

A Study of the Climatic Anomaly of the Spring Precipitation in Southern China

Shaoyong Chen^{1,2}, Chao Wu², Kaizhong Guo², Xiaofen Zhang²

¹Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu, Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of China Meteorological Administration, Lanzhou

²Meteorological Bureau of Baiyin, Baiyin, Gansu
Email: csy505@126.com

Received: Oct. 30th, 2013; revised: Dec. 2nd, 2013; accepted: Dec. 10th, 2013

Copyright © 2014 Shaoyong Chen et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2014 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Shaoyong Chen et al. All Copyright © 2014 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Using the precipitation data of 224 stations in Southern China over the years of 1961-2010 and adopting the methods of linear regression analysis, multinomial fitting, EOF, Mann-Kendall and Glide T-examination etc., we analyzed the spatial anomaly features and time evolution rule of the spring precipitation in Southern China. The results showed that: 1) spring precipitation in Southern China increased from west to east, and the high value of the centers is in eastern Guangdong-border area of Jiangxi and Fujian, while there is a dry tongue area in Northern Yunnan and Southern Sichuan. The presence of this dry tongue area may be an important reason leading to spring drought in south-west region. Spring precipitation was at a rate of 2.32 mm/10a which did not significantly decrease near 50 a. It increased in March and decreased in December and February; however, the three-month trend was not significant. Spring rainfall experienced a “drop-down-drop” fluctuation stage: it reduced during 1961-1963, increased during 1964-1975, and then decreased slowly. Spring rainfall was less than normal in 1960s, more than normal in 1970s-1980s, around the average in 1990s, and less than normal in 2000s. The stability of spring rainfall increased from north and south to central region. The largest variability of precipitation was in Yunnan-Southern Sichuan. 2) Spring precipitation decreased in most regions, but increased significantly in Northern Yunnan-Southwest Sichuan, and reduced significantly in Guizhou-Hunan. 3) Using the analysis of EOF method, we divide the abnormalities of spring precipitation in Southern China into three common distributive modes: unanimous model of all areas, difference model of South-North and model of Yunnan-Guizhou Plateau. This distribution may be related to wind anomaly over 850 hPa. 4) The highest value center of southern flood and drought frequency is in Yunnan-Southern Sichuan, and the second highest center is in south of the Five Ridges. The range of flood years is wider than that of drought years. In Northern Yunnan-Southern Sichuan, drought occurred mainly in 1960s, the late 1980s to the late 1990s, and the late 2000s, and flood occurred mainly in 1970s to 1980s, and the late 1990s to the middle 2000s.

Keywords: Spring Precipitation; Climatic Anomalies; Southern China

中国南方春季降水的异常研究

陈少勇^{1,2}, 吴超², 郭凯忠², 张晓芬²

¹中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州

²白银市气象局, 甘肃白银
Email: csy505@126.com

收稿日期: 2013年10月30日; 修回日期: 2013年12月2日; 录用日期: 2013年12月10日

摘要: 利用我国南方224个测站, 近50 a地面降水资料和NECP资料, 采用线性趋势分析、EOF、Mann-Kendall、合成分析等方法, 分析了南方春季降水异常变化的规律。结果表明: 1) 南方春季降水自西向东递增, 高值中心

分别在广东和赣闽交界区,而在滇北川南有一干舌区,这个干舌区的存在可能是导致西南地区春季易出现干旱的重要原因之一。近 50 a 南方春季降水以 $-2.42 \text{ mm}/10\text{a}$ 的速率不显著减少,其中,3 月增多,4 月和 5 月减少,各月的趋势都不显著。春季降水经历了“降-升-降”的波动阶段:1961 年~1963 年减少,1964 年~1975 年增多,其后缓慢减少。其中,1960s 偏少,1970s~1980s 偏多,1990s 围绕平均值波动,2000s 偏少;春季降水的稳定性,从南北向中部递增,云南-川南变率最大;2) 大多数区域春季降水减少,但滇北-川西南显著增加,黔中-湘中显著减少;3) 春季降水异常主要有 3 种分布模态:全区一致型、南北差异型和云贵高原型,这种分布与 850 hPa 风场异常有关联;4) 云南-川南是南方旱涝频率高值中心,另外岭南有次高中心,涝年出现的范围较早年较为均匀。滇北-川南的干旱主要出现在 1960s、1980s 后期~1990s 后期、2000s 末期,洪涝主要出现在 1970s~1980s 中期、1990s 末期~2000s 中期。

关键词: 春季降水; 气候异常; 中国南方

1. 引言

随着社会经济的发展,春季降水在我国社会发展方面的影响愈来愈突出,其异常引起广泛的关注和研究^[1-6]。例如,1970 年长江中下游地区因低温烂种烂秧损失稻种达 4 亿公斤。1976 年长江中下游因“倒春寒”损失稻种达 6.5 亿公斤。1968、1988 年我国南方春季低温冷害程度最重,尤其是 1968 年更甚。1988 年是建国以来春季低温冷害面积最大而冷害程度最重的年份^[7,8]。又如 2009/2010 年冬春季节我国西南地区发生了持续干旱^[9-11],这些极端旱涝天气过程具有持续时间长,影响范围广,强度大,社会影响大及经济损失重等特点,对农业、养殖业、电力、交通和人们的日常生活造成重大影响。

冬春季,我国的主要降水区在南方,春季也是南方降水年际变化最明显的区域,因而对南方春季降水的研究就显得格外重要。有关南方降水变化的研究主要侧重于季风、海温、ENSO 的响应关系方面^[12-15]。也有一些有关地面降水方面的研究。如邓汗青等^[16]分析了长江中下游地区春季降水与梅雨期降水的连续变化特征,指出,长江中下游地区春季降水量年际和年代际变化较为显著,其中连续旱和连续涝事件发生较多。前冬 Nino3 区的海温与春季和梅雨期降水量相关显著,前冬青藏高原积雪深度与 6 月西太平洋季风指数与梅雨期降水量相关显著。蒋品平等^[17]分析了中国南方春季降水强度和位置的年际变率及其与大气环流的关系。他们认为,在年代际尺度上,江南春季降水在 1960s 中、后期偏少,1970s 中期到 1980s 初偏多,1990s 初开始减少;在年际尺度上,当春季

西太平洋副热带高压和青藏高原东侧的低层低压系统加强时,江南地区降水偏多;当春季西太平洋副热带高压以及青藏高原东侧低压系统加强且异常中心位于 30°N 以北时,江淮地区降水增加,而华南地区降水减少。陶云等^[18]分析云南地区降水的时空特征,指出近 50 年来云南降水量夏、秋减少,春、冬季增加,年降水减少;云南年、四季降水有着明显年代际变化趋势;近 50 a 来云南降水量变化也存在明显的区域分布特征。年降水量及秋季降水量基本为西增加东减少型,春季降水为全省一致增多型,夏季降水几乎为全省一致减少型,冬季降水滇西南减少其余大部增加。吴滨^[19]分析了福建 1961~2003 年的降水变化趋势,结果:全年、春季、夏季全省降水以正的趋势为主,而雨季降水以负趋势为主,秋冬季趋势不明显。其后应用旋转主因子分析方法对年、季降水进行区域性分析,结果表明全省降水变化主要以南北向变化为主,东西向为次,同时给出了各季具体的分区范围。然而,已有的工作对整个南方降水异常及其旱涝特征的研究比较少,因此有必要专门分析。本文利用我国南方近 50 a 的地面观测资料,进一步分析南方春季降水异常的时空变化特征,为有关旱涝灾害的风险评估、预测提供背景。

2. 资料与方法

中国南方,指中国东部季风区的南部,主要是秦岭-淮河一线以南,东临东海,南临南海。包括江苏大部、安徽南部、浙江、上海、湖北、湖南、江西、福建、云南大部、贵州、四川东部、重庆、广西、广东;南方地区地势东西差异大,主要位于第二、三级

阶梯, 东部平原、丘陵面积广大, 长江中下游平原是我国地势最低的平原; 江南丘陵是我国最大的丘陵, 大多有东北-西南走向的低山和河谷盆地相间分布; 南岭地区岩浆岩分布广泛; 西部以高原、盆地为主; 横断山脉和秦岭山脉是我国重要的地理分界线。我们的研究范围: $97.5^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$, $20.3^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$, 不含台湾及南海诸岛。

南方地区以热带亚热带季风气候为主, 夏季高温多雨, 冬季温和少雨。华南地区受冷暖空气作用、季风的暴发等所致 4 月至 6 月为第一个多雨季节—华南前汛期。东部沿海地区夏秋季节受台风影响大。春季气温在 15 度以上, 岭南、滇南气温在 20°C 以上^[20]。

选取我国南方 224 个气象站 1961~2010 年逐年实测地面月降水资料和 NCEP/NCAR 再分析格点资料, 资料取自中国气象局信息中心, 可信度高。

使用线性趋势分析计算了降水变化倾向率, 并通过时间与降水之间的相关系数[®]检验趋势显著性, 相关系数的临界值: $r_{0.1} = 0.2355$ 、 $r_{0.05} = 0.2789$ 、 $r_{0.01} = 0.3613$ 、 $r_{0.001} = 0.4519$ 。

另外使用世界气象组织推荐并已广泛应用的非参数检验方法: Mann-Kendall 方法^[21]以及滑动 t-检验方法共同分析突变特征; 对标准化降水资料使用 EOF 方法^[22,23]提取春季降水异常的主模态。

等值线图使用 Surfer 软件绘制, 其中数学插值模型使用 Kriging 法。

3. 春季降水空间分布

春季平均等雨量线基本称经向分布(图 1), 自东向西递减。在东部有两个 700 mm 以上的降水高值中心, 一个在赣闽交界区(福建邵武 729 mm), 另一个在广东(佛岗 802 mm)。从中心向西到贵州以东, 大部分地方降水量在 400 mm 以上, 仅北部的苏南、浙北、鄂南 250~400 mm, 川东—贵州高原降水等值线稀疏, 降水量值 200~400 mm; 在云南北部四川南部有一干舌区, 降水 100~200 mm, 这个干舌区的存在是导致我国云南地区春季易出现干旱的重要原因之一。常年春季, 700 hPa 上, 青藏高原南侧的扰流在高原东南侧形成一个从孟加拉湾—成都的宽广低槽, 但在缅甸北部有一个高脊将这个低槽扰动呈 W 形状, 云南处于脊前槽后的下沉气流中, 不利于降水, 而长江中下游位于槽前西南暖湿气流中, 易于和来自北方的冷空气汇

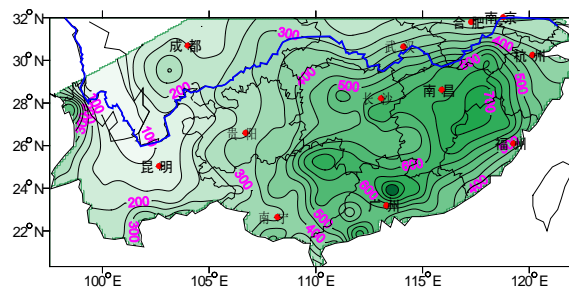


Figure 1. Spatial distribution of the spring precipitation in Southern China

图 1. 中国南方春季降水空间分布

合, 有利于降水。

和冬季相比, 降水量剧增, 特别是东南部, 这与 4~6 月的华南前汛期有关。强学民等^[24]将前汛期降水分为 4 月、5 月和 6 月三个阶段, 并将 4 月第一候确定为前汛期的开始。

4. 春季降水时间变化

4.1. 降水年际变化

图 2(a)是南方春季降水的年际演变曲线图。从图中可以看出, 中国南方春季降水有不显著的线性减少趋势, 气候倾向率 $-2.32\text{ mm}/10\text{a}$ 。自 1961 年以来, 南方春季降水经历了“降-升-降”的波动阶段: 1961 年~1963 年减少, 1964 年~1975 年增多, 其后缓慢减少。其中, 1960s 以偏少为主, 1970s~1980s 以偏多为主; 1990s 围绕平均值波动, 2000s 以来降水偏少。这一结论与文献^[17]的研究结果基本一致。降水的这种演变趋势在各中区域异常分布上具有较大差异, 在后面将进一步讨论。

从 M-K 曲线图(图 2(b))来看, UF 线表现出明显的阶段性特征: 1961~1963 年下降, 1963~1984 年呈增加趋势, 1984 年以后一直下降, 通过 0.05 水平的显著性检验。UF 线与 UB 线有明显交点且达到 0.05 水平线, 说明南方春季降水有突变现象, 结合滑动 t-检验方法和图 2(a)判断出突变点在 1965 年和 2004 年。

4.2. 降水趋势

在 50 a 尺度上, 我国南方平均春季降水有不显著的减少趋势, 倾向率 $-2.32\text{ mm}/10\text{a}$ 。春季各月中, 3 月增多 $2.74\text{ mm}/10\text{a}$, 4 月减少 $-2.96\text{ mm}/10\text{a}$, 5 月减少 $-2.1\text{ mm}/10\text{a}$, 但都不显著。

为便于分析降水趋势的显著性, 将春季降水的倾

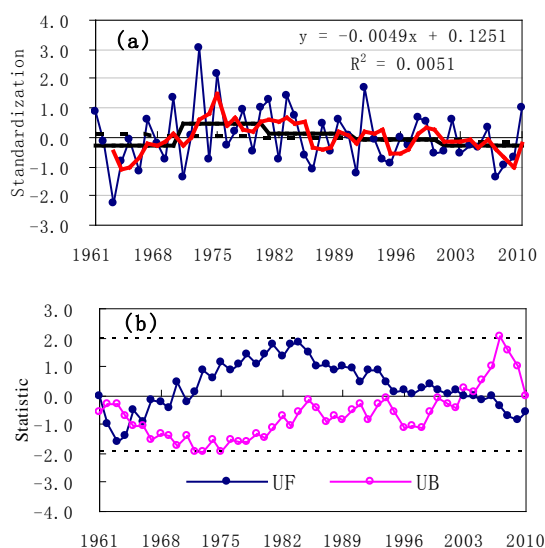


Figure 2. Interannual variation (a) and M-K check curve chart (b) of the spring precipitation in Southern China (the black dash line for linear trends and slide the red line for the three-year trend in (a); A, B for marginal value in (b))

图 2. 南方春季降水年际变化(a)和 M-K 检验曲线图(b); (a)中黑虚线为线性趋势, 红线为三年滑动趋势; (b)中 A、B 为显著水平 $\alpha = 0.05$ 的临界值

向率和显著性检验区叠加在一起绘制空间分布图(图 3)。从图 3 可以清楚地看到, 我国南方大多数区域春季降水减少, 但云南 - 川东南、粤南、闽南 - 赣东南、湘东南有不显著增加趋势。其中滇北 - 川西南显著增加, 倾向率 10 mm/10a 以上; 黔中 - 湘中显著减少, 倾向率 -20 mm/10a 以下。

4.3. 降水变率

该区春季降水的标准差平均 115 mm, 从西向东递增, 降水量大的地方方差大, 滇北 - 成都平原最小, 一般在 60 mm 以下, 东部的江西、浙西、福建大部、广东、广西南部一带在 150~200 mm 之间, 在广东有一大值中心 250~340 mm(图略), 这与降水大值的分布有关, 降水量大的地方, 围绕平均值的振荡幅度大, 因而方差大。各月中以 5 月 79 mm 为最大, 其次是 4 月 60 mm、3 月 45 mm。这是由于, 随着东亚季风的发展, 降水量随时间不断增多的结果。

该区春季降水的相对变率平均 32%, 从南北向中部递减, 在黔东 - 桂北 - 湘南 - 赣中形成最小中心, 一般在 25% 以下, 南部海岸线一带 35%~45%, 云南 - 川南、秦岭南部各有一个变率中心, 其中云南北部最大达 60%(图略)。变率大的地方易出现旱涝, 这也

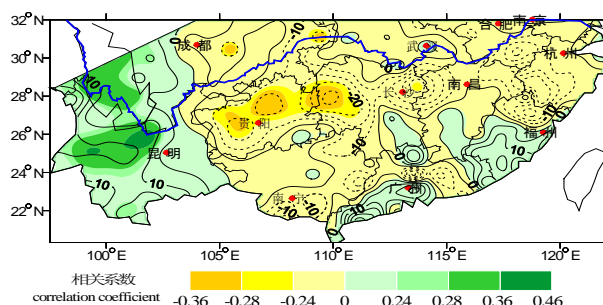


Figure 3. The spatial distribution of linear trend of long-term variation of the spring precipitation in Southern China (contour lines: the incalcescence rate/10a, shaded area: correlation coefficient)

图 3. 中国南方春季降水线性趋势空间分布图(等值线: 趋势/10a, 阴影区: 相关系数)

就是云南 - 川南出现旱涝的频率要高于其它地方的原因。各月中以 3 月 65% 为最大, 其次是 4 月 52%, 5 月 48%。

5. 春季降水异常特征

5.1. 主模态空间分布

对降水场进行 EOF 分析, 前 10 个载荷向量的累积方差贡献率接近 70%, 使用 North 等^[25]的经验判据, 仅截取其前 3 个载荷向量(LV1~LV3)及其对应的时间分量或主成分(PC1~PC3)就能较好地解释该区降水时空变化的主要特征。而且前三个载荷向量的方差贡献较大, 都在 10.3% 以上, 第四个载荷向量的方差贡献 5.6%, 以后载荷向量的方差贡献都小于 5%。因此, 以下主要讨论前三个主模态的分布及其时间变化特征。

图 4 中, 第 1 载荷向量 LV1, 全区以负值为主, 川东以东的长江北部有较小的正值区。有 50% 的站载荷值在 -0.88~-0.28 之间(通过 $\alpha = 0.05$ 显著水平检验), 绝对值高值在赣南 - 闽西。说明江南一致增多或减少是春季降水异常最常出现的情况; 第 2 载荷向量 LV2, 呈西南与东北相反, 载荷值零线从成都 - 贵阳 - 向东岭延伸福州。区内东北部的长江中下游平原降水距平与西南部的云贵高原降水距平变化相反, 东北部降水距平与 PC2 序列呈较强的正相关关系, 西南部降水距平与 PC2 序列呈较弱的负相关关系, 是中国南方春季降水的另一异常分布型, 简称为“南北差异型”模态; 第 3 载荷向量 LV3, 呈东南与西北相反, 以西北为主, 中心值在川南 - 云南, 载荷值零线呈东北 - 西南向从杭州 - 南昌 - 南宁, 也是中国南方春季次常出现的降

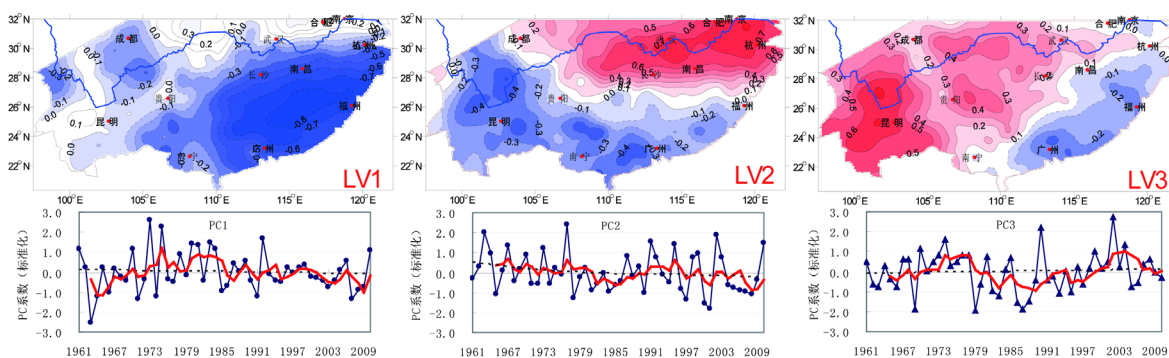


Figure 4. The first 3 characteristic vectors (LV1-LV3) of the EOF analysis and their corresponding time coefficient (PC1-PC3) of the spring precipitation in Southern China

图 4. 中国南方春季降水 EOF 分析的前 3 个特征向量(LV1-LV3)及其对应的时间系数(PC1-PC3)

水异常分布型，可称为“云贵高原”模态。

前 7 个载荷向量累计方差超过 60%，代表了大多数春季降水的异常形式。因此，取 PC1~PC7 绝对值最大的年作为该异常型的典型年，则第一型的典型年是 1961、1963、1966、1970、1973、1975 年，第二型的典型年是 1977、1978、1996、1997、2000、2001 年，第三型的典型年是 1969、1974、1979、1987、1990、1993、2002、2004、2006 年。分别对这三个异常型的典型年用 850 hPa 矢量风及其距平进行合成分析(图 5)，在高空风场上，各异常型都处于来自西太平洋副热带高压西部和来自孟加拉湾的西南风控制之下。但在距平场上，第一型，整个区域处于西太副高后部矢量风距平反气旋中，风速距平中心南北向纵贯南方中部，最大值 3.5 m/s；第二型，北部为矢量风距平反气旋，南部为矢量风距平气旋，风速距平较弱，中心在广西；第三型，东部位于矢量风距平反气旋后部的西南气流中，距平反气旋中心在海洋上，西部位于矢量风距平气旋中，距平气旋中心在青藏高原北部。矢量风距平场的这种配置与降水异常型基本一致，说明南部春季降水整体异常与风场的异常变化关系密切。

5.2. 降水整体异常的时间变化

因 LV1 全区以负值为主，因此图 4 将 PC1 乘以 (-1)，这样，其变化就和区域平均值一致了，其年代际变化已在前面表述过，代表南方大多数区域，主要是东南部降水的整体演变。以 1.5 倍方差为标准确定异常年份(下同)，曲线的低值点 1963 年是东南部降水异常偏少的年份，曲线的高值点 1973 年、1975 年、1992、1983 年依次是东南部降水异常偏多的年份。

PC2 具有不显著的下降趋势，即长江中下游降水

略减少，云贵高原 - 岭南春季降水略增多，但 1990s 以来，这种趋势更加明显。该模态主要反应了长江中下游的降水变化，如曲线的低值点 1977 年、1963 年、2002、1991 年是长江中下游降水异常偏多的年份，2001 年、2000 年则是该区域降水异常偏少的年份。

PC3 近 50 年无明显变化趋势，云贵高原经历了两次波动：1961~1978、1997~2002 年两次增加期，1978~1996 年、2002~2010 年两次减少期。东南沿海区恰相反。2002 年、1990 年、1974 年是该区域异常偏多年，1979 年、1987 年、1969 年、1986 年则是该区域异常偏少年。

5.3. 春季旱涝特征

参照中国气象局《干旱监测和影响评价业务规定》，将季度降水量距平百分率 $\leq 50\%$ 和 $> 50\%$ 分别作为干旱和洪涝的划分指标，统计春季各站旱涝频率(图 6)。从图 6 可以看出，南方的春季旱涝分布具有相似之处，中心都在云南 - 川南，旱涝频率 10%~25%，另外岭南都有次高中心，旱涝频率 5%~20%，涝年出现的范围较早年较为广泛(图 6(b))。这种分布格局与前面讨论的相对变率基本一致，也与降水的异常分布型有相关之处。

分析滇北 - 川南 27 个站降水距平百分率的平均值序列演变(图略)，干旱主要出现在 1960s、1980s 后期~1990s 后期、2000s 末期，洪涝主要出现在 1970s~1980s 中期、1990s 末期~2000s 中期。另外，发现这一序列与 PC3 的变化趋势基本相同，两者之间的相关系数高达 0.82，说明“云贵高原”异常模态的演变能够代表南方旱涝的变化规律，也说明了我们分析

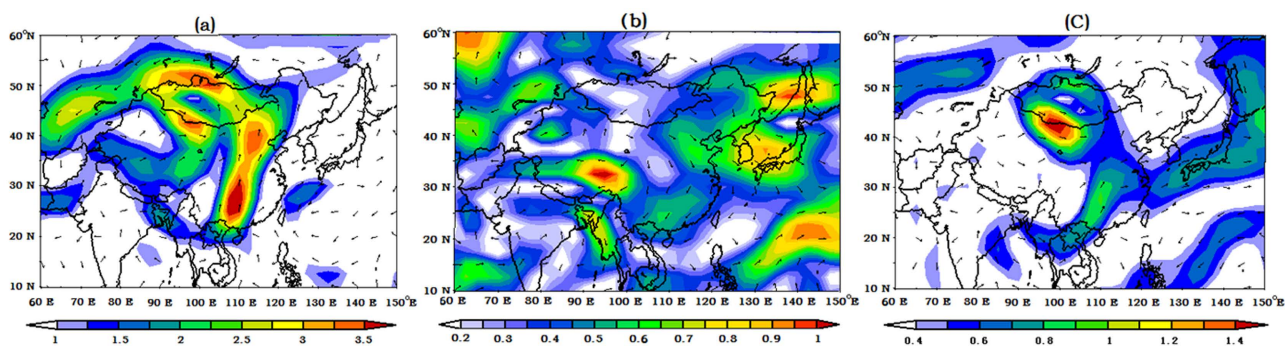


Figure 5. Three kinds of 850 hPa vector wind anomalies synthetic field of the spring precipitation anomaly patterns in Southern China
图 5. 中国南方春季降水三种异常型典型年 850 hPa 矢量风距平台合成场

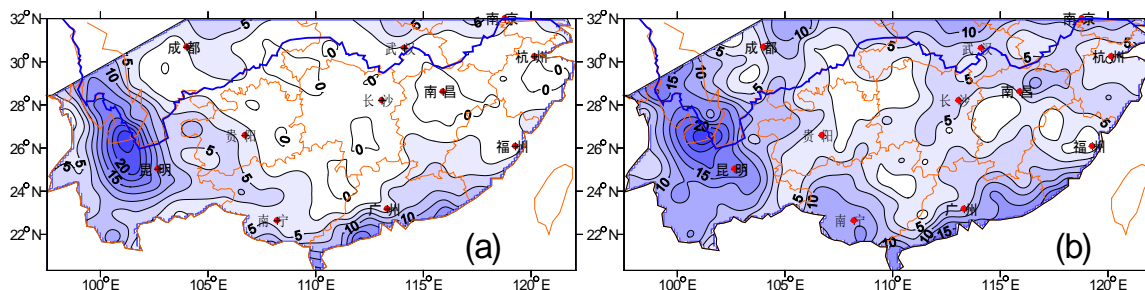


Figure 6. The frequency distribution of the spring drought (a) and floods (b) in Southern China
图 6. 中国南方春季旱(a)涝(b)频率分布

的合理性。

各月的旱涝分布与春季基本相同，云南 - 川南仍然是主要高发区，其次是岭南。从 3 月到 5 月，干旱范围逐步缩小、干旱频率逐步减少。干旱频率以 3 月最高，主要分布在四川、云南、黔南、闽南、岭南大部，高频中心在川南 - 云南，频率为 40%~66%；其次是 4 月，主要分布在川南 - 云南，高频中心 28%~48%，其次是岭南沿岸区；5 月干旱高发区缩小，主要在云南，频率 20%~28%；各月洪涝分布同春季，但频率相差不大。

6. 小结和讨论

1) 我国南方春季降水自西向东递增，高值中心分别在广东和赣闽交界区，而在云南北部和四川南部有一干舌区，这一干舌区的存在是导致我国西南地区春季易出现干旱的重要原因之一。近 50 a 南方降水以 $-2.32 \text{ mm}/10\text{a}$ 的速率不显著减少，春季降水经历了“降 - 升 - 降”的波动阶段：1961 年~1963 年减少，1964 年~1975 年增多，其后缓慢减少。其中，1960s 以偏少为主，1970s~1980s 以偏多为主，1990s 围绕平均值波动，2000s 以来降水偏少。应当指出，这种变

化趋势，主要代表了东南部；春季降水的稳定性，从南北向中部递增，在黔东 - 桂北 - 湘南 - 赣中形成一个相对稳定中心，而在云南 - 川南变率最大，这也就是云南 - 川南出现旱涝的频率要高于其它地方的原因。

2) 我国南方大多数区域春季降水减少，但云南 - 川东南、粤南、闽南 - 赣东南、湘东南有不显著增加趋势。其中滇北 - 川西南显著增加，倾向率 $10 \text{ mm}/10\text{a}$ 以上；黔中 - 湘中显著减少，倾向率 $-20 \text{ mm}/10\text{a}$ 以下。

3) 根据 EOF 分析，南方春季降水异常的主要分布模式：全区一致型、南北差异型和云贵高原型；通过合成分析，发现降水异常与 850 hPa 风场的异常有关联。

4) 以降水距平百分率 $\leq -50\%$ 、 $>50\%$ 分别作为干旱和洪涝的指标，南方春季旱、涝分布具有相似之处，中心都在云南 - 川南，旱涝频率 10%~25%，另外岭南都有次高中心，旱涝频率 5%~20%，涝年出现的范围较早年较为广泛。这种分布格局与前面讨论的相对变率基本一致，也与降水的异常分布型有相关之处。滇北 - 川南的干旱主要出现在 1960s、1980s 后期

~1990s 后期、2000s 末期, 洪涝主要出现在 1970s~1980s 中期、1990s 末期~2000s 中期。我们以距平百分率界定一地的旱涝, 把旱涝作为一个相对平均值百分比的概念, 具有普遍意义。但降水量大的地方, 方差大, 也能产生旱涝, 特别是洪涝, 这一问题有待于以后进一步探索。

基金项目

“国家重点基础研究发展计划(973)” 2013CB430200(2013CB430206)。

参考文献 (References)

- [1] 简茂球, 秦晓昊, 乔云亭, 等 (2007) 中国南方春季大尺度大气水汽汇时空变化特征. *气候变化研究进展*, **2**, 74-79.
- [2] 李秀珍, 梁卫, 温之平 (2010) 华南秋、冬、春季水汽输送特征及其与降水异常的联系. *热带气象学报*, **5**, 626-632.
- [3] 白旭旭, 李崇银, 谭言科, 等 (2011) MJO 对我国东部春季降水影响的分析. *热带气象学报*, **6**, 814-822.
- [4] Wang, H.J., Xue, F. and Zhou, G.Q. (2002) 中国华南春季季风及其与大尺度环流特征的关系. *大气科学进展*, **4**, 651-664.
- [5] Wang, H.J., Xue, F. and Zhong, G.Q. (2002) The spring monsoon in South China and its relationship to large-scale circulation features. *Advances in Atmospheric Sciences*, **19**, 651-654.
- [6] 周明森, 简茂球, 乔云亭 (2013) 华南 4-5 月持续性干旱及其环流背景. *气象学报*, **1**, 76-85.
- [7] 刘传凤, 高波 (2001) 我国南方春季低温冷害气候及其大气环流特征. *热带气象学报*, **2**, 179-187.
- [8] 张庆辰 (1993) 南方春季低温连阴雨. In: 马宗晋, Ed., 中国自然灾害丛书, 科学出版社, 北京, 167-173.
- [9] 熊光洁, 张博凯, 李崇银, 等 (2013) 基于 SPEI 的中国西南地区 1961-2012 年干旱变化特征分析. *气候变化研究进展*, **3**, 192-198.
- [10] 周秉根, 陈建业, 何俊杰, 等 (2012) 2009-2010 年冬春季节我国西南地区持续干旱的成因分析. *安徽师范大学学报: 自然科学版*, **1**, 52-55.
- [11] 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. *大气科学*, **3**, 443-457.
- [12] 李宏毅, 林朝晖, 陈红 (2012) 我国华南 4、5 月份降水年代际变化的特征及其与中西太平洋海温的可能关系. *气候与环境研究*, **4**, 481-494.
- [13] 李崇银, 穆明权 (1998) 异常东亚冬季风激发 ENSO 的数值模拟研究. *大气科学*, **4**, 481-490.
- [14] Chen, W., Lan, X.Q., Wang, L., et al. (2013) The combined effects of the ENSO and the Arctic Oscillation on the winter climate anomalies in East Asia. *Chinese Science Bulletin*, **58**, 1355-1362.
- [15] Du, Y.-G., Song, J.-J. and Tang, J.-P. (2013) Impacts of different kinds of ENSO on land falling tropical cyclones in China. *Journal of Tropical Meteorology*, **19**, 39-48.
- [16] 邓汗青, 罗勇 (2013) 近 50 年长江中下游春季和梅雨期降水变化特征. *应用气象学报*, **1**, 23-31.
- [17] 蒋品平, 赵平 (2012) 春季中国南方雨带年际变动与大气环流异常. *气象学报*, **4**, 681-689.
- [18] 陶云, 何群 (2008) 云南降水量时空分布特征对气候变暖的响应. *云南大学学报(自然科学版)*, **6**, 587-595.
- [19] 吴滨 (2005) 福建省近 50 年降水趋势及区域变化特征. *台湾海峡*, **4**, 440-447.
- [20] 陈少勇, 郭忠祥, 白登元, 等 (2010) 中国东部季风区春季气候的变暖特征. *热带气象学报*, **5**, 606-613.
- [21] 魏凤英 (1999) 现代气候统计诊断与预测技术. 气象出版社, 北京, 69-70.
- [22] 黄嘉佑 (2000) 气象统计分析与预报方法. 气象出版社, 北京.
- [23] 陈少勇, 王劲松, 石圆圆, 等 (2009) 中国东部季风区 1961 年-2006 年年平均气温变化特征. *资源科学*, **3**, 462-471.
- [24] 强学民, 杨修群 (2008) 华南前汛期开始和结束日期的划分. *地球物理学报*, **5**, 1333-1345.
- [25] North, G.R., Thomas, L.B. and Cahalan, R.F. (1982) Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Monthly Weather Review*, **110**, 699-706.