. 2015. 江南雨季地理区域及起止时间的客观确定 [J]. 海洋学报, 37 (6): 1-11. Zhan Fengxing, He Jinhai, Zhang

Yizhi, et al. 2015. The objective definition for the geographic region of Jiangnan rainy season and its onset and retreat date [J]. Haiyang Xuebao (in Chinese), 37 (6): 1–11, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2015.06.001.

张天宇, 唐红玉, 雷婷, 等. 2014. 重庆夏季旱涝急转与大气环流异常的 联系 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 36 (1): 79–87. Zhang Tianyu, Tang Hongyu, Lei Ting, et al. 2014. The relationship between summer drought–flood abrupt alternation in Chongqing and the anomalous of atmospheric circulation [J]. Journal of Yunnan University (in Chinese), 36 (1): 79–87, doi:10.7540/j.ynu.20130197.

赵振国. 1999. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社. Zhao Zhenguo. 1999. The Drought–Flood and Environmental Fields during Summer in China (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.