

文章编号: 2096-1618(2016)01-0094-08

四川地区强降水的时空分布特征

赵衍斌^{1,2}, 肖天贵¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 重庆市渝北区气象局, 重庆 401120)

摘要:为研究四川地区强降水特征,利用1966~2013年的逐日降水资料给出四川地区强降水的定义,并利用统计学方法分别对强降水次数和强度的时空特征进行分析,结果表明:四川盆地地区较其它地区强降水事件次数偏多,强度偏强,强降水主要发生在夏季,与夏季降水相关性最好,其次是秋季和春季,和冬季降水的相关性最差。四川地区强降水事件次数空间表现为第一模态盆地正异常,周边负异常;第二模态为盆地负异常,周边正异常;第三模态为南北反向型,四川地区强降水强度则分别表现为第一模态盆地负异常,周边正异常;第二模态全区基本一致;第三模态自北向南呈现“-+-”。强降水事件最集中的时间段为6~9月,强中心位于8月。强降水事件集中发生的年份有明显的2~4年的年际变化。为四川地区强降水的相关预测预报提供气候背景。

关键词:大气科学;气候变化;四川地区;强降水;时空分布

中图分类号:P467

文献标志码:A

0 引言

强降水天气已经成为中国西部地区诱发自然灾害的重要因素,近几年西南地区连续的发生地震灾害,配合一些极端的强降水天气造成诸多了不利影响。对地形多变的四川地区来说,极端强降水事件不能用全国统一固定的标准简单定义,例如在降水较少的川西高原地区,强度达到小雨事件就可以认为是极端强降水事件,但是在四川盆地和丘陵地区,中雨事件是一件很普通的降水事件,因此近年来国际上最多见的是根据不同台站日降水的气候特征,采用某个百分位值作为极端值的阈值,如果超过这个阈值的值被认为是极值,该事件可以认为是极端事件,Klein^[1],Karl^[2],Brunetti^[3],Haylock等^[4]先后用该方法定义极端降水阈值,进而分别对欧洲,美国,意大利以及澳大利亚的极端强降水做了研究,随着时间的推移,全球气候变暖的情况下^[5],近些年极端强降水事件越来越受到大家的重视,同时研究的学者也越来越多,张顺谦^[6]分析了7个区域5个指数的变化趋势、周期性特点和突变特征,以及不同地区的重现期降水极值和洪灾损失风险的特征。北半球中高纬度陆地极端强降水事件在最近的50年期间明显增多^[7],四川地区的极端降水值、强度以及频数都在增多^[8]。胡豪然等^[9]研究过四川盆地汛期极端降水事件的时空演变,说明研究四川强降水

的重要性。已有研究表明,20世纪60年代以来中国极端气候事件频率和强度发生一定变化,而且经研究表明不同类型和不同区域极端气候变化存在明显差异^[10]。盛杰等^[11]通过使用高时间分辨率的分钟级雨量资料并结合雷达回波分析了3次强降水过程,研究发现强降水的预报难度较大,基于其突发性,短时效,降水率大。陆虹^[12]分析结果表明华南强降水频次除中部有较小趋势,其他大部分地区都呈现递增的趋势。湛芸等^[13]研究表明青藏高原强降水受地形影响较为明显,强降水的日数和站数具有年代际变化特征,在近几年的时间里,区域性的强降水有增加的趋势。国外学者研究了许多基于温室气体浓度加倍情况下对未来气候变化的模拟结果都发现,虽然极端降水事件有较强的区域性差异,但各地区降水的的气候态均有向极端化方向发展的趋势,整体上看,中国降水极端化的趋势也与全球的态势基本一致。综上所述对于四川地区强降水气候特征的研究是非常重要的。

通过回顾可以发现,过去主要研究四川地区强降水发生次数时空分布特征,在此基础上给出强降水强度的定义,进一步分析强降水特征,与此同时,还分析强降水与季节降水相关性的特征,从而进一步加深对于四川地区强降水时空特征的认识。

1 资料

四川地区141个观测站1966~2013年逐日降水资料,图1所示为四川地区141个观测站点分布,利用该降水资料分析四川地区强降水的时空变化特征。

收稿日期:2015-04-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(91337215);国家重点基础研究发展计划973资助项目(2012CB417202,2013CB733206);四川省科技资助项目(2013JY0063)

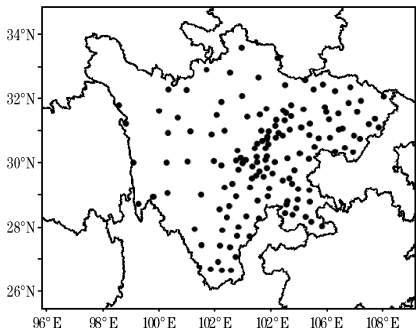


图 1 四川地区 141 个观测站点分布

2 方法

中国最早利用这种方法计算强降水阈值的是翟盘茂^[14],他利用百分位法确定极端降水阈值并研究中国极端强降水事件。由于四川地区地形复杂,不同地区强降水的频数和强度有显著的差异,故文中根据每一个测站的日降水量定义不同地区不同台站强降水事件的阈值,具体做法为:把 1966 ~ 2013 年逐日降水资料(降水量不为 0)从小到大排序,取第 95 个百分位值的降水量定义某站为强降水事件的阈值,当某站某日发生日降水量超过了该站强降水事件的阈值时,就称该日出现了极端降水事件,利用上述方法主要从两个方面对于四川地区强降水事件进行研究分析,第一个方面为强降水事件的频数,第二个方面为强降水的强度。

$$S=\frac{\sum_{i=1}^t sr_i}{t \cdot 10} \quad (i=1,2,3,\cdots,t)$$

其中 S 代表强降水强度, t 代表某年强降水事件的次数, sr 代表该年强降水逐日降水量。根据强降水事件次数,对强降水强度给出定义,对于强降水强度分析有助于进一步了解四川地区强降水特征。

利用 1966 ~ 2013 年 48 年四川地区的逐日降水资料,利用统计方法对该地区强降水的时空变化进行分析,通过一元线性回归和相关性分析该地区年际强降水的变化和季节内变化特征;利用 REOF 方法分析四川地区强降水的空间模态分布特征。

3 四川地区强降水空间分布特征

3.1 四川地区年均强降水空间分布特征

不同地区强降水的定义标准有明显的差异,通过对于四川地区 1966 ~ 2013 年的 141 个气象观测站的

逐日降水资料分析发现(图 2),四川地区强降水阈值存在明显的区域性,主要表现为西小东大,自西向东逐渐增大,川西高原的阈值普遍偏低,在 20 mm 以下,四川盆地以及盆地以东地区阈值普遍较高,大部分地区在 25 mm 以上,不同地区的强降水阈值差异明显,阈值最大差值可以达到 20 mm,主要受到四川地区西高东低的特殊地形影响。四川盆地及以东地区主要存在 3 个阈值的大值中心,强降水阈值均可达到 36 mm 以上,分别位于绵阳、德阳一带,成都、雅安一带以及西昌、攀枝花一带;川西高原主要存在一个阈值的小值中心,强降水阈值小于 14 mm,位于马尔康东部与绵阳、德阳交界处。

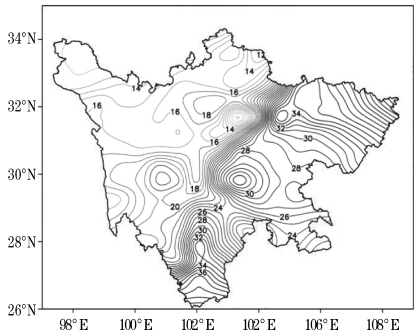
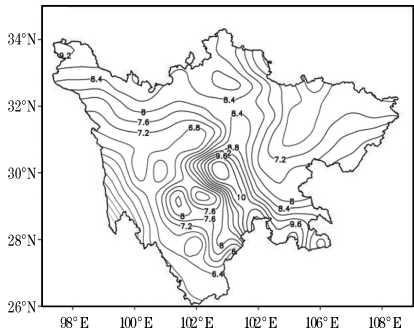
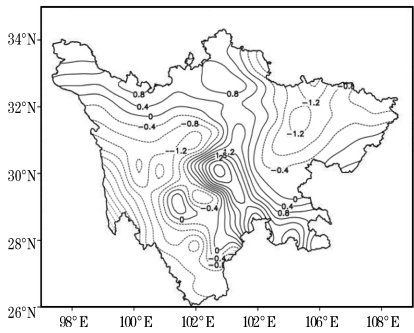


图 2 四川地区强降水阈值空间分布(单位:mm)



(a) 空间分布



(b) 距平

图 3 四川地区年平均强降水事件次数空间分布和距平

图 3 为四川地区强降水事件发生次数的空间分布特征,从图 3(a)可知,整体呈现出四川盆地强降水次数偏多,盆地周边强降水次数偏少,这说明四川盆地是强降水事件发生的关键区,多次强降水事件在四川盆地发生,其年平均强降水事件可以达到 10 次以上,值得引起重视,四川地区每年发生强降水事件次数大部分集中在 7~8 次,在四川东北部的绵阳、广元一带以及四川西南部地区强降水事件发生频数较小,大部分地区小于 7 次。图 3(b)为四川地区强降水事件次数的距平,同图 3(a)分布相似,盆地为正值区域中心,盆地周围大体为负值区域,说明盆地较易发生强降水事件,四川的西南部和东北部不易发生强降水事件。空间分布趋势和之前所得到的结论存在一致性^[6]。

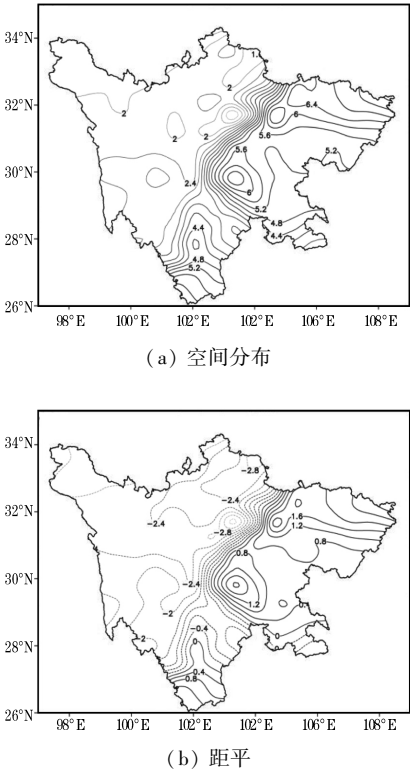


图 4 四川地区强降水强度空间分布和距平

图 4 为四川地区强降水强度的空间分布特征,相比四川地区强降水事件次数空间分布,强降水强度空间分布存在显著差异,如图 4(a)所示,主要表现为自西向东强降水强度逐渐增大的趋势,川西高原海拔较高,强降水强度较弱,而海拔较低的川东平原则强降水强度较强,强降水强度分布与四川地区西高东低的地形存在一致性。四川盆地普遍大于 $5\text{ mm}\cdot 10^{-1}\cdot \text{d}^{-1}$,存在两个强度高值中心分别位于绵阳和成都雅安一带,强度可达 $6\text{ mm}\cdot 10^{-1}\cdot \text{d}^{-1}$;川西高原强度低值中心位于马尔康县东部,部分地区强度在 $2\text{ mm}\cdot 10^{-1}\cdot \text{d}^{-1}$ 以下。图 4(b)为强降水强度的距平分布,呈现西负东正的形势,说明四川地区强降水强度西弱东强。

3.2 四川地区强降水的 REOF 分析

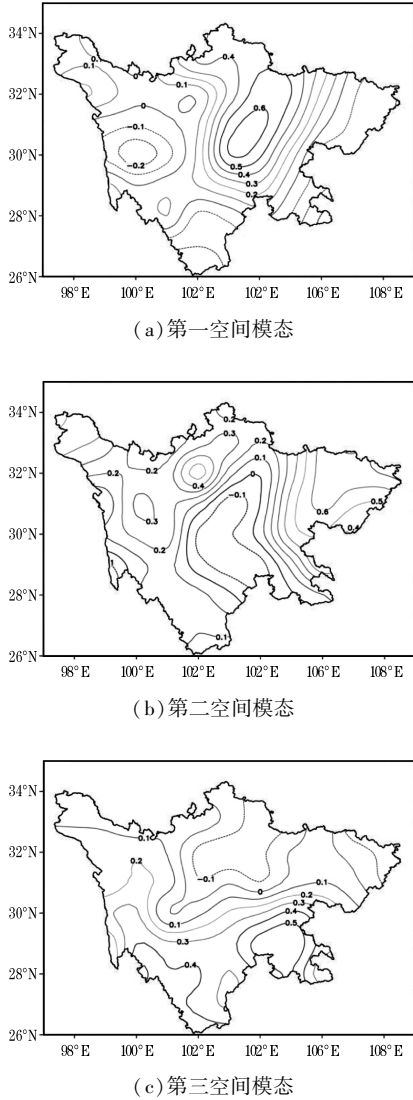


图 5 四川地区强降水事件次数的 REOF 分析的前 3 个模态空间型

图 5 为四川地区强降水事件次数的前 3 个空间模态分布,图 5(a)为第一空间模态,方差贡献率为 12.5%,其分布特征为成都,绵阳,德阳一带平原地区表现为正异常,川西高原和四川盆地东侧则表现为负异常,有明显的正负异常区域,表现了高原和平原强降水事件发生次数的差异。

图 5(b)为第二空间模态,方差贡献率为 10.8%,其分布特征为与第一模态近乎相反,在盆地一带表现为负异常区域,在高原地区表现为正异常区域,同样存在明显的正负异常中心。

图 5(c)为第三空间模态,方差贡献率为 8.6%,其分布特征呈现一个西南-东北方向的“+”偶极子分布。0 等值线主要分布在马尔康县一带以及川东地区,正异常出现在康定县以及 30°N 以南地区,负异常区在 30°N 以北的大部分地区。

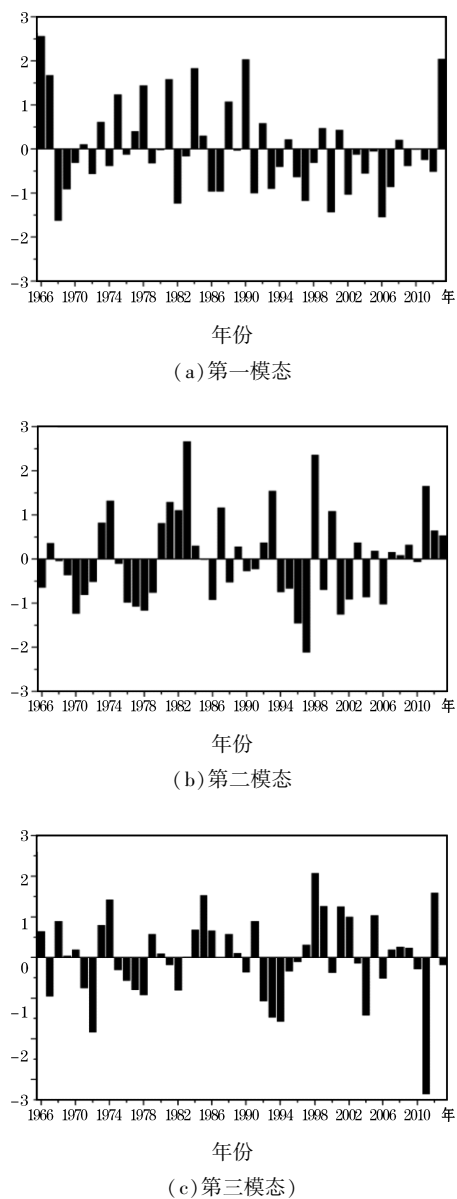


图 6 四川地区强降水事件次数对应的时间系数序列

图 6 为四川地区强降水事件次数对应的时间系数,图 6(a)为第一空间模态对应的时间系数,1966 ~ 2013 年存在明显的年际变化,20 世纪 90 年代以前存在 1973、1975、1978、1981、1984、1988、1990 年时间系数较高,80 年代以后在 1982、1986、1987、1991、1993、1997、2000、2002、2006 年时间系数较低。

图 6(b)为第二空间模态对应的时间系数,1966 ~ 2013 年存在明显的年代际变化,在 20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代以及 21 世纪 00 年代的时间系数较低,同时也存在时间系数较高的年代际变化,但是相比较并不显著。

图 6(c)为第三空间模态对应的时间系数,并没有明显的年际变化和年代际变化,2011 年时间系数较其他时间偏低,说明该年强降水事件次数空间分布显著。

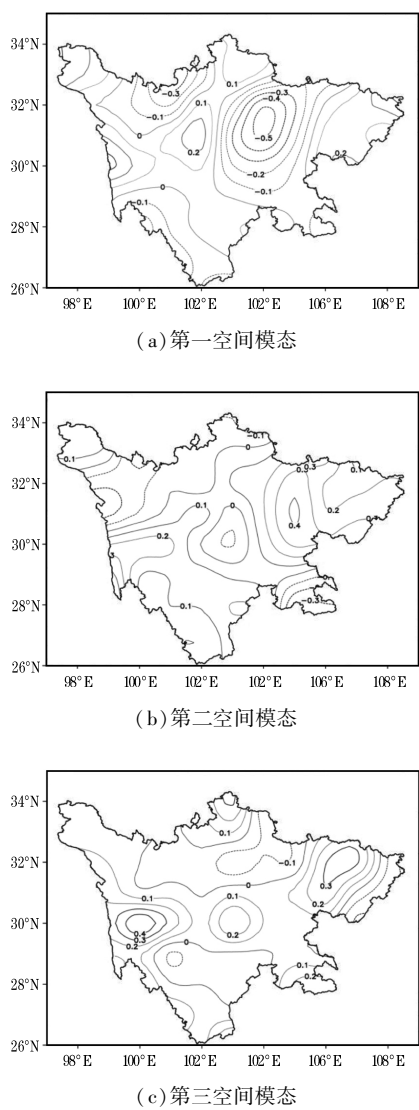


图 7 四川地区强降水强度的 REOF 分析的前 3 个模态空间型

图 7 为四川地区强降水强度的前 3 个空间模态分布,图 7(a)为第一空间模态,方差贡献率为 6.39 %,其分布特征为成都,绵阳,德阳一带平原地区表现为负异常,川西高原和四川盆地东侧大部分地区则表现为正异常,有明显的正负异常区域,表现高原和平原强降水强度存在显著的差异。

图 7(b)为第二空间模态,方差贡献率为 6.2 %,其分布整体呈现正异常,表现了强降水强度的空间一致性,在东南西北走向存在 3 个负异常区域,分别位于康定县西侧、雅安一带以及泸州地区。

图 7(c)为第三空间模态,方差贡献率为 5.6 %,其分布特征为 29°N ~ 32°N 存在 3 个正异常中心,分别位于康定县西侧,雅安以及绵阳,广元一带。在其南北两侧分别为负异常。

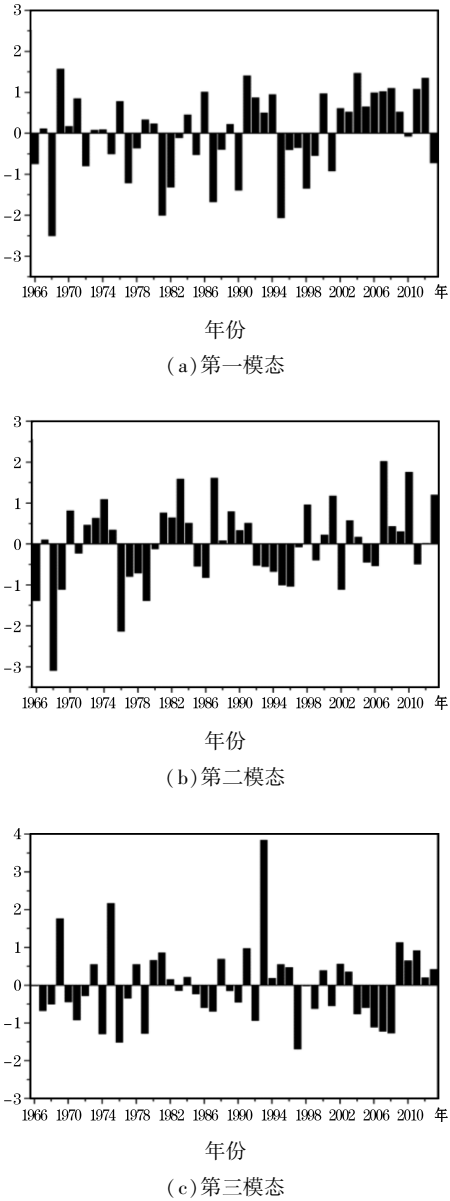


图 8 四川地区强降水强度对应的时间系数序列

图 8 为四川地区强降水强度对应的时间系数,图 8(a)为第一空间模态对应的时间系数,21 世纪 00 年代已有明显的年代际变化,在 1969、1991、2004、2012 年时间系数较高,在 1968、1987、1981、1990、1995 年时间系数较低。

图 8(b)为第二空间模态对应的时间系数,1966 ~ 2013 同样存在明显的年代际变化,在 20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代以及 21 世纪 00 年代的时间系数较高,同时也存在时间系数较低的年代际变化。

图 8(c)为第三空间模态对应的时间系数,21 世纪 00 年代之前存在明显的年际变化,高低时间系数交替出现,波动频繁。1994 年时间系数偏大,说明该年空间分布显著。

4 四川地区强降水时间分布特征

4.1 四川地区强降水时间变化趋势

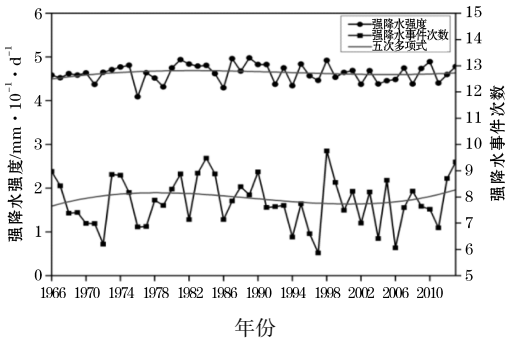
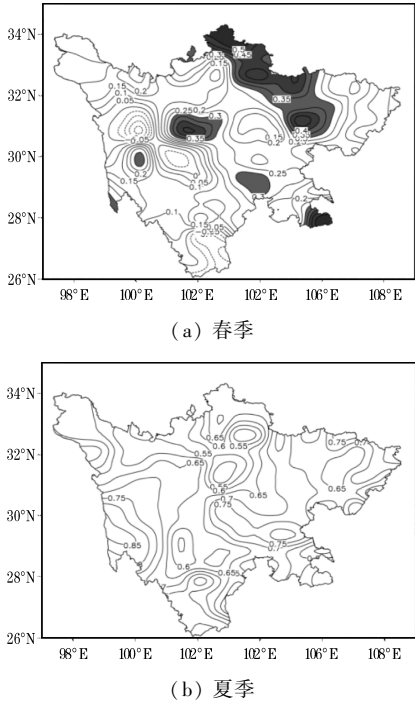


图 9 四川地区年均强降水事件次数和强度时间变化趋势

图 9 为 1966 ~ 2013 年四川地区年均强降水事件和强度随时间变化趋势,四川地区强降水强度变化波动较小,基本维持在 $4.5\text{ mm} \cdot 10^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 上下浮动,在 1976 年、1986 年、1992 年、1994 年强度较弱,1982 年、1989 年、1987 年、1998 年、2010 年强度较强。四川地区强降水事件次数波动明显,最多时可以达到一年 10 次,最少时一年只有 6 次,在 1984 年、1999 年强降水发生较多,1972 年、1997 年、2006 年强降水发生较少,20 世纪 60 年代强降水发生开始逐渐增多,70 年代开始减少,到 21 世纪强降水发生又开始增多,呈现出增多、减少、再增多的趋势。这与张顺谦等所提到的极端强降水变化趋势基本吻合,在 2009 年之前存在略微的减少趋势,在 2009 年之后四川地区强降水事件有增长趋势。

4.2 四川地区强降水与季节降水的相关性分析



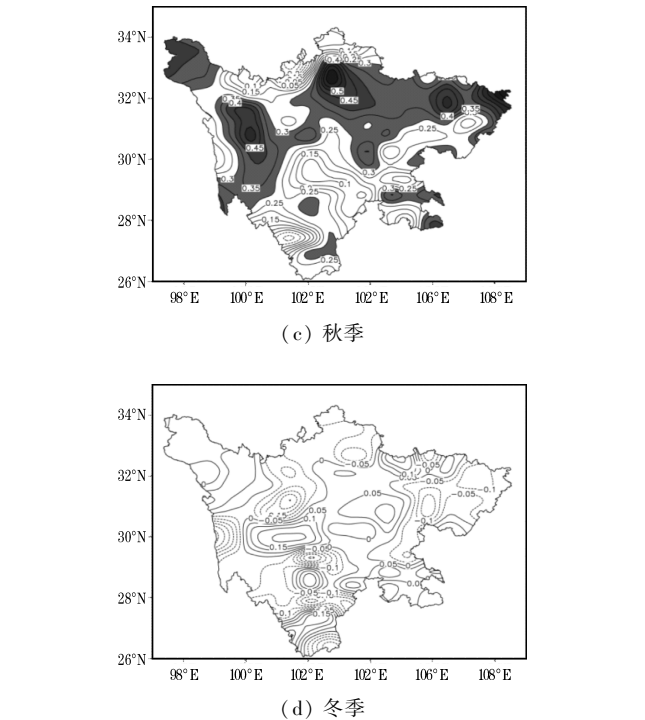


图 10 四川地区强降水事件次数和同年季节降水量的相关系数空间分布 (图中阴影代表通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,与夏季降水量相关系数均通过显著性检验)

图 10 为 1966 ~ 2013 年四川地区强降水事件次数与同年季节降水量的相关系数空间分布,强降水事件次数和夏季降水相关性最好,全部通过显著性检验,与冬季相关性最差,并没有通过显著性检验,春秋则部分通过显著性检验。

由图 10(a)可知,春季相关系数大值区分布较为分散,阴影区域通过了 0.01 显著性检验,主要集中在马尔康县北部以及绵阳、德阳、遂宁,最大值可以达到 0.5,其余分布在泸州、乐山以及康定县东侧,最大值同样可以达到 0.5。说明上述地区春季降水可能引发强降水的发生,强降水事件次数和春季降水相关性较好。

由图 10(b)可知,夏季相关系数全部通过了 0.01 显著性检验,有良好的相关性,说明夏季是强降水事件发生的高发期。四川地区主要存在 3 个大于 0.75 的相关系数高值区,分别位于盆地、西昌、攀枝花一带以及康定县西侧,上述地区强降水事件次数和夏季降水相关性较好,值得一提的是,康定县西侧可高达 0.85,说明该地区强降水绝大部分发生在夏季。夏季属于四川地区降水发生的高峰期,强降水事件发生较多。

由图 10(c)可知,秋季相关系数通过 0.01 显著性检验的区域较春季偏多(阴影区域为通过了 0.01 显著性检验),秋季发生强降水事件仅次于夏季,也属于强降水事件的多发季节。主要集中分布在四川地区 30°N 以北,以及四川地区南方少数地区,相关系数最大值为 0.5,上述地区秋季降水可能引发强降水的发

生,强降水事件次数和秋季降水相关性较好,显著性区域范围较春季更广,华西秋雨这种现象也说明四川地区秋季降水较多,容易引发强降水。

由图 10(d)可知,冬季相关系数都在 0 左右浮动,全部没有通过 0.01 的显著性检验,冬季基本未出现强降水事件,相关性最差。

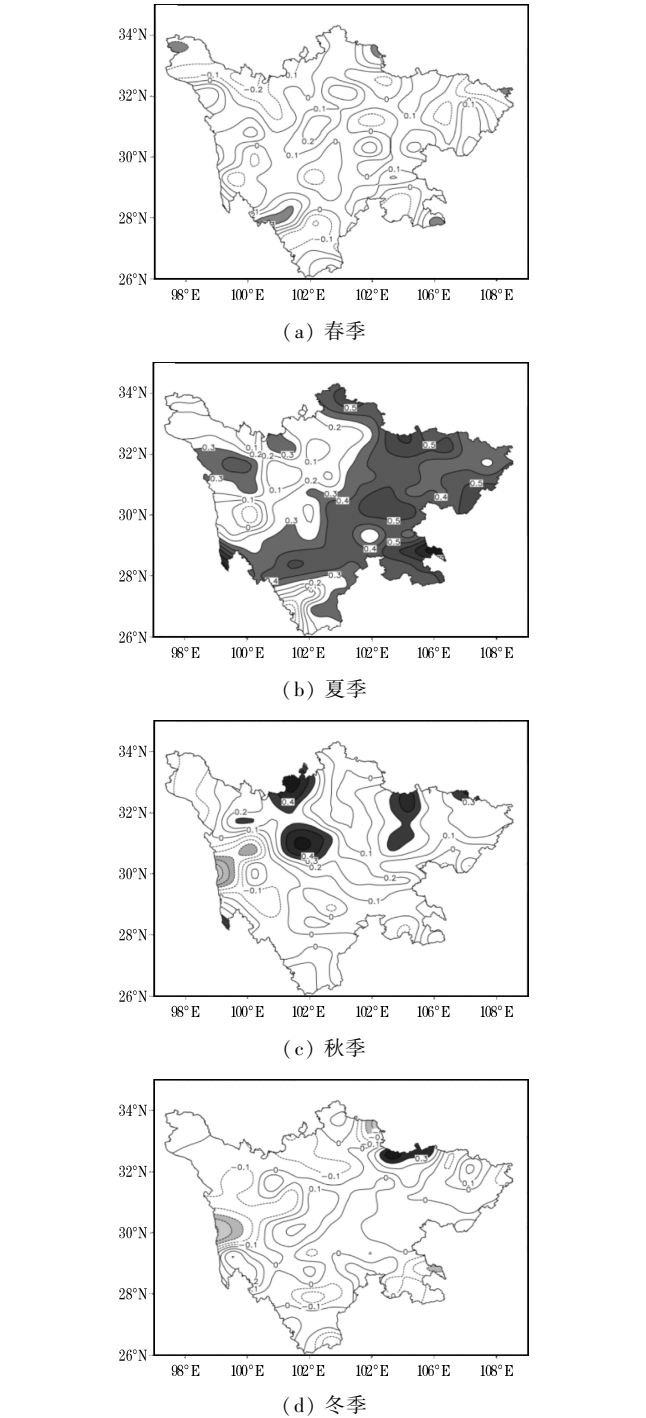


图 11 四川地区强降水强度和同年季节降水量相关系数空间分布 (图中阴影代表通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验)

图 11 为 1966 ~ 2013 年四川地区强降水强度和同年季节降水量的相关系数空间分布,强降水强度和夏季降水相关性最好,大部分通过显著性检验,春、秋、冬

季则部分通过显著性检验。

由图 11(a)可知,阴影区域通过了 0.01 显著性检验,春季相关性并不显著,只有很小一部分地区通过了显著性检验,相关系数都在 ± 0.1 之间,说明四川地区春季降水与强降水强度相关性较差,春季强降水普遍强度偏小。

由图 11(b)可知,夏季相关系数大部分地区通过了 0.01 显著性检验,有良好的相关性,说明夏季是强度较大降水的集中时段。四川地区主要存在四川平原的全部区域以及高原的西昌和康定县西侧,大部分地区相关系数在 0.4 以上,部分地区可以达到 0.5。上述地区在夏季强降水的强度较大,四川地区强度较大的强降水大部分发生在夏季。

由图 11(c)可知,秋季相关系数通过 0.01 显著性检验的区域较春季偏多(阴影区域为通过了 0.01 显著性检验),秋季强降水的强度仅次于夏季,也属于强降水的强度较强的季节。主要集中分布在四川地区 30°N 以北的绵阳、德阳一带以及马尔康县和康定县交界一带,相关系数最大值为 0.5,上述地区在秋季发生的强降水的强度较强,强降水强度和秋季降水相关性较好。

由图 11(d)可知,冬季和春季的相关系数分布相似,相关性并不明显,只有少部分地区通过了 0.01 的显著性检验,位于绵阳北侧,该地区冬季也有可能发生强度较强的强降水。

4.3 四川地区强降水事件的集中度

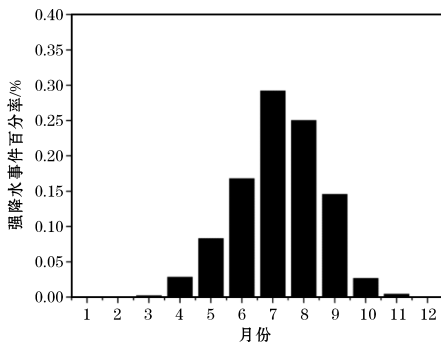


图 12 四川地区强降水事件月均百分率

图 12 为 1966 ~ 2013 年四川地区强降水事件月均百分率,四川地区强降水事件大部分集中在 7 月和 8 月,7 月所占比例可达 32 %, 8 月所占比例可达 25 %, 其次是 6 月和 9 月,分别占 17 % 和 15 %,其余月份相对偏少,夏季和秋季是强降水事件的高发季节,即 5 ~ 10 月。

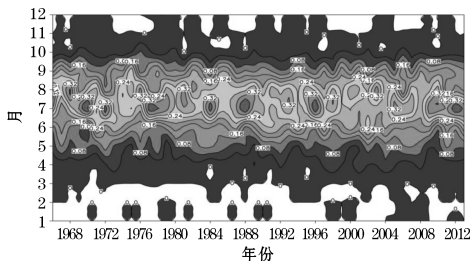


图 13 四川地区逐年强降水事件分布百分率(单位:%)

图 13 为 1966 ~ 2013 年四川地区强降水事件分布百分率,四川地区强降水事件大部分集中在 4 ~ 10 月, 1 ~ 3 月和 11 ~ 12 月的强降水事件较少。强降水事件最集中的时间段为 6 ~ 9 月,最强中心可达 36 %, 48 年期间全部集中在 7 ~ 8 月,6 月底 7 月初发生强降水事件偏多,8 月则偏少,在 21 世纪之前强降水事件主要集中在 7 月,2008 年之前有明显的强降水偏移,强中心位于 8 月。强降水事件集中发生的年份有明显的 2 ~ 4 年的年际变化,每隔 2 ~ 4 年就会出现一次强降水事件的较强的集中年份。

5 结论

(1)盆地较其他地区强降水事件次数偏多,强度偏强,强降水主要发生在夏季,与夏季降水相关性最好,其次是秋季和春季,和冬季降水的相关性最差。

(2)四川地区强降水事件次数空间表现为第一模态盆地正异常,周边负异常;第二模态为盆地负异常,周边正异常;第三模态为南北反向型,四川地区强降水强度则分别表现为第一模态盆地负异常,周边正异常;第二模态全区基本一致;第三模态自北向南呈现“+ -”。

(3)强降水事件大部分集中在 4 ~ 10 月, 1 ~ 3 月份和 11 ~ 12 月的强降水事件较少,强降水事件最集中的时间段为 6 ~ 9 月,6 月底 7 月初发生强降水事件偏多,强中心位于 8 月。强降水事件集中发生的年份有明显的 2 ~ 4 年的年际变化,每隔 2 ~ 4 年就会出现一次强降水事件的较强的集中年份。

参考文献:

- [1] Klein Tank A M G, Konnen G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe [J]. Journal of Climate, 2003, 16 (22): 3665-3680.
- [2] Karl T R, Trenberth K E. Modern global climate change [J]. science, 2003, 302 (5651): 1719-

- 1723.
- [3] Brunetti M, Maugeri M, Nanni T. Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy[J]. *International Journal of Climatology*, 2001, 21(7): 861–871.
- [4] Haylock M R. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific:1961–1998[J]. *International Journal of Climatology*, 2001, 21(3): 269–284.
- [5] Griggs D J, Noguer M. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change[J]. *Weather*, 2002, 57(8): 267–269.
- [6] 张顺谦, 马振峰. 1961~2009年四川强降水变化的时空特征[J]. *安徽农业科学*, 2012, 39(23): 14202–14207.
- [7] Climate change 2007—the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC[M]. Cambridge University Press, 2007.
- [8] 潘晓华, 翟盘茂. 近五十年中国极端温度和降水事件变化规律的研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2002.
- [9] 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.
- [10] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. *气候与环境研究*, 2010, (4): 337–353.
- [11] 盛杰, 张小雯, 孙军, 等. 三种不同天气系统强降水过程中分钟雨量的对比分析[J]. *气象*, 2012, 38(10): 1161–1169.
- [12] 陆虹, 陈思蓉, 郭媛, 等. 近50年华南地区极端强降水频次的时空变化特征[J]. *热带气象学报*, 2012, 28(2): 219–227.
- [13] 湛芸, 李强, 李泽椿. 青藏高原东北部强降水天气过程的气候特征分析[J]. *应用气象学报*, 2006, 17(B08): 98–103.
- [14] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(1): 1–10.

The Temporal and Spatial Distribution of Heavy Rainfall in Sichuan

ZHAO Yan-bin^{1,2}, XIAO Tian-gui¹

(1. College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Bureau of Meteorology in Chongqing Yubei Area, Chongqing 401120, China)

Abstract: In order to study the characteristics of heavy rainfall in Sichuan, with the daily precipitation data of 1966–2013, giving the definition of heavy rain in Sichuan, and use the statistical method the spatial and temporal characteristics of the times and intensity of heavy rainfall in Sichuan. The main conclusions are as follows: The number of heavy rainfall events in basin is more than other areas, and the strength of heavy rainfall basin is higher than other areas. Heavy rainfall occurs mainly in the summer, it has a best correlation with summer rainfall, followed by the fall and spring, and a worst correlation with winter rainfall. The space of the number of heavy rainfall in Sichuan shows that the basin is positive anomaly and negative anomaly around in first model; the basin is negative anomaly and positive anomaly around in second model; the north-south reverse type in third model. The space of the strength of heavy rainfall in Sichuan shows that the basin is negative anomaly and positive anomaly around in first model; Sichuan is basically the same in second model; from north to south as “-+” in third model. Heavy precipitation events most concentrated period 6–9 months, most concentrated in August. Heavy rain events occurred concentrated 2–4 years of annual variation. It provides the climate background for the forecast of heavy rainfall in Sichuan.

Key words: atmospheric sciences; climate change; Sichuan area; heavy rainfall; temporal and spatial distribution