

# 川渝中部地区夏季强降水年代际变化研究

熊光明<sup>1</sup>, 胡德强<sup>2</sup>, 陈权亮<sup>3</sup>, 范广州<sup>3</sup>

(1. 中国人民解放军 96163 部队, 江西 乐平 333300; 2. 海南省气候中心, 海南 海口 570203; 3. 成都信息工程大学高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

**摘要:**为了解川渝中部地区夏季强降水的年代际变化特征,利用川渝地区 44 个站点降水资料、NCEP/NCAR 再分析资料和海表温度资料,借助百分位法、距平合成、相关分析等方法,讨论了川渝中部地区夏季强降水年代际变化特征及其与大气环流、海温异常之间的关系。结果表明:川渝夏季强降水在中部地区相对偏多,呈减少变化趋势,在东部地区和西部地区相对偏少,呈一定增加趋势。川渝中部地区夏季强降水存在明显的年代际变化特征,上升阶段主要是从 20 世纪 60 年代初至 70 年代末,80 年代变化较小,90 年代初往后是明显的下降阶段。在川渝中部地区夏季强降水偏多时期(1961~1976 年),贝加尔湖阻塞高压减弱,印度洋大部分海域、东太平洋部分海域、热带西太平洋部分海域和我国东南部海域海温异常偏低导致偏南气流增强,有利于南海和孟加拉湾水汽向川渝中部地区输送,气流呈显著的上升运动,大气可降水量异常偏多。在川渝中部地区夏季强降水偏少时期(1993~2007 年),大气环流和海温分布基本呈相反变化分布特征。

**关键词:**气候学;气候变化;川渝中部地区;夏季强降水;年代际变化;贝加尔湖;海温

## 0 引言

随着近年来全球气候变暖,川渝地区受特殊地形地貌和副热带季风气候的共同影响,洪涝、干旱、山体滑坡及泥石流等自然灾害频发,该区域的研究也一直备受重视,取得了很多有价值的研究成果,为区域建设和防灾减灾等方面提供了宝贵的意见建议。近 50 年来,四川盆地夏季降水呈减少趋势,尤其是 20 世纪 90 年代往后降水显著下降<sup>[1-4]</sup>,年均暴雨日数从西到东呈现“增-减-增”的总体变化趋势<sup>[5]</sup>。盆地汛期极端降水事件的发生频次分布与降水量分布差异较大,川西高原与盆地之间以及盆地东西部之间的反位相变化是川渝地区汛期极端降水时间发生频次最主要的两个空间异常模态,汛期西太平洋副高位置的南北变化、东亚以及南亚季风的强弱变化分别对四川盆地东部区、中部区以及西部区的极端强降水事件存在显著影响<sup>[6]</sup>。白莹莹等<sup>[7]</sup>研究发现,青藏高原夏季风指数、西太平洋副热带高压北界和脊线指数与盆地夏季降水的相关场表现为盆西和盆东反号分布,表明高原夏季风和西太平洋副高可能是盆地降水东西振荡分布的重要原因。马振锋等<sup>[8]</sup>提出四川盆地汛期降水主要存

在“东西振荡”,“一致分布”和“南北振荡”3 类分布型,并且针对这 3 类典型的降水分布型,得到川渝地区主汛期降水及其预测强信号的关系,从而建立预测川渝地区主汛期降水的一种物理统计模型,取得很好的预测效果。毛文书等<sup>[9-10]</sup>指出川渝地区夏季降水量时空分布不均匀,具有显著不同的年代际变化特征,对川渝夏季降水异常水汽输送差异诊断时认为,在川渝夏季降水多、少年的水汽输送通量的纬向、经向、整层输送水汽通量散度存在明显的差异。西南汛期降水变化与海温之间也有着密切联系。春季西太平洋暖池强度偏强或上年秋冬季青藏高原位势高度场偏高时,当年川渝地区主汛期降水表现为西多东少<sup>[8]</sup>。太平洋中高纬地区和赤道东太平洋海温与我国西南四川、贵州等地存在明显的季节变化遥相关<sup>[11]</sup>。印度洋海温变化在西南汛期降水异常分布中的信号现象,指明了特定的印度洋海温分布可以作为西南汛期旱涝预报的信号因子<sup>[12]</sup>。

通过回顾可以发现,过去关于川渝地区汛期降水做了大量研究。本文主要采用百分位法研究川渝地区强降水时空特征,重点对川渝中部地区强降水的年代际变化特征进行了讨论分析,指出了川渝中部地区夏季强降水与大气环流和海温异常均有密切的联系。

## 1 资料和方法

所使用的资料分别为:(1)1961~2007 年川渝地

收稿日期:2014-08-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41275079);国家公益性行业(气象)专项资助项目(GYHY201006023);四川省青年基金资助项目(2012JQ0062);高原大气与环境四川省重点实验室开放课题资助项目(PAEKL-2014-C7)

区 44 个站点逐月降水资料,包括四川 38 个站点,重庆 6 个站点;(2)月平均的 NCEP/NCAR 全球再分析资料,数据的空间分辨率为  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ ;(2)英国 Hadley 中心提供的逐月海表温度资料,数据的空间分辨率为  $1.0^{\circ}\times 1.0^{\circ}$ 。文中选取时间段为 1961 ~ 2007 年共 47 年,夏季为 6 ~ 8 月。

首先用百分位阈值法计算出川渝夏季强降水的发生频数,继而讨论中部地区夏季强降水的年代际变化特征,然后利用距平合成及相关分析等方法讨论了川渝中部地区夏季强降水与大气环流及海温异常分布之间的关系,发现它们之间在年代际尺度上有非常密切的联系。

2 川渝夏季强降水的时空变化特征

通过百分位阈值法对川渝夏季强降水频数的时空变化进行讨论分析,将降水超过 95% 的阈值的日数(阈值:日降水量达到 13.9mm),作为川渝地区强降水发生频数。图 1(a) 给出 1961 ~ 2007 年年平均川渝夏季强降水频数。可以看到,夏季强降水主要发生在川渝中部地区,对应大值中心位置( $103^{\circ}\text{E} \sim 104^{\circ}\text{E}, 29^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$ ),频数约在 16 次以上;川渝东部地区强降水发生相对较少,约在 10 次左右;川渝西部地区强降水发生最少,在 10 次以下。倾向率的空间分布能够很好地显示出强降水频数变化的总体特征,如图 1(b) 所示。可以看到,在空间分布上,由左至右为“正-负-正”的空间分布特征。川渝西部地区和东部地区强降水频数略有上升,约在 0.2 次/10a 左右,少数站点能达到 0.4 次/10a,而川渝中部地区倾向率呈明显的负变化,频数减少非常明显,倾向率最大高值中心达到 -1.0 次/10a,中部平均约在 -0.5 次/10a。总体来看,夏季强降水在川渝中部地区发生相对偏多,呈减少变化趋势,川渝东部地区和西部地区发生相对偏少,但呈一定增加趋势。因此,川渝中部地区夏季强降水变化应引起必要的重视,尤其近些年川渝干旱频发,对区域经济建设和人民的生产生活都产生了重要的影响,研究讨论该区域的强降水异常特征的影响机制显得非常必要。因此,下文将针对川渝中部地区夏季强降水异常变化特征做深入地诊断分析研究。

为了更好地研究川渝中部地区夏季强降水的时间变化特征,选取川渝中部地区的 8 个代表站点代表川渝中部地区强降水变化,站点分别是:都江堰、平武、绵阳、雅安、峨眉山、乐山、宜宾、泸州,经纬度范围为

$103^{\circ}\text{E} \sim 105.5^{\circ}\text{E}, 28^{\circ}\text{N} \sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 。川渝中部地区夏季强降水变化趋势见图 2。川渝中部地区夏季强降水频数总体均呈波动减少变化趋势,夏季年平均强降水事件约有 14 次,倾向率约为 -0.79 次/10a。结合 9a 滑动平均分析知道,川渝中部地区夏季强降水存在明显的年代际变化特征,明显的上升阶段主要是从 20 世纪 60 年代初至 70 年代末,整个 80 年代变化较小,90 年代初往后是明显的下降阶段,分析结果与图 1(b) 的结论基本相一致。

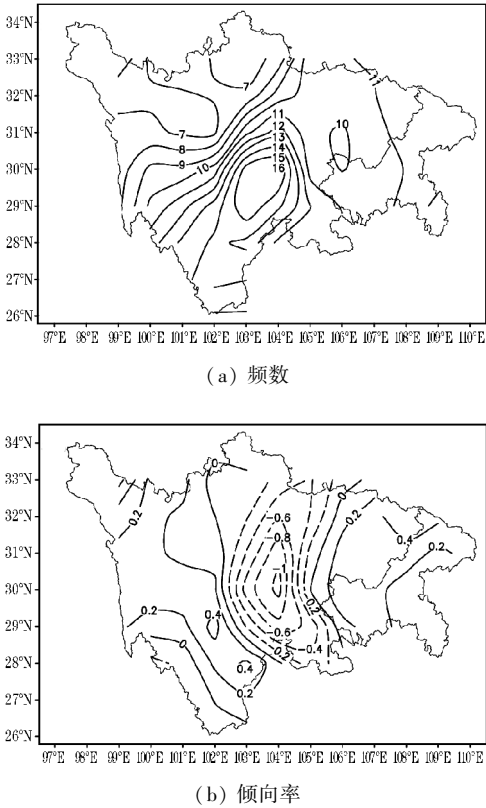


图 1 川渝夏季强降水频数及其倾向率的空间分布

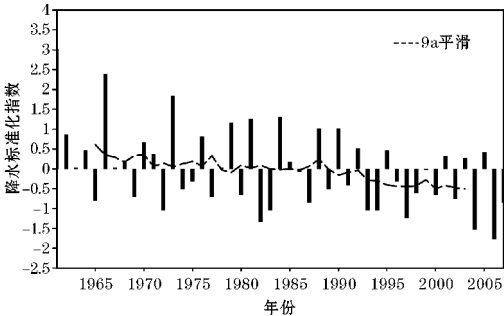


图 2 川渝中部地区夏季强降水的时间变化

根据川渝中部地区夏季强降水的年代际变化特征,将图 2 时间序列分为两个时期进行研究,1961 ~ 1976 年为强降水偏多时期,1993 ~ 2007 年为强降水偏少时期,从而深入讨论川渝中部地区夏季强降水在年代际上的异常变化特征及可能影响机理。图 3 给出偏

多时期和偏少时期强降水频数距平合成,很显然可以看出,在1961~1976年,川渝中部地区夏季强降水频数是明显偏多的,正的最大距平中心达到1.2次,在1993~2007年,川渝中部夏季强降水频数是明显偏少的,负的最大距平中心达到-1.8次。

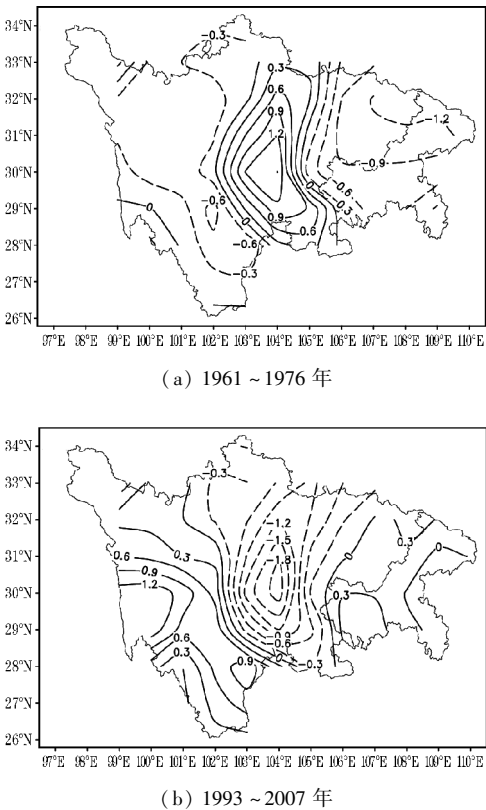


图3 1961~1976年和1993~2007年分段夏季强降水频数距平合成

### 3 川渝中部地区强降水环流异常特征分析

强降水形成与大气环流形势关系密切,为了深入分析川渝中部地区夏季强降水年代际异常的可能影响机理,将1961~1976年和1993~2007年分段夏季500 hPa位势高度场进行距平合成,见图4,可以看到,两个时期500 hPa位势高度场距平呈显著的相反变化分布,正、负距平中心位置基本一致,在贝加尔湖的西南侧。在1961~1976年,整个区域主要为负距平,显著的负距平中心值约为-30 gpm;在1993~2007年,整个区域主要为正距平,显著的正距平中心值约为24 gpm。由于两个时期在贝加尔湖西南侧位势高度有着显著差异性,根据经验,选取贝加尔湖区域80°E~120°E,40°N~55°N的500 hPa位势高度场做标准化距平,定义了贝加尔湖阻塞高压指数,将其与川渝中部地区夏季强降水频数对比分析(图5),可以看到贝加尔

湖阻塞高压指数整体呈上升趋势,正好与川渝中部地区夏季强降水频数呈相反变化特征,两者相关系数为-0.49,超过了0.01显著性信度检验,贝加尔湖阻塞高压是影响川渝中部地区夏季强降水的一个非常重要因子。当贝加尔湖出现阻塞时,西风带冷空气活动由于阻塞作用偏北偏东,很难与南部的暖湿空气汇合;而当贝加尔湖为低涡时,西风带冷空气活动偏南偏西,冷空气正好南下在中国西南地区与暖湿空气汇合,形成强降水过程。

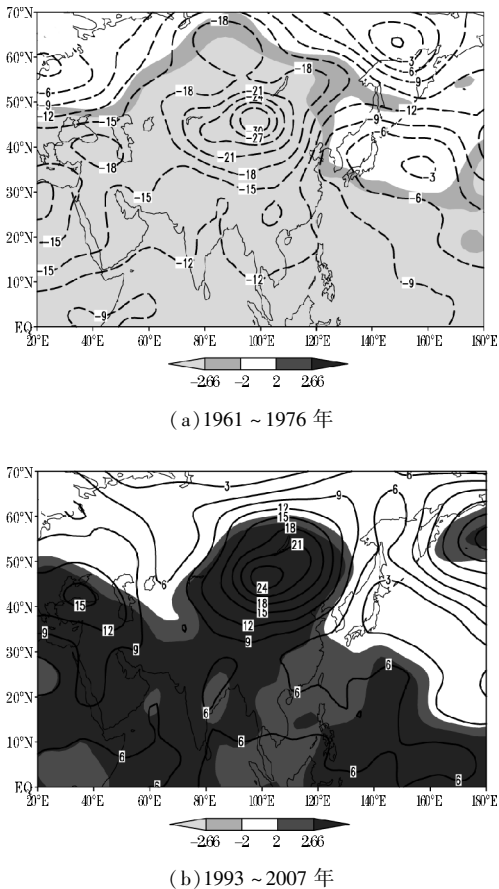


图4 1961~1976年和1993~2007年分段夏季500 hPa位势高度场距平合成(阴影区域分别表示位势高度场相关通过0.05和0.01信度水平检验区域)

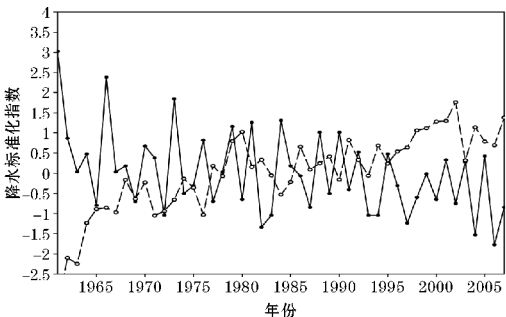
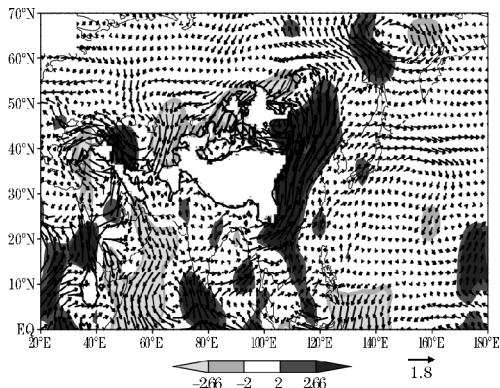
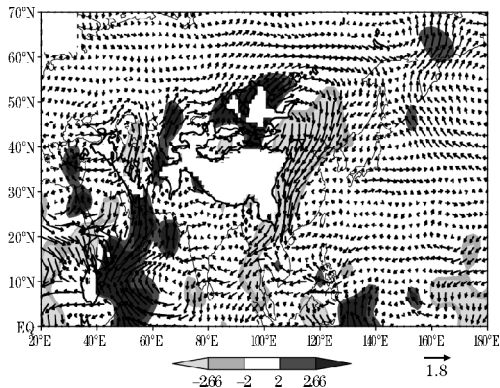


图5 川渝中部地区夏季强降水(实线)和贝加尔湖阻塞高压指数(虚线)的标准化距平

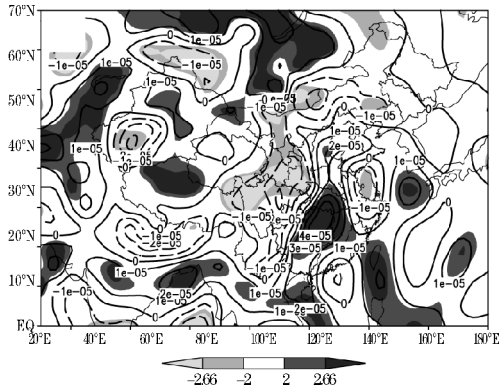




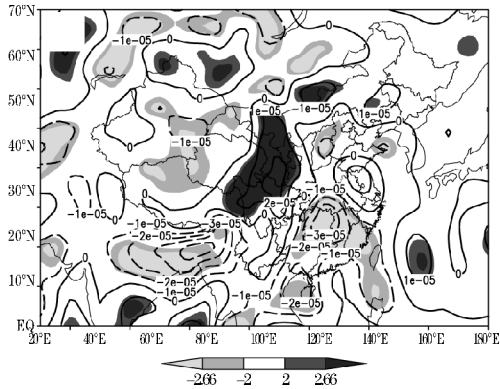
(a) 1961 ~ 1976 年风场距平合成



(b) 1993 ~ 2007 年风场距平合成



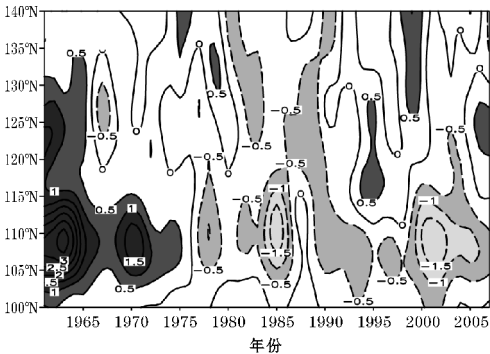
(c) 1961 ~ 1976 年水汽通量散度距平合成



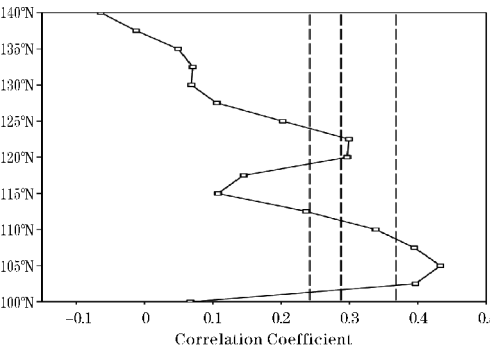
(d) 1993 ~ 2007 年水汽通量散度距平合成

图6 1961~1976年和1993~2007年分段夏季850 hPa风场及水汽通量散度距平合成(阴影区域分别表示位势高度场相关通过0.05和0.01信度水平检验区域)

强降水形成的首要条件就是要要有充沛的水汽,850 hPa风场能够很好地反映水汽的输送情况,四川盆地的水汽主要来自于孟加拉湾和南海海域<sup>[13]</sup>,图6(a)、6(b)分别给出1961~1976年和1993~2007年分段夏季850 hPa风场距平合成情况,两个时期的气流距平的方向特征正好相反。在1961~1976年,由孟加拉湾东部向北延伸至贝加尔湖东部为一狭长显著的偏南风距平,说明该时期偏南气流增强,偏北气流减弱,有利于水汽向四川盆地输送。在1993~2007年,狭长显著的气流带与图6(a)位置相同,但为偏北风距平,说明该时期偏南气流减弱,偏北气流增强,不利于水汽向四川盆地输送。水汽通量散度能够定量描述水汽输送的方向、大小以及水汽的聚集、辐散情况,被广泛应用于强降水的研究中。图6(c)和图6(d)分别给出1961~1976年和1993~2007年分段夏季水汽通量散度距平合成情况。很显然看到,在1961~1976年,四川盆地主要为负的水汽通量散度距平,中心大致位于川渝中北部地区,水汽向该地区聚集,水汽含量充沛,导致川渝中部地区该时期强降水频数异常偏多。在1993~2007年,四川盆地主要为正的水汽通量散度距平,中心大致位于川渝的中部,盆地北部更为显著,说明该地区水汽流失较多,水汽含量相对较少,导致川渝中部地区该时期强降水频数异常偏少。



(a) 时间-经度剖面图



(b) 夏季强降水与850 hPa 径向风的相关系数

图7 1951~2007年9 a 滑动平均的夏季850 hPa经向风距平时间-经度剖面图(阴影区表示经向风速距平绝对值大于0.5 m/s)和川渝中部地区夏季强降水与850 hPa经向风的相关系数(虚线分别表示通过0.10、0.05和0.01信度水平检验临界值)

前文分析知道川渝中部地区强降水与经向风之间有着非常密切的联系。偏南气流强,有利于水汽输送,强降水在川渝中部地区发生频数异常偏多,反之偏少。为了更加清楚地看到这两者之间的关系,图7给出1951~2007年9a滑动平均的夏季850 hPa经向风距平(20°N~30°N经向平均)时间-经度剖面 and 川渝中部地区夏季强降水与850 hPa经向风(20°N~30°N经向平均)的相关系数。从图7(a)可以看到,整个时间序列经向风正、负距平中心主要分布在102°E~115°E,范围包括川渝中部地区。在70年代中期前主要为正距平,在70年代中期往后主要为负距平,与图6(a)和图6(b)分析结果基本一致。21世纪初,经向风负距平非常明显,夏季偏南气流异常偏弱,水汽输送到川渝地区异常偏少,导致川渝夏季的连续性干旱灾害。韩兰英<sup>[14]</sup>利用西南60多年干旱灾情资料,分析了中国西南地区干旱灾情规律特点时指出,20世纪80年代中期以来,西南降水呈减小趋势,气温呈明显上升趋势,干旱灾情在21世纪初更为严重。从图7(b)分析知道,川渝中部地区夏季强降水与850 hPa经向风(20°N~30°N经向平均)的显著相关在102.5°E~107.5°E,超过0.01显著性信度检验,而川渝中部地区经度范围约在102°E~105°E,经向风分析对川渝中部地区夏季强降水预测有很好的指示意义。由于经向风与川渝中部地区强降水关系密切,采用Wu Aiming<sup>[15]</sup>定义方法,取20°N~30°N,110°E~130°E范围平均的850 hPa经向风速距平为东亚季风指数,计算东亚夏季风指数与川渝中部夏季强降水相关系数,超过0.10显著性信度检验。

## 4 川渝中部地区强降水海温异常特征分析

前文对川渝中部地区强降水的大气环流异常特征做了深入的讨论分析,而海温影响大气环流具有超前性,对海温的讨论有利于更加深入了解川渝中部强降水的影响机理。图8给出1961~1976年和1993~2007年分段夏季海温距平合成,不难看出,两个时期海温分布有着显著的差异性。由图8(a)看出,在1961~1976年,整个海域除北太平洋、南太平洋中部部分海域之外,主要为负距平分布并且较为分散,显著负距平主要分布在印度洋、东太平洋部分海域、热带西太平洋部分海域和中国东南部海域,最明显是在印度洋中东部海域,最大距平中心值在-0.4以上。由图8(b)知,1993~2007年,整个海域主要呈正距平分布并且也较为分散,显著的正距平主要分布在印度洋北部、中

东部海域、热带西太平洋部分海域、东太平洋部分海域和中国东南部海域。两个时期显著性差异主要集中在印度洋北部、中东部和热带西太平洋部分海域、中东太平洋部分海域和中国东南部海域,其他海域差异性也较为明显但较为分散。说明在年代际尺度上这些海域海温异常升高,其上空大气上升气压降低,海洋上空气压低而中国内陆上空气压高,形成由在低层气流由内陆吹向海洋,而在高层气流由海洋吹向内陆的大气环流系统,东亚夏季风明显减弱,导致川渝中部地区强降水频数较少,反之,则增多。图中反映出中、东太平洋海温分布在两个时期存在一定的差异性,很多研究也表明在厄尔尼诺(El Nino)年,东南夏季风减弱,中国夏季雨带偏南,江淮流域降水较多,而西南中部地区往东部延伸大部分地区干旱少雨,与本文的研究较为对应。近年来提出表征 ENSO 事件的一种指标,既 Multi-variate ENSO Index(混合 ENSO 指数),计算川渝中部地区强降水频数与 MEI 指数相关系数为-0.48,远远超过0.01的显著性信度检验,两者相关程度较好主要是在年际变化尺度上表现更为突出,从川渝中部地区夏季降水频数与海温的相关分布可以清楚看到,在中、东太平洋海域有显著的负相关分布,图略。

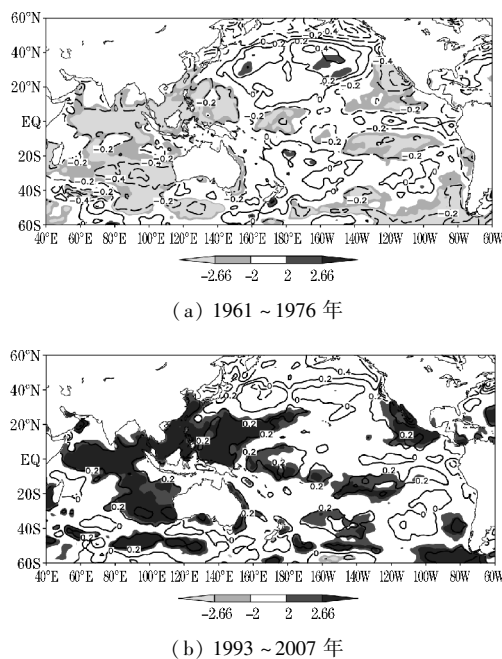


图8 1961~1976年和1993~2007年分段夏季海温距平合成(阴影区域分别表示位势高度场相关通过0.05和0.01信度水平检验区域)

## 5 结论

利用百分位法分析了川渝夏季强降水的空间分布及变化趋势,着重讨论了川渝中部地区夏季强降水的年代际变化特征,并系统地研究了两个时间段1961~

1976年和1993~2007年大气环流和海温异常分布特征,初步认识了川渝中部地区强降水的影响机理。得到以下主要结论:

(1)川渝夏季强降水在中部地区相对偏多,呈减少变化趋势,在东部地区和西部地区相对偏少,呈一定增加趋势。川渝中部地区夏季强降水存在明显的年代际变化特征,上升阶段主要是从20世纪60年代初至70年代末,80年代变化较小,90年代初往后是明显的下降阶段。

(2)在川渝中部地区夏季强降水偏多时期(1961~1976年),贝加尔湖阻塞高压减弱,偏南气流增强,有利于南海和孟加拉湾水汽向川渝中部地区输送,气流呈显著的上升运动,大气可降水量异常偏多,印度洋大部分海域、东太平洋部分海域、热带西太平洋部分海域和中国东南部海域海温异常偏低。

(3)在川渝中部地区夏季强降水偏少时期(1993~2007年),贝加尔湖阻塞高压增强,偏南气流减弱,不利于南海和孟加拉湾水汽向川渝中部地区输送,气流呈明显的下沉运动,大气可降水量异常偏少,印度洋大部分海域、东太平洋部分海域、热带西太平洋部分海域和我国东南部海域海温异常偏高。

## 参考文献:

- [1] 赵旋,李耀辉,齐冬梅. 1961~2007年四川夏季降水的时空变化特征[J]. 冰川冻土,2013, 35(4):959-967.
- [2] 陈超,庞艳梅,张玉芳. 近50年来四川盆地气候变化特征研究[J]. 西南大学学报,2010, 32(9):115-120.
- [3] 周长艳,李跃清,彭俊. 高原东侧川渝盆地降水与水资源特征及变化[J]. 西南大学学报,2006, 30(6):1217-1226.
- [4] 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,2012, 48(4):45-52.
- [5] 周长艳,岑思弦,李跃清,等. 四川省近50年降水的变化特征及影响[J]. 地理学报,2011, 66(5):619-630.
- [6] 胡豪然,毛晓亮,梁玲. 近50年四川盆地汛期极端降水事件的时空演变[J]. 地理学报,2009, 64(3):278-288.
- [7] 白莹莹,张焱,高阳华,等. 四川盆地降水变化的区域差异[J]. 地理科学,2011,31(4):478-484.
- [8] 马振锋,谭友邦. 预测川渝地区汛期降水量的一

种物理统计模型[J]. 大气科学,2004, 28(1): 138-145.

- [9] 毛文书,曾戢,孙云,等. 川渝地区夏季降水变化气候特征分析[J]. 成都信息工程学院学报,2010, 25(2):172-181.
- [10] 毛文书,朱克云,黄可蔚,等. 川渝地区夏季降水异常水汽输送差异[J]. 自然资源学报,2010, 25(2):280-290.
- [11] 唐佑民,瞿武全,许金洪. 我国西南地区夏季降水异常与太平洋海温季节演变的关系[J]. 海洋与湖沼,1997, 28(1):88-95.
- [12] 姜红明,肖子牛. 中国西南汛期降水的振动和分布及其与印度洋海温异常的关系[J]. 气象科学,2001, 21(1):54-63.
- [13] 蒋兴文,李跃清,李春,等. 四川盆地夏季水汽输送特征及其对旱涝的影响[J]. 高原气象,2007, 26(3):476-484.
- [14] 韩兰英,张强,姚玉碧等. 近60年中国西南地区干旱灾害规律与成因[J]. 地理学报,2014, 69(5):632-639.
- [15] Wu Aiming, Ni Yunqi. The influence of Tibetan Plateau on the interannual variability of Asian monsoon[J]. Adv Atmos Sci,1997,4(4):491-504.