

何慧根,唐红玉,李永华,等. 2015. 重庆春季连阴雨的气候特征和气候信号分析. 气象,41(10):1190-1202.

# 重庆春季连阴雨的气候特征和气候信号分析<sup>\* 1</sup>

何慧根<sup>1</sup> 唐红玉<sup>1</sup> 李永华<sup>1</sup> 孙 俊<sup>2</sup> 王 勇<sup>1</sup>

1 重庆市气候中心,重庆 401147  
2 中国气象局气象干部培训学院四川分院,成都 610072

**提 要:** 利用 1961—2012 年 3—5 月 NCEP/NCAR 再分析资料、NOAA 的海温、重庆 34 个站气象资料和 74 项环流特征指数,分析了重庆春季连阴雨的时空变化特征及其与同期的大气环流、西太平洋副热带高压(西太副高)、前期冬季的海温、OLR、大气环流以及西太副高之间的关系。结果表明:重庆春季连阴雨有发生频率高的特征,3 月最容易发生影响范围广,持续时间长的连阴雨,其次是 5 月。连阴雨明显的时段重庆受影响的范围广,持续时间较长,气温偏低。东北部和西部地区出现频次较低,东南部较高。连阴雨分布主要为全市一致型和东西相反型。春季巴伦支海地区和青藏高原的 500 hPa 高度场偏低,贝加尔湖以东地区偏高,欧亚中高纬环流形势有利于冷空气南下和西太副高的减弱东退是重庆的连阴雨发生的主要因素。冬季拉尼娜事件的发生、赤道 150°E 地区的对流加强和鄂霍次克海地区中高层大气高压脊的建立都有利于来年春季重庆连阴雨的发生。

**关键词:** 春季连阴雨, 气候信号, 拉尼娜, 西太平洋副热带高压

**中图分类号:** P461      **文献标志码:** A      **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 10. 002

## Analysis on Climatic Characteristics of Spring Continuous Rain in Chongqing and Its Relationship with Climatic Signals

HE Huigen<sup>1</sup> TANG Hongyu<sup>1</sup> LI Yonghua<sup>1</sup> SUN Jun<sup>2</sup> WANG Yong<sup>1</sup>

1 Chongqing Climate Centre, Chongqing 401147  
2 Sichuan Training Centre of China Meteorological Administration, Chengdu 610072

**Abstract:** Based on the NCEP/NCAR reanalysis data, sea surface temperature (SST) of NOAA, index of 74-term circulation characteristics and weather observation data from 34 stations of Chongqing over 1961—2012, the climatic characteristics of spring continuous rain in Chongqing, the climate impact factors of the same period such as atmospheric circulation, the West Pacific subtropical high and early winter impact factors like SST, OLR, atmospheric circulation and the West Pacific subtropical high were analyzed. The results indicated that the spring continuous rain has so high frequency that Chongqing suffers serious spring continuous rain easily in March, followed by May. During the serious continuous rain period, the impacted range and the maintained time expanded. Furthermore, the probability of low temperature increases obviously. From the spatial distribution, the frequency of the spring continuous rain is high in Southeast China, but is relatively less in the northeastern and western parts. The spatial distribution of the continuous rain include two types: consistency in all areas and contrary in the west and east parts. In spring, lower 500 hPa geopotential heights are on the lower side in Barents Sea and the Tibetan Plateau region, higher in the east of Baikal Lake region, the general circulation anomalies over Eurasia mid-high latitude is beneficial

<sup>\*</sup> 重庆市基础与前沿研究计划一般项目(cstc2013jcyjA20022)、中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室开放基金(LPCC201202)、重庆市自然科学基金(csct2012jjB0153)、中国气象局气象关键技术集成与应用面上项目(CMAGJ2015M47)和遂气课题 2013-开发-01 项目共同资助  
2014 年 5 月 20 日收稿; 2015 年 7 月 1 日收修定稿  
第一作者:何慧根,主要从事短期气候预测和气候监测研究工作. Email:hhg0258@163. com

to southward movement of cold air, and the West Pacific subtropical high weakens and retreats to east and south, which are the main factors for the occurrence of continuous rain in Chongqing. In early winters, the occurrence of the La Nina event, the development of the convection in the 150°E equator region, the establishment of high pressure ridge in the upper atmosphere in Okhotsk Sea area are conducive to the occurrence of spring continuous rain in Chongqing.

**Key words:** spring continuous rain, climatic signals, La Nina, West Pacific subtropical high

## 引 言

连阴雨是一种大范围的天气过程,它的形成主要受大气环流的影响。它的特点是雨量小,基本无日照,且持续时间长,影响范围广,甚至会出现长时间的低温。春季和秋季重庆都容易出现连阴雨。春季连阴雨正处在小春作物生长和成熟关键期,极易引发大面积的病虫害,对粮食产量造成致命影响。伴随的低温和阴雨寡照还会阻碍春播进程,影响大春作物的播种和种植,会造成低能见度影响交通运输,降低空气质量影响人体健康等。有些年份由于雨量大,持续时间长,连阴雨会造成汛期提前,甚至还会造成洪涝和地质灾害,直接关系到工农业生产和人民的生命财产安全。

我国气象学家对各地的春季连阴雨作了广泛的研究。20 世纪 70 年代中国科学院大气物理研究所对我国的春季连阴雨预报进行了研究(李麦村等, 1977)。冯明等(1996)对湖北的连阴雨进行了分析,指出影响湖北连阴雨的天气系统主要是北方冷空气的频繁活动。姜爱军等(1997)利用连阴雨的持续天数、总降水量和总日照距平三个主要要素建立了江苏省的连阴雨灾害评估模型。“长江中下游连阴雨和连晴天气研究”课题组研究表明,长江中下游的春季连晴连阴雨有准两周的显著周期(朱盛明, 1991)。长江中下游春季连阴雨是 Hadley 环流受到破坏的结果,高湿的西南水汽不是来自于孟加拉湾,而是来自西太平洋副热带高压(简称西太副高)西侧的气流,来自于南海(仇永炎等, 1993)。此时马斯克林高压较弱,其北侧 60°E 的越赤道气流较弱,印度处于反气旋环流,从流场上看无直接联系(朱盛明, 1991)。当南支西风、澳大利亚越过赤道的气流以及西太副高均处于低频振荡的增加位相,且振幅达到这一时期最大时,长江下游容易出现全区域性的持续阴雨天气(施宁, 1991)。

三峡库区春季存在雨日多雨量少,降水强度小

的特征,近 40 多年来春季的降水量存在减少的趋势,从而使连阴雨的气候特征发生着一定的变化(邹旭恺等, 2005)。作为三峡库区的主体,重庆地处四川盆地东部,三面环山,属于亚热带湿润气候,同时重庆还是位于青藏高原东南麓的长江上游地区,地理位置特殊,既受东亚季风和印度季风的影响,还受青藏高原的影响,是一个典型的气候多变区。特殊的地理位置、相互交错的特殊地形使得重庆成为自然灾害高发的地区之一。尽管春季连阴雨对重庆的农业和交通造成了重大影响。但在重庆,春季连阴雨的发生规律和预测技术仍然没有得到足够的重视。本文将统计重庆春季连阴雨的气候特征,以增加对重庆春季连阴雨的认识;讨论同期的环流形势和西太副高,前期海温、热带地区的对流活动、大气环流异常和西太副高,探索重庆春季较强连阴雨发生的可能原因、前期气候信号和影响的关键区域,为提早准确预测春季连阴雨的发生提供科学依据。

## 1 资料来源和方法

本文所用资料主要包括:(1)重庆 34 个常规气象观测站 1961—2012 年 3—5 月的气温、降水和日照资料。(2) 1961—2012 年冬季和春季美国 NCEP/NCAR 的 200 和 500 hPa 高度场。(3) 1974—2012 年冬季 NCEP/NCAR 的 OLR 再分析资料。(4) 1961—2012 年的 NOAA 月平均海表温度资料,网格距为 2.0°×2.0°。(5)西太副高各指数、亚洲经向环流指数、纬向环流指数等来自国家气候中心提供的 74 项环流特征指数。多年平均采用 1981—2010 年的平均值。

各地的连阴雨标准不同,统计结果也各不相同(冯明等, 1996;姜爱军等, 1997;邹旭恺等, 2005)。2008 年重庆市地方气象灾害标准(重庆市质量技术监督局, 2008)将连续≥6 d 的阴雨且无日照,其中任意 4 d 白天雨量≥0.1 mm 定义为一次轻度连阴雨。如果连续 3 d 白天无降水则连阴雨终止。将连

续 $\geq 10$  d 阴雨且无日照,其中任意 7 d 白天雨量 $\geq 0.1$  mm 定义为一次严重连阴雨。为便于研究,本文利用重庆市地方标准中的轻度连阴雨标准进行统计分析。

尽管连阴雨是大尺度的天气过程,但由于连阴雨的时空分布不均且持续时间长短不一。连阴雨的强弱不仅与影响范围有关,还与持续时间有关。本文针对重庆春季连阴雨的影响范围(累计影响站点数)和累计持续日数(对达到连阴雨标准的每个站的持续日数进行累加)对重庆连阴雨的时空分布特征进行分析,并从气候角度对同期的大气环流和西太副高、前期冬季海温、热带地区对流活动、大气环流形势和西太副高进行研究,试图揭示重庆地区较强连阴雨发生的可能原因和前期的气候预测信号。为提早预测重庆春季连阴雨打下基础。

## 2 春季连阴雨的时空分布特征

### 2.1 时间变化特征

#### 2.1.1 多年平均状况

邹旭恺等(2005)研究表明,三峡库区春、秋季雨日多,雨量少,降水强度小,降水时间长,以连阴雨为主。并指出三峡库区连阴雨天气四季都有可能出现,但以 9、10 月发生最频繁,出现频率高达 82.9%,春季的连阴雨出现的频率也很高,达 75.6%。

从图 1 可知,重庆春季连阴雨有发生频率高的特征。3 月连阴雨不仅影响范围最广,持续日数也最长。3 月全市多年平均影响站点数为 6.5 个,占整个春季的 36.5%;多年平均累计持续日数达 56.8 d,占整个春季的 39.9%,平均每个站点持续 8.7 d。其次是 5 月,多年平均 5.3 个站点,多年平均累计持续日数为 38.2 d,平均每个站点持续 7.2 d。4 月出现范围最小,持续日数也最短。4 月多年平均 4.8 个站点,多年平均累计持续日数为 32.1 d,每个站点平均 6.7 d。整个春季多年平均 17.8 个站点,占全市的 52.4%;多年平均累计持续日数达 142.3 d,平均每个站点持续达 22.6 d。其中平均有 1.2 个站点持续 15 d 的连阴雨出现在跨月份时段,无法单月统计。

综上所述,春季每月平均有 5.9 个站点出现连阴雨,平均每个站点持续达 8 d。3 月最容易发生连阴雨,其次是 5 月。整个春季而言,重庆连阴雨影响范围广,持续时间长。

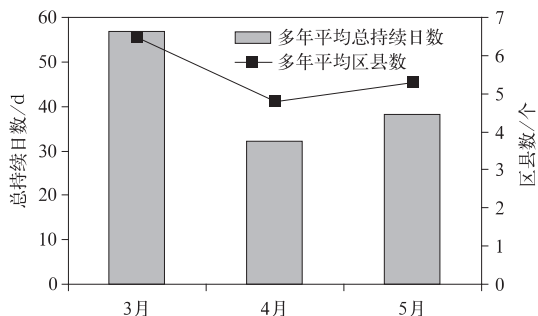


图1 重庆春季各月连阴雨多年平均影响站点数和多年平均累计持续日数

Fig.1 The annual average numbers of sites affected by spring continuous rain and the average cumulative duration days of spring continuous rain in Chongqing

#### 2.1.2 年际和年代际变化特征

春季连阴雨明显的时段影响范围广,持续时间也较长。在 1961—2012 年期间,3 月连阴雨影响范围最广的是 1961 年,累计影响站点数达 37 个,累计持续时间也最长,达 305 d。3 月出现连阴雨区县较多的年份还有 1985、1993 和 2011 年,累计影响站点数都超过了 19 个,这些年份持续日数也较长,累计日数都达 148 d 以上。而 1962、1966、1969、1971、1972、1978、1981、1995、2001、2002、2004 和 2009 年的 3 月都没出现连阴雨天气。4 月连阴雨影响范围最广的是 1971 年,累计影响站点数达 27 个,累计持续日数也最长,达 197 d。影响范围较广的年份还有 1968、1989 和 1994 年,都超过了 14 个站点,这几年累计持续日数均超过了 100 d。1961、1965、1969、1970、1972、1978、1979、1988、1990、1998、2005 和 2006 年的 4 月都没出现连阴雨。5 月连阴雨影响范围最广的是 2002 年,累计影响站点数达 31 个,而持续时间最长的是 1996 年,累计达 243 d。影响范围较广的年份还有 1962、1968 和 1996 年,累计影响站点数都超过了 18 个。而持续日数较长的年份有 1962、1968 和 2002 年,各年累计持续日数都超过了 130 d。然而,1969、1970、1971、1980、1981、1982、1986、1989、1990、1994、1995、1997、2000、2006、2007、2008 和 2011 年的 5 月都没出现连阴雨。

从图 2 可知,就整个春季而言,1968 年连阴雨影响范围最广,累计影响站点数达 57 个,持续日数也最多,累计达 426 d。较广的年份有 1961、1962、1992、1993、1996 和 2002 年,累计影响站点数都超过了 35 个,这些年份的连阴雨累计持续日数都超过

了 250 d。然而,1969 年春季没有出现连阴雨,1972、1978 和 2006 年春季都仅 1 个站点出现,这几年的春季持续日数均在 7 d 以内。总体表现出连阴雨较重时段影响范围广,持续时间长;连阴雨不明显时段影响范围小,持续时间短的特点。

从图 2 还可知,重庆春季连阴雨影响范围和持续时间的年代际变化趋势基本一致,总体呈现出连阴雨明显时影响范围广,持续时间长的特点。20 世

纪 60 年代中期至 80 年代后期和 21 世纪前 10 年的中期,重庆春季处在连阴雨偏少的背景下,这两个时段受连阴雨影响的站点少,持续时间也较短。90 年代至 21 世纪前 10 年的前期处在偏多的背景下,受连阴雨影响的范围较广,持续时间也较长。重庆春季连阴雨的这种年代际变化趋势与三峡库区的变化基本一致(邹旭恺等,2005)。

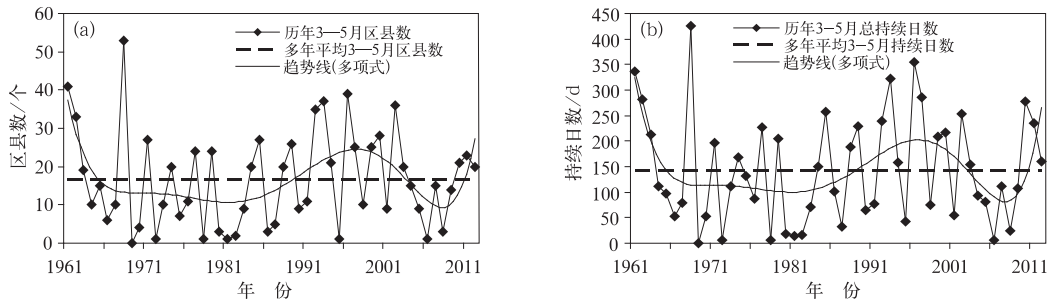


图 2 重庆春季连阴雨累计影响站点数(a)和累计持续日数(b)随时间的变化  
Fig. 2 The numbers of sites affected by spring continuous rain (a) and the cumulative duration days of spring continuous rain (b) during 1961 to 2012

从表 1 可知,重庆春季各月连阴雨累计影响站点数和累计持续日数的相关系数都在 0.98 以上,表现出很好的一致性。由此表明,重庆春季连阴雨明

显的月份,受影响的站点数多,影响范围广,且持续时间长。同时也表明,连阴雨出现的区县个数或持续总日数都能反映重庆连阴雨的强弱。

表 1 重庆春季连阴雨累计影响站点数、累计持续日数与同期气温的关系  
Table 1 Relations between numbers of sites affected by spring continuous rain, cumulative duration days of spring continuous and air temperature

|           | 3 月<br>区县数 | 3 月<br>气温 | 4 月<br>区县数 | 4 月<br>气温 | 5 月<br>区县数 | 5 月<br>气温 | 3—5 月<br>区县数 | 3—5 月<br>气温 |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|--------------|-------------|
| 3 月持续日数   | 0.98 **    | −0.43 **  |            |           |            |           |              |             |
| 4 月持续日数   |            |           | 0.99 **    | −0.16     |            |           |              |             |
| 5 月持续日数   |            |           |            |           | 0.99 **    | −0.59 **  |              |             |
| 3—5 月持续日数 |            |           |            |           |            |           | 0.98 **      | −0.39 **    |

注: \* 为通过 0.05 显著性水平检验, \*\* 为通过 0.01 显著性水平检验。  
Note: \* refers to those having passed the 0.05 significance level test, \*\* is for those having passed the 0.01 significance level test.

2.1.3 周期分析

Morlet 小波为复数小波,其小波系数的实部能够表示不同特征的时间尺度信号在不同时间尺度上的分布和位相信息,具有多时间尺度、多分辨率和良好的局部性质,适合于平稳的时间序列分析(蒋竹将,2014;Torrence et al,1998)。对连阴雨累计持续日数的 EOF 分析的第一模态和第二模态对应的时间系数进行 Morlet 小波分析,即反映重庆春季连阴雨的主要分布形态:全市一致型和东西相反型的春

季连阴雨的周期进行分析。

进行了显著性检验的小波系数模的时频分布如图 3 所示。从图 3a 可知,重庆春季连阴雨的周期存在明显的阶段性特征。全市一致型的连阴雨在 20 世纪 60 年代后期到 70 年代前期存在 2~4 a 的振荡周期,0 线外的显著周期受边界效应影响,可能为虚假的周期信号。20 世纪 70 年代中期后存在 2 a 左右的振荡周期,80 年代后期到 2000 年存在 3~5 a 的振荡周期。从图 3b 可知,东西相反型的春季

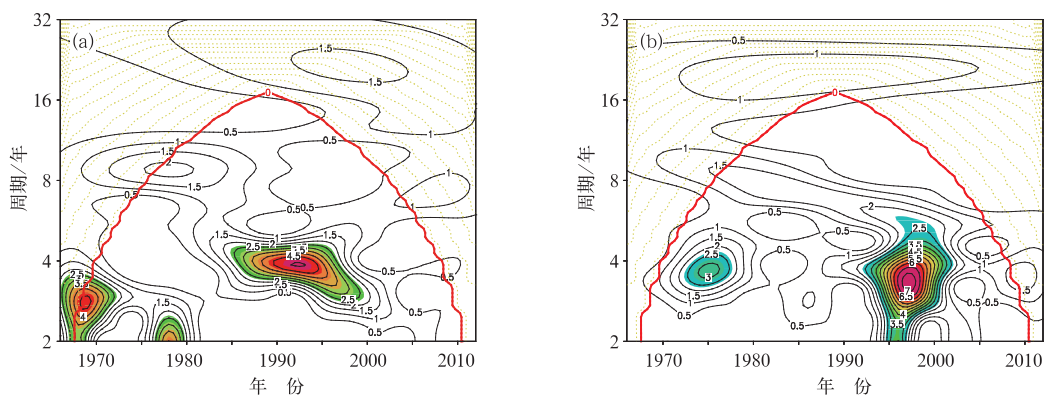


图 3 重庆春季连阴雨累计持续日数的 EOF 第一模态(a)和第二模态(b)对应的时间系数的小波系数模的时频分布  
(阴影区为通过 0.05 的显著性水平检验的区域)

Fig. 3 The time-frequency distribution of Morlet wavelet power spectrum on the time coefficient of the first mode (a) and the second mode (b) for the cumulative duration days of spring continuous rain in Chongqing  
(Shaded areas show the regions having passed the 0.05 significance level test)

连阴雨在 70 年代中期存在 3~4 a 的振荡周期,在 1993—2003 年期间存在 3~6 a 的振荡周期。

综上所述,重庆春季连阴雨有发生频率高的特征。春季各月都有可能发生影响范围广、持续时间也较长的连阴雨,其中 3 月最容易出现,其次是 5 月。连阴雨的影响范围和持续时间存在一致的年代际变化特征。重庆的这种变化特征与三峡库区的变化基本一致。连阴雨明显的时段重庆受影响的站点数较多,影响范围较广,持续时间也较长。全市一致型的连阴雨在 20 世纪 60 年代后期到 70 年代前期存在 2~4 a 的振荡周期,20 世纪 80 年代后期到 2000 年存在 3~5 a 的振荡周期。东西相反型的春季连阴雨在 20 世纪 70 年代中期重庆存在 3~4 a 的振荡周期,在 1993—2003 年期间存在 3~6 a 的振荡周期。连阴雨影响站点数或累计持续日数都能反映连阴雨的强弱。因此,后面将利用连阴雨的累计持续日数与影响因子进行深入分析。

## 2.2 空间分布特征

### 2.2.1 频次分析

连阴雨过程的发生频率在一定程度上反映了连阴雨的灾害程度。邹旭恺等(2005)研究表明,三峡库区的全年连阴雨频次分布以中南部最多,西南部次之,北部和东北部最少。近 40 年来,库区的西部和南部地区全年连阴雨频次有微弱的减少趋势,但这种趋势的减少主要是由秋季连阴雨频次减少造成的。

对重庆各地逐年春季连阴雨的出现次数进行求和并分别除以总年数,得到连阴雨频次的空间分布如图 4 所示。重庆春季连阴雨有明显的空间分布特征。从图 4a 可知,3 月的连阴雨频次超过 0.2 的地区主要分布在城口、垫江、渝北、綦江和渝东南大部地区。从图 4b 可知,4 月的连阴雨频次较高地区出现在城口、垫江、涪陵和东南部地区。从图 4c 可知,5 月垫江、涪陵、綦江和渝东南的大部地区频次较高。整个春季而言,全市大部地区的频次都超过了 0.5,其中城口、垫江、渝北、綦江和渝东南大部地区的频次达 0.65 以上。由此表明,重庆各地春季连阴雨发生频率高。其中,城口、垫江、渝北、綦江和渝东南大部地区相对更容易出现连阴雨。从各月的空间分布来看,东北大部地区和西部地区春季各月连阴雨发生的频次相对较少,东南部较多。3、4 月出现频次最高的地区都在东南部的秀山,都超过了 0.3,5 月出现在彭水。东南部的大部地区春季的频次超过了 0.7,其中酉阳和秀山超过了 0.9。由此表明,春季东南部不仅容易出现连阴雨,同一春季内还容易出现几次连阴雨。

### 2.2.2 分布形态分析

对春季各地区的阴雨出现次数和累计持续日数分别进行 EOF 分解,所得的前两个模态如图 5 所示。从图 5a 和 5c 可知,出现次数和累计持续日数的第一模态都为正位相,对应的时间系数都为正值(图略),说明第一模态是全市一致型,反映出连阴雨影响范围广,全市各个区县都发生了连阴雨,且持续



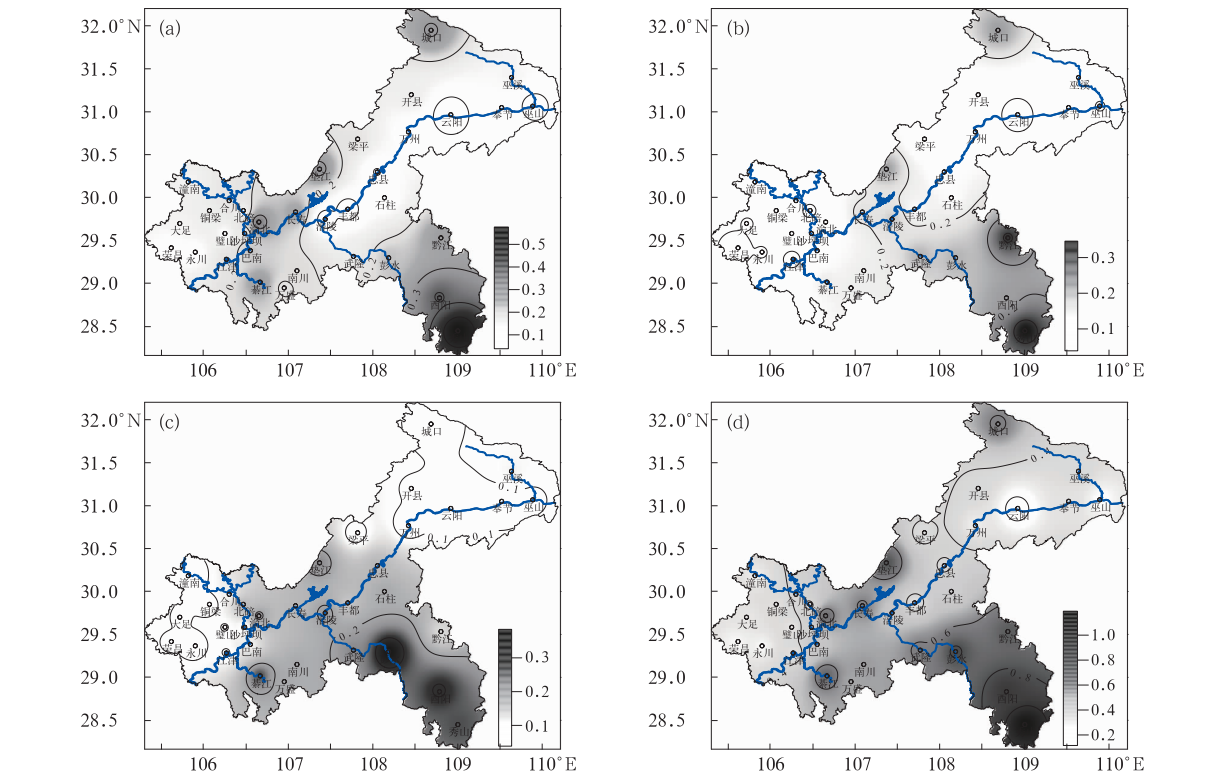


图 4 重庆 3 月(a), 4 月(b), 5 月(c)和春季(d)连阴雨发生频次的空间分布  
Fig. 4 The frequency distribution of the Chongqing continuous rain in March (a), April (b), May (c), and spring (d)

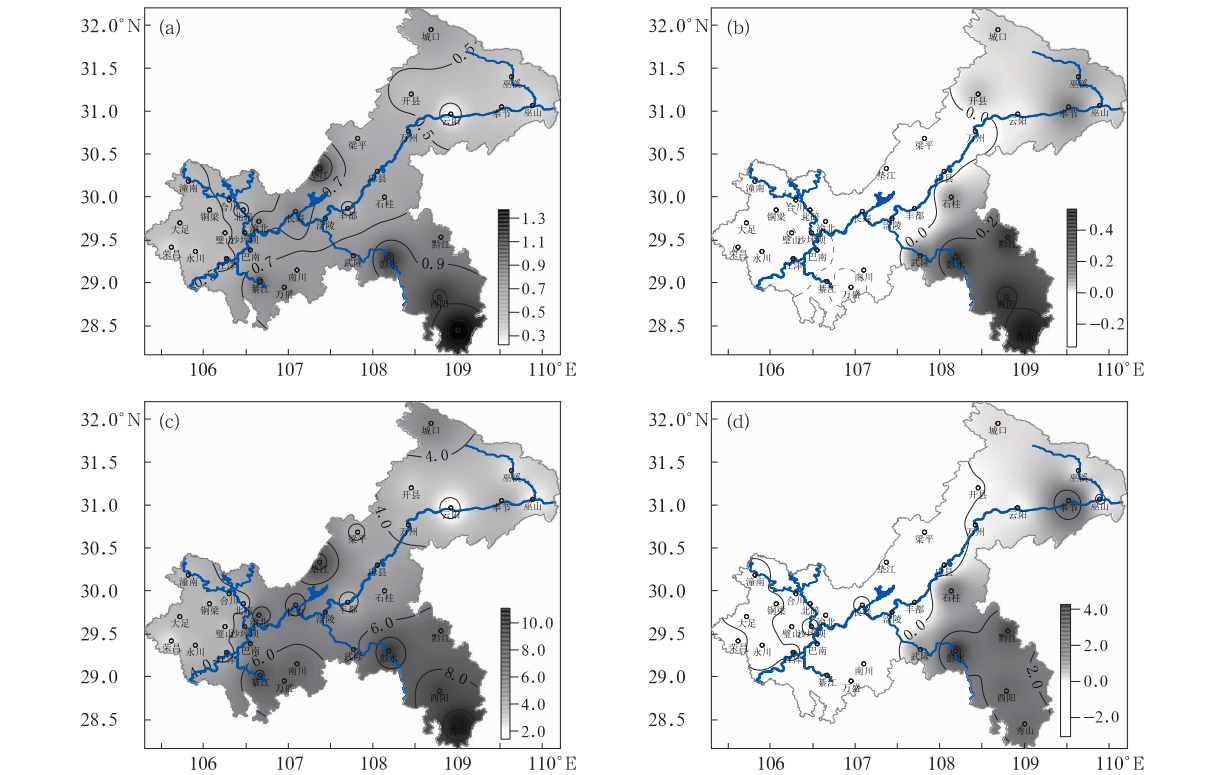


图 5 重庆春季连阴雨出现次数(a,b)和累计持续日数(c,d)的 EOF 分析的特征向量空间分布  
(a,c) 第一模态特征向量,(b,d) 第二模态特征向量  
Fig. 5 The eigenvectors distribution of EOF analysis on frequency (a,b) and the cumulative duration days (c,d) of spring continuous rain in Chongqing  
(a, c) eigenvector of the first mode, (b, d) eigenvector of the second mode

日数都较多,其中东南部出现次数最多,持续时间也最长。出现的次数和累计持续日数的第一模态方差贡献分别为 58.2%和 57.2%。从图 5b 和 5d 可知,出现次数和累计持续日数的第二模态呈东西相反分布型,东南部和东北部大部为正位相,其余地区为负位相。结合着时间系数来看,2000 年以前的时间系数大都为正值(图略)。这说明 2000 年以前第二模态主要反映的是连阴雨呈东多西少型。由此可知,在第二模态下连阴雨主要发生在东南部和东北部。2000 年以后,时间系数的负值出现较多,表现出中西部地区连阴雨有增加的趋势,东南部和东北部的连阴雨相对有所减少。出现次数和累计持续日数的第二模态的方差贡献分别为 6.8%和 7.1%。

综上所述,无论是全区一致型,还是东多西少型,东南部都容易出现持续时间较长的连阴雨。

3 与气温的关系

通过以上分析,选取连阴雨范围广且持续时间较长的 1961、1968、1993、1996 和 2002 年作为典型

的春季连阴雨明显年份,1969、1972、1978 和 2006 年为典型的连阴雨不明显年份对气温距平和气温距平出现的概率进行合成分析,结果如图 6 所示。从图 6a 可知,连阴雨明显年份重庆各地的气温都偏低,且大部地区偏低 0.5~0.8℃,全市平均偏低 0.7℃,东北部的部分地区偏低超过了 0.9℃,其中巫山和巫溪偏低幅度达 1.8℃。从图 6b 可知,连阴雨明显的年份,气温偏低的概率也较大,大部地区的概率在 75%~100%之间,其中有 9 个区县的气温偏低概率达 100%。从图 6c 可知,连阴雨不明显的年份全市各地气温都偏高 0.6~0.8℃,全市平均偏高 0.7℃。从图 6d 可知,连阴雨不明显年份大部地区气温偏高的概率在 80%~100%之间,其中有 18 个区县的气温偏高概率达 100%。

综上所述,春季连阴雨明显的年份,重庆各地气温偏低,且偏低概率大;连阴雨不明显的年份重庆各地气温偏高,且偏高的概率大。

从表 1 可知,3、5 月和整个春季的连阴雨累计影响站点数、累计持续日数与同期的气温相关系数都通过了 0.01 的显著性水平检验。由此表明,3、

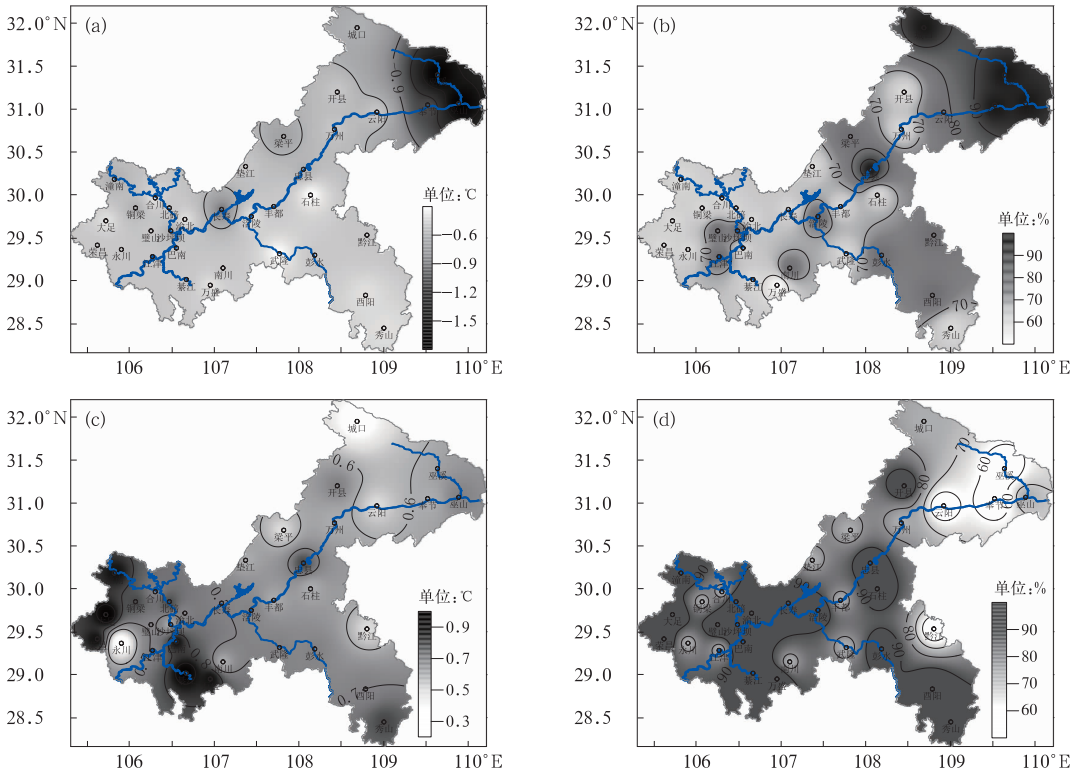


图 6 连阴雨明显的重庆春季气温距平(a)、气温偏低的概率(b)、连阴雨不明显的春季气温距平(c)和气温偏高的概率(d)

Fig. 6 Temperature anomaly (a) and probability of low temperature (b) with obvious spring continuous rains temperature anomaly (c) and probability of high temperature (d) in spring without obvious continuous rain

5 月和整个春季气温偏低明显时,重庆连阴雨影响范围较广,持续时间较长。气温明显偏高时,连阴雨出现地区较少,持续时间较短,阴雨天气可能达不到连阴雨标准,甚至不会出现阴雨天气。

通过以上分析可知,连阴雨是影响重庆春季气温的主要因素。持续时间长、影响范围广的连阴雨将导致重庆春季气温偏低。另一方面,重庆春季气温偏低明显,也指示着该时段连阴雨较为明显。这为春季连阴雨的提早预测提供了新的思路。同时,连阴雨的准确预测也有助于提高春季气温预测的准确率。连阴雨的发生是大气环流异常的表现,也受西太副高进退的影响。为提前准确预测重庆春季连阴雨,接下来对同期环流形势、西太副高和前期的气候信号进一步分析。

4 同期大气环流分析

4.1 环流形势分析

大范围的天气气候异常总是同特定的大气环流异常相联系。造成大范围阴雨天气的先决条件是大尺度暖湿气流的形成与维持。因此,连阴雨是大型的天气过程,有深厚的大尺度环流背景(孙锦铨等,1991)。

对典型的连阴雨明显年份和不明显年份春季的 500 hPa 高度场进行合成分析,结果如图 7 所示。从图 7a 可知,连阴雨明显的年份春季北极涛动正位相,欧亚中高纬地区环流形势呈“+ - +”型。具体表现为西欧地区高度场偏高,新地岛至乌拉尔山地区有低涡发展,巴尔喀什湖及新疆地区受低压槽

的影响高度场偏低,贝加尔湖及东西伯利亚地区高度场偏高。青藏高原到我国大部地区都处在高度场偏低的区域。中高纬的这种环流配置容易使得西北冷空气从新疆地区由北向南影响我国。青藏高原高度场偏低,容易在高原上产生短波槽,从而影响到四川盆地。春季从重庆南部向重庆地区输送的西南水汽辐合特征较为明显(杨茜等,2010)。春季当冷空气频繁地入侵四川盆地后与暖湿气流相互作用,重庆便产生连阴雨。

从图 7b 可知,典型的连阴雨不明显年份春季北极涛动负位相,欧亚中高纬地区高度场偏低。东亚大槽位置偏东,高原高度场偏高。这样的环流形式使冷空气主要影响北方地区,不利于南下到四川盆地。高原高度场偏高,也不利于高原短波槽的生成及东移。

对重庆春季连阴雨累计持续日数与同期 500 hPa 高度场进行相关分析。从图 7c 可知,重庆春季连阴雨的强弱与北半球的巴伦支海地区的高度场呈显著负相关,与贝加尔湖以东地区高度场呈显著正相关。表明巴伦支海地区高度场偏低,贝加尔湖以东地区高度偏高时,重庆春季连阴雨比较明显,连阴雨影响范围广,持续时间长;巴伦支海地区高度场偏高,贝加尔湖以东地区高度偏低时,重庆春季连阴雨不明显,连阴雨影响范围小,持续时间短,甚至不会出现连阴雨。结合图 7a 和 7b 可知,重庆春季连阴雨明显时,巴伦支海地区的高度场偏低,贝加尔湖以东地区高度偏高;不明显时巴伦支海地区高度场偏高,贝加尔湖以东地区高度偏低。再次表明了春季巴伦支海地区和贝加尔湖以东地区的高度场与

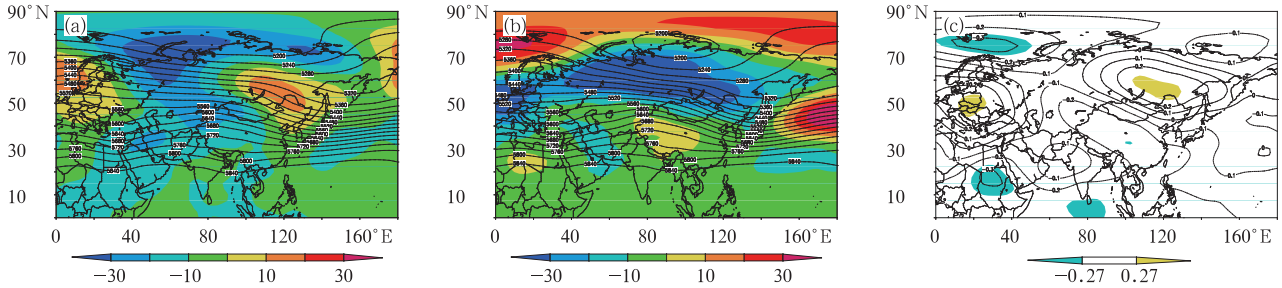


图 7 重庆连阴雨明显(a)和不明显(b)年春季 500 hPa 高度场及距平合成、重庆春季连阴雨累计持续日数与同期 500 hPa 高度场的相关系数(c)

(图 c 中阴影区为通过 0.05 显著性水平检验区域)

Fig. 7 The 500 hPa height and anomaly in spring with obvious (a) and without obvious (b) continuous rain; correlation coefficient of cumulative duration days of spring continuous rain in Chongqing and 500 hPa height (c) (Shaded areas in Fig. 7c show the regions having passed the 0.05 significance level test)



重庆连阴雨有较好的遥相关。

4.2 西太副高分析

仇永炎等(1993)研究指出,长江中下游地区的连晴和连阴雨与副热带急流、东亚 Hadley 环流,以及行星尺度辐散风场有关。春季西太副高西伸时,高层会强迫局地 Hadley 环流萎缩,切断两半球之间相互联系的辐散环流,从而使副热带急流减弱,长

江中下游地区出现连阴雨。

从表 2 可知,重庆春季连阴雨明显的年份,西太副高面积明显偏小,强度明显偏弱,西伸脊点明显偏东,脊线和北界位置都偏南;不明显的年份,西太副高面积和强度都接近于常年,西伸脊点偏西,脊线和北界位置偏北。由此可知,春季重庆的连阴雨与仇永炎等(1993)研究的长江中下游地区的连阴雨时期西太副高配置有明显的差别。

表 2 重庆春季连阴雨明显年和无连阴雨年西太副高各指数特征  
Table 2 Five indexes of West Pacific subtropical high in the years with obvious and without obvious spring continuous rain

|        | 面积指数  | 强度指数  | 西伸脊点/°E | 脊线位置/°N | 北界指数  |
|--------|-------|-------|---------|---------|-------|
| 多年平均   | 16.49 | 28.71 | 108.31  | 14.26   | 19.09 |
| 连阴雨明显年 | 12.6  | 21.73 | 116.2   | 13.8    | 18.07 |
| 无连阴雨年  | 16.33 | 27.78 | 105.72  | 14.28   | 19.72 |

综上所述,欧亚地区中高纬环流形势有利于冷空气南下,高原高度场偏低,西太副高面积偏小,强度偏弱,西伸脊点偏东,脊线和北界位置都偏南时,重庆春季容易出现连阴雨;当欧亚地区中高纬环流形势不利于冷空气南下,高原高度场偏高,西太副高面积偏大,强度偏强,西伸脊点偏西,脊线和北界位置偏北时,重庆春季不容易出现连阴雨。

5 前期气候信号分析

通过以上分析可知,重庆春季连阴雨发生频率高,持续时间长,影响范围广,连阴雨期间气温持续偏低。作为持续时间长的大尺度天气系统,连阴雨与同期的环流形势和西太副高的配置关系密切。但由于数值模式对月尺度和季节尺度的环流形势预测准确率仍然较低,因此,很有必要对前期冬季热带地区的海洋信号、对流活动和大气环流进行深入分析,探索影响重庆春季连阴雨的前期气候信号和影响关键区域,为提早准确预测春季连阴雨的发生提供科学依据。

5.1 前期海表温度

在全球变暖的背景下,近年来极端气候事件频繁发生,海温异常是气候异常的主要原因之一(鲍媛媛等,2007)。连阴雨不仅是南北两支西风带系统的相互作用产生的,热带赤道地区的系统对连阴雨的产生和维持同样具有重要作用(施宁,1990)。吴洪颜等(2003)研究表明,江苏省春季连阴雨次数受

ENSO 现象的滞后影响非常显著。厄尔尼诺事件对江苏春季连阴雨发生次数呈正效应,拉尼娜事件对当年江苏春季连阴雨无显著影响。因此,挑选了最敏感区域和关键月份作为预报因子,利用逐步回归建立了预测模型,对江苏的连阴雨有一定预测性(吴洪颜等,2004)。

对春季重庆全市平均累计持续日数与前期冬季海温进行相关分析,从图 8a 可知,重庆春季连阴雨强弱与前期冬季的台湾以东地区海温、南海海温和赤道中东太平洋海温呈显著负相关。由此可知,当上述地区出现冷海温时,重庆春季容易出现明显连阴雨;当出现暖海温时,重庆春季连阴雨不明显。当冬季受拉尼娜事件影响时,赤道中东太平洋海温呈负距平,当出现厄尔尼诺事件时,赤道中东太平洋海温呈正距平。由此表明,冬季有厄尔尼诺事件发生时,来年春季重庆不容易出现明显连阴雨,当有拉尼娜事件发生时,来年春季重庆容易出现明显连阴雨,且连阴雨出现的地区可能较多,持续时间可能较长。这一结果与厄尔尼诺年江苏(吴洪颜等,2004)和长江中下游地区春季连阴雨明显(施宁,1991)有明显差异。

从图 8b 可知,重庆春季连阴雨明显的年份前期冬季赤道中东太平洋地区、南海及台湾附近地区海温都偏低。由此表明,前期冬季这几个区域的海温对春季重庆连阴雨有一定的指示性。结合图 7a、图 10d 和连阴雨明显年前期冬季西太副高各指数(表略),重庆春季连阴雨明显的年份前期冬季西太副高面积偏小,强度偏弱,西伸脊点偏东,脊线和北

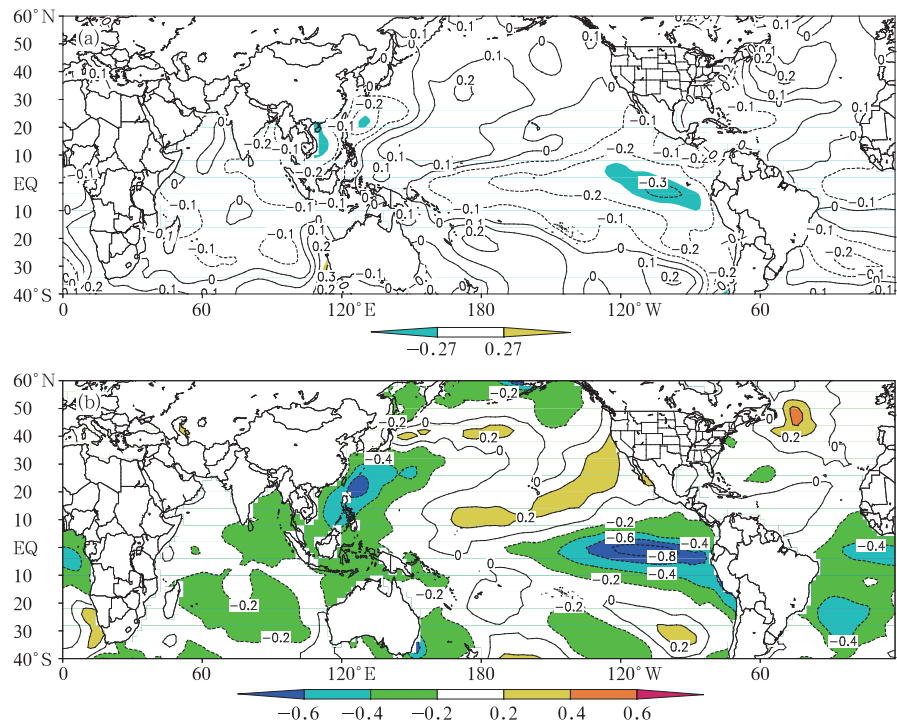


图 8 春季重庆连阴雨持续日数与冬季海温的相关系数(a,阴影区为通过 0.05 显著性水平检验区域)和连阴雨明显的年份海温距平合成分布(b)

Fig. 8 Correlation coefficient between cumulative duration days of spring continuous rain in Chongqing and winter sea surface temperature (a, shaded areas show the regions having passed the 0.05 significance level test) and winter sea surface temperature anomaly in obvious spring continuous rain (b)

界位置偏南。结合表 2 可知,前期冬季受拉尼娜事件影响时,赤道中东太平洋海温呈负距平,有利于西太副高的这种特征一直持续到春季。

5.2 前期冬季 OLR

射出长波辐射(outgoing long-wave radiation, OLR)是指地球大气系统在大气层顶向外空辐射出去的热辐射能量密度。OLR 的大小主要取决于云顶温度和下垫面温度,在低纬度地区 OLR 主要反映热带地区天气系统和对流活动状况。对流旺盛和频繁的区域,如热带辐合带(ITCZ)和季风区表现为 OLR 的低值区,而少云的赤道信风带则表现为 OLR 的高值区(Chelliah et al,1992)。OLR 的平均最大轴表征的西太副高脊线位置的季节性南北变动与高度场资料的研究结果一致(蒋尚城等,1989)。因此,OLR 被广泛应用于气候分析和气候预测(赵璐,2006;施宁等,1991;施宁,1990)。为进一步探索重庆春季连阴雨的前期气候预测信号,接下来对前期冬季热带地区的 OLR 进行深入分析。

OLR 负距平区表示该区域辐合上升运动剧烈,

赤道辐合带偏强,对流活动比较活跃,在 Hadley 环流的作用下副热带高压偏强(施宁,1990)。从图 9a 可知,春季重庆的连阴雨强弱与前期冬季赤道150°E地区的 OLR 呈显著负相关。由此可知,当前期冬季赤道150°E地区的 OLR 呈负距平时,即前期冬季这个地区对流加强时,来年春季重庆容易出现明显的连阴雨。从图 9b 可知,春季连阴雨明显的年份前期冬季,赤道中西部太平洋地区 OLR 呈明显负距平,辐合上升运动剧烈,对流活动旺盛,赤道辐合带偏强。这个辐合带一直持续到春季,我国中东部地区,包括重庆大部地区都处在上升运动区(图略),有利于对流云的生成,从而有利于重庆地区连阴雨的产生。从图 9c 可知,连阴雨不明显的年份前期冬季,赤道中西部地区上升运动不明显,150°E 地区对流活动不旺盛。由此表明前期冬季赤道 150°E 地区的对流活动对重庆春季的连阴雨具有前瞻性的指示意义。结合表 2 可知,前期冬季赤道 150°E 地区的 OLR 呈负距平时,即前期冬季这个地区对流加强,将有利于来年春季西太副高面积偏小,强度偏弱,西伸脊点偏东,脊线和北界位置偏南。

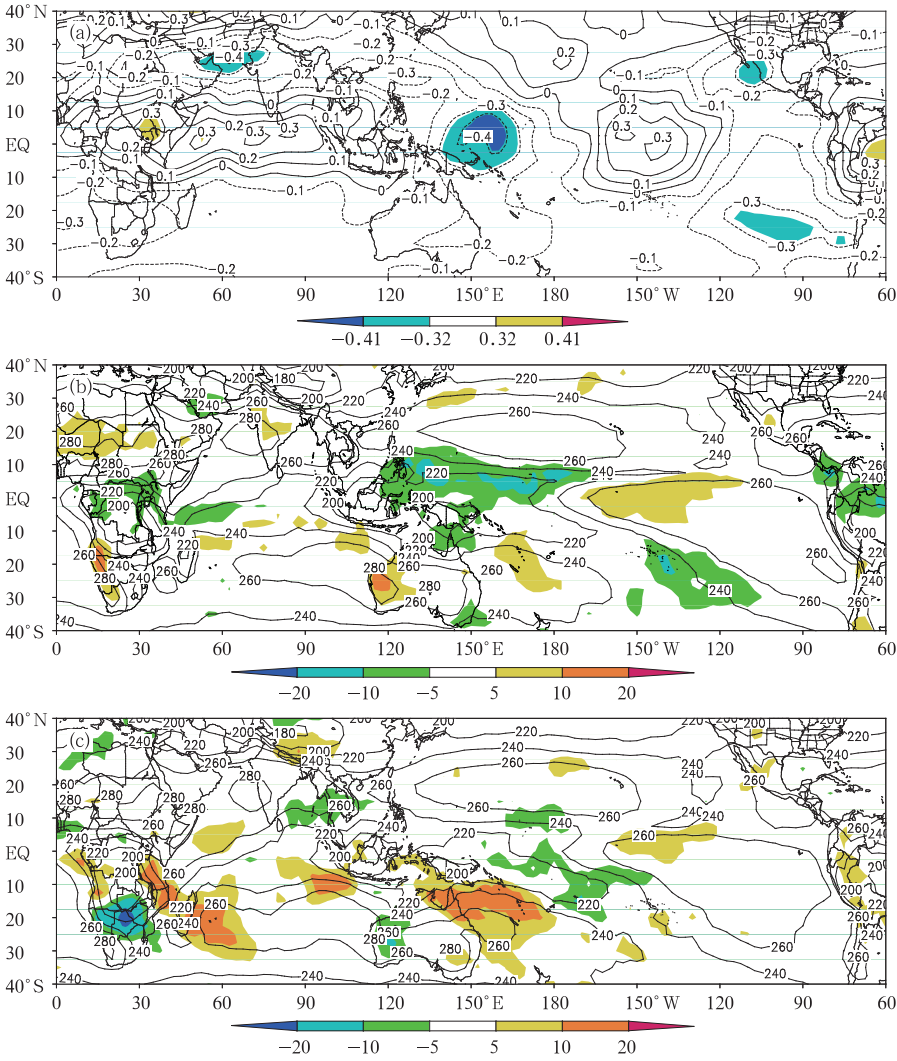


图 9 春季连阴雨累计持续日数与前期冬季 OLR 的相关系数(a,浅色阴影区为通过 0.05 显著性水平检验的区域,深色阴影区为通过 0.01 显著性水平检验区域);连阴雨明显的年份(b)和不明显的年份(c)前期冬季 OLR 距平合成分布  
Fig. 9 Correlation coefficient between cumulative duration days of spring continuous rain in Chongqing and winter OLR are the regions having passed the 0.05 significance level test and the dark shaded areas OLR are the regions having passed the 0.01 significance level test); winter OLR anomaly in years with obvious spring continuous rain (b) and without obvious spring continuous rain (c)

5.3 前期大气环流

每个季节的大气环流异常都是在上个季节环流异常的基础上发展演变而来的。因此,大气环流异常具有一定的持续性特征,季节之间存在着一定的内在联系。东亚地区季节间大气环流异常存在着较为密切的关联,且这种明显的非同步联系具有时空相关的显著特点(孙力等,2002)。据建华等(1999)研究表明,冬季大气环流形势与我国夏季东部降水关系密切,500 hPa 环流形势上槽脊的加深或减弱将影响雨带的分布。由此可知,对前期冬季环流的

显著性差异区域及与关系密切的关键区域的研究,将可为春季的连阴雨预测增加气候学意义的预测依据。

春季连阴雨是一种大尺度的天气现象,由大型的天气过程和环流系统支配。从图 10a 和 10b 可知,前期冬季 200 hPa 高度场上,重庆春季连阴雨的强弱与鄂霍次克海地区高度场呈显著正相关。在 500 hPa 高度场上,与鄂霍次克海地区高度场呈显著正相关,与台湾岛及其邻近地区的高度场呈显著负相关。从图 10c 可知,连阴雨明显的年份前期冬季 200 hPa 高度场呈北高南低型。西西伯利亚、贝

加尔湖、东西伯利亚及鄂霍次克海地区高度场偏高,我国大部地区高度场偏低。中纬度经向环流明显,容易引导冷空气南下影响我国地区。从图 10d 可知,500 hPa 高度场与 200 hPa 高度场相似,欧亚大陆北高南低的环流形势和中纬度地区的经向环流,使冷空气入侵我国的频率增加。由此表明,当前期冬季环流场为北高南低环流形势,经向环流明显,且中高层大气鄂霍次克海地区高度场偏高时,有利于来年春季重庆出现影响范围广、持续时间长的连阴雨

雨天气。

综合以上分析,前期冬季的环流形势对重庆春季的连阴雨有一定的指示意义。前期冬季受拉尼那事件影响,赤道中东太平洋海温呈负距平,赤道 150°E 地区对流加强,西太副高面积偏小,强度偏弱,西伸脊点偏东,脊线和北界位置都偏南。欧亚大陆环流形势呈北高南低,鄂霍次克海地区高度场偏高,中纬度地区的经向环流明显,有利于来年春季重庆地区较强连阴雨的发生。

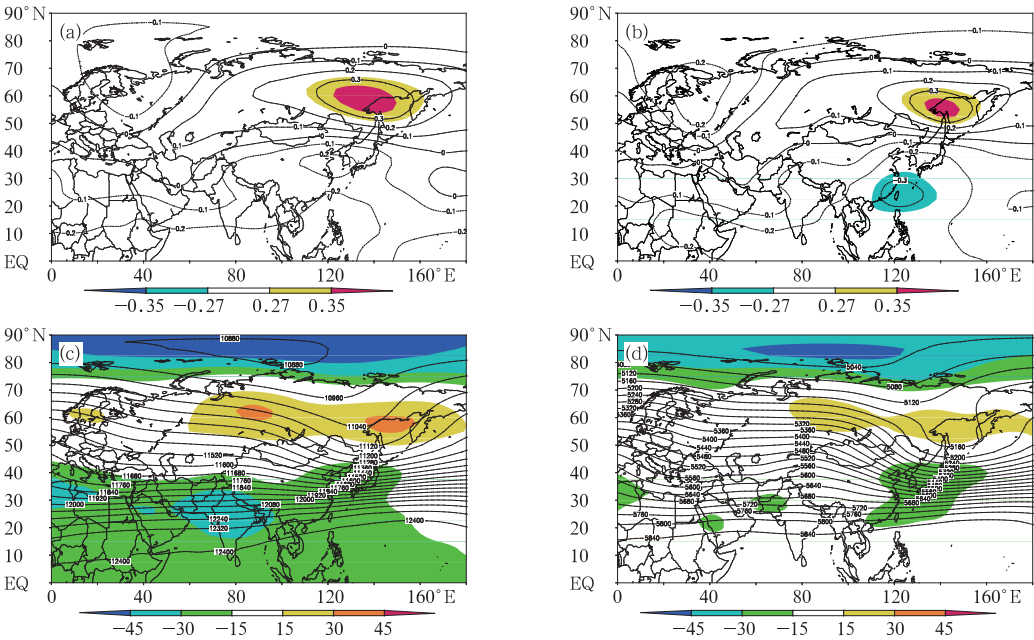


图 10 春季连阴雨累计持续日数与前期冬季 200 hPa(a)、500 hPa(b)高度场的相关系数(浅色阴影区为通过 0.05 显著性水平检验区域,深色阴影区为通过 0.01. 显著性水平检验区域)及连阴雨明显年份前期 200 hPa(c)和 500 hPa(d)高度场距平合成分布

Fig. 10 Correlation coefficient between the cumulative duration days of spring continuous rain in Chongqing and 200 hPa (a), 500 hPa (b) height anomaly circulation in winter (Light shaded areas show the regions having passed the 0.05 significance level test dark shaded areas are the regions having passed the 0.01 significance level test; 200 hPa (c), 500 hPa (d) height anomaly in years with obvious spring continuous rain

6 结论与讨论

本文通过对重庆春季连阴雨的时空分布特征进行了分析,讨论了春季连阴雨与同期的气温、环流形势、西太副高,前期冬季的海温、OLR、大气环流以及西太副高等之间的关系。得出以下主要结论:

(1) 重庆春季连阴雨有发生频率高的特征。春季各月都有可能发生影响范围广,持续时间也较长

的连阴雨,其中 3 月最容易出现,其次是 5 月。春季连阴雨的影响范围和持续时间存在一致的年代际变化特征。重庆的这种变化特征与三峡库区的变化基本一致。连阴雨明显的时段重庆受影响的站点数较多,影响范围较广,持续时间也较长。全市一致型的连阴雨在 20 世纪 60 年代后期到 70 年代前期存在 2~4 a 的振荡周期,20 世纪 80 年代后期到 2000 年存在 3~5 a 的振荡周期。东多西少型的连阴雨在 20 世纪 70 年代中期存在 3~4 a 的振荡周期,在



1993—2003 年期间存在 3~6 a 的振荡周期。连阴雨影响站点数或累计持续日数都能反映重庆连阴雨的强弱。

(2) 春季东北部和西部连阴雨出现频次相对较低,东南部相对较高。连阴雨分布主要为全市一致型和东多西少型。无论是全区一致型,还是东多西少型,东南部都容易出现持续时间较长的连阴雨。

(3) 连阴雨明显的年份气温偏低的概率大,连阴雨不明显的年份气温偏高的概率大。

(4) 春季巴伦支海地区的 500 hPa 高度场偏低,贝加尔湖以东地区偏高,欧亚地区中高纬环流形势有利于冷空气南下,高原高度场偏低,西太副高面积偏小,强度偏弱,西伸脊点偏东,脊线和北界位置偏南是重庆连阴雨发生的主要原因。

(5) 前期冬季受拉尼娜事件影响,赤道 150°E 地区对流加强,西太副高面积偏小,强度偏弱,西伸脊点偏东,脊线和北界位置都偏南。欧亚大陆环流形势呈北高南低,鄂霍次克海地区高度场偏高,中纬度地区的经向环流明显,有利于来年春季重庆地区较强连阴雨的发生。

# 参考文献

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. 气象, 33(5): 91-95.

重庆市质量技术监督局. 2008. 气象灾害标准 DB50/T 270-2008.

冯明,邓先瑞,吴宜进. 1996. 湖北省连阴雨的分析. 长江流域资源与环境, 5(4): 92-97.

姜爱军,田心如,王冰梅. 1997. 连阴雨灾害评估模型的研究. 灾害学, 12(2): 49-53.

蒋尚城,戴志远. 1989. 卫星观测的西太平洋副热带高压的气候学特征. 科学通报, 34(19): 1492-1493.

蒋竹将,马振峰,刘佳,等. 2014. 一种改进的华西秋雨指数及其气候特征. 大气科学, 38(1): 32-44.

据建华,邓松,陈兴芳,等. 1999. 冬春 500 百帕高度场与中国夏季降雨场的相关分析. 热带气象学报, 15(2): 154-157.

李麦村,潘菊芳,田生春. 1977. 春季连续低温阴雨天气的预报方法. 北京: 科学出版社.

仇永炎,熊文全,关于辉. 1993. 用综合平均法分析长江中下游春季连阴雨、连晴时期环流的若干问题. 气象科学, 13(3): 40-47.

施宁. 1990. 长江中下游春季连阴雨及厄尔尼诺年的环流背景. 气象, 16(12): 10-16.

施宁. 1991. 长江中下游春季连阴雨的环流背景及其低频振荡背景. 气象科学, 11(1): 107-115.

施宁,朱盛明. 1991. 春季热带地区 OLR 低频振荡及其与长江中下游连阴雨. 大气科学, 23(2): 55-64.

孙锦铨,陈永秀. 1991. 长江中下游春季连阴雨天气气候分析. 气象, 17(5): 31-36.

孙力,安刚. 2002. 东亚地区春冬季与夏季大气环流异常相互关系的研究. 应用气象学报, 13(6): 650-661.

吴洪颜,武金岗,高苹. 2003. 江苏省春季连阴雨和太平洋海温的响应关系研究. 防灾减灾工程学报, 23(4): 82-86.

吴洪颜,武金岗,赵凯,等. 2004. 用海温作江苏省春季连阴雨的预报模型. 科技通报, 20(6): 43-47.

杨茜,李轲,高阳华. 2010. 重庆地区空中水资源的时空分布特征. 气象, 36(8): 100-105.

赵璐. 2006. 长江流域连续性暴雨过程与前期 OLR 场的相关分析. 杭州: 浙江大学.

朱盛明. 1991. 长江中下游春季连阴雨、连晴天气研究. 气象, 17(5): 22-30.

邹旭恺,张强,叶殿秀. 2005. 长江三峡库区连阴雨的气候特征分析. 灾害学, 20(1): 85-90.

Chelliah M, Arkin P. 1992. Large-scale interannual variability of monthly outgoing longwave radiation anomalies over the global tropics. J Climate, 5(4): 371-389.

Torrence C, Compo GP. 1998. A practical guide to wavelet analysis. Bull Amer Meteor Soc, 79(1): 61-78.