

Analysis of the Spatial and Temporal Characteristics of the Winter Precipitation in Southern China

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

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

Email: csy505@126.com

Received: Jul. 25th, 2014; revised: Aug. 23rd, 2014; accepted: Sep. 2nd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Using the mean surface precipitation data from 224 stations of southern China over the years of 1961-2010 and adopting the methods of linear regression analysis, multinomial fitting, EOF, REOF, Mann-Kendall and Glide T-examination etc., we analyzed the spatial anomaly features and time evolution rule of the winter precipitation in southern China. The results show that 1) China Southern winter precipitation increases from west to east; the high value centers are in eastern Hunan-border area of Jiangxi and Zhejiang and Fujian; while in northern Yunnan Southern Sichuan there has a dry tongue area, and the presence of this dry tongue area may lead to winter drought in south-west region. Southern winter precipitation increased slightly with a rate of 4.42 mm/10a in recent 50 years; it increased significantly in January with a rate of 32.59 mm/10a, but it was not significant in December and February. Winter precipitation fluctuations experienced two stages: above normal from 1960s to the mid-1970s, less than normal in the late 1970s; mainly above normal from 1980s to the late 1990s. Stability of winter precipitation increases from north and south to central areas. In eastern Sichuan-Guizhou-Hunan area, it forms a stable center. 2) As to the winter precipitation in most regions, there is an upward trend at a rate increasing from west to east. In the lower reaches of the Yangtze River, there has a significant increasing trend; there is no significant decreasing trend in Yunnan-Guizhou plateau. In the rest of places, precipitation trend was not significantly increased. 3) With the EOF method, the abnormality of southern winter precipitation can be divided into three kinds of distributed types, namely entire regional distribution type, plateau and plain opposite distribution type and Wushan type. This distribution may be related with wind anomaly. With the REOF method, the area can be subdivided into 3 sub-areas: the Southern China, the middle and low reach of Yangtze River and the Yunnan-Guizhou Plateau. 4) The dry and wet anomaly in winter, in Southern China and the middle and low reach of

Yangtze River in each subarea occurred mostly after 1980, but scattered in Yunnan-Guizhou Plateau; There was a mutation phenomenon at the middle and low reach of Yangtze River in 1988. Inter-annual and decadal variations of the precipitation were greatly different in each subarea, but declined at the beginning of this century.

Keywords

Winter Precipitation, Abnormal, Spatial and Temporal Distribution, Southern China

中国南方冬季降水异常的时空分布特征分析

陈少勇^{1,2}, 郭凯忠², 吴芙蓉², 吴超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, 白银

Email: csy505@126.com

收稿日期: 2014年7月25日; 修回日期: 2014年8月23日; 录用日期: 2014年9月2日

摘要

利用我国南方224个测站,近50a年平均地面降水资料,采用线性趋势分析、EOF、REOF、Mann-Kendall、合成分析等方法,分析了季风区冬季降水异常变化的规律。结果表明:1)南方冬季降水自西向东递增,高值中心分别在湘东和江浙闽交界区,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冬季易出现干旱的重要原因之一。近50a南方冬季降水以4.42 mm/10a的速率不显著增多,其中,1月以32.59 mm/10a的速率显著增多,12月和2月不显著。冬季降水经历了两个波动阶段:1960s~1970s中期偏多,1970s后期偏少;1980s~1990s后期以来偏多为主;冬季降水的稳定性,从南北向中部递增,在川东一黔北一湘中一带形成稳定中心。2)大多数区域冬季降水变化有上升趋势,倾向率从西向东增大,在长江下游的有显著增多趋势,云贵高原有不显著减少趋势,其余地方降水变化趋势不显著增多。3)冬季降水异常主要有3种分布模态:全区一致型、高原平原差异型和巫山型,这种分布与风场异常有关联。该区冬季降水异常主要分为华南区、长江中下游平原区、云贵高原区3个子区域。4)各分区的异常干湿冬年,华南和长江中下游大部分出现在1980年以后,但云贵高原比较分散;长江中下游在1988年有突变现象。各区降水的年际、年代变化差异较大,但进入本世纪都处于减少趋势。

关键词

冬季降水, 异常, 时空分布, 中国南方

1. 引言

随着社会经济的发展,冬季降水在我国农业、能源、水资源、交通及通讯等方面的影响愈来愈突出,其异常引起广泛的关注和研究[1]-[8]。例如2008年1月中旬至2月初,我国南方出现了50年一遇的大范围低温雨雪冰冻的极端天气过程[9][10]。又如2009/2010年冬春季节我国西南地区发生了持续干旱[11]

[12], 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。

冬季, 我国的主要降水区在南方, 南方也是降水年际变化最明显的区域, 因而对南方冬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、ENSO 的响应关系方面[13]-[15]。也有一些有关地面降水方面的研究。如张自银等[16]分析了 1951 年以来 1 月份以及 1880 年以来冬季南方的异常低温与降水事件, 结果表明, 有利于降水偏多的环流特征是: 东亚大槽偏弱; 200 hPa 上中东急流异常偏强、东亚急流偏弱; 东亚从对流层低层到中高层都有异常南风。蒋兴文等[17]根据 1961~2010 年的地面观测资料, 对西南地区冬季气候异常的时空演变特征及其影响因子进行了分析: 冬季降水异常主要表现为全区一致的变化特征。北半球环状模(NAM, AO)和 ENSO 对西南地区气温没有显著的影响。当 NAM 偏强(弱)时, 西南地区降水偏多(少), ElNiño 年, 西南地区降水一致偏多; LaNiña 年, 西南地区中部降水偏多, 东、西部降水偏少。2010 年冬季西南地区的干旱更有可能是由 NAM 异常引起的, 而不是 ElNiño。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。在气候变暖背景下, 我国南方气象灾害频发, 强度罕见, 区域性的干旱现象十分突出, 低温雨雪的危害时有发生。因此, 在旱涝变异规律研究中, 作为基础性工作, 对降水及其异常的研究显得十分重要。已有的工作或仅限于其中的某省区, 或分析的侧重点不同, 将南方作为一个整体来分析其降水变化的研究比较少, 因此有必要专门分析。本文利用我国南方近 50a 的地面观测资料, 进一步分析南方冬季降水异常的时空变化特征, 为有关旱涝灾害的风险评估、资源利用提供背景。

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, 河汉纵横交错, 湖泊星罗棋布; 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, 四川盆地是我国四大盆地之一; 云贵高原地表崎岖不平, 是世界上喀斯特地貌分布最典型的地区; 横断山脉和秦岭山脉是我国重要的地理分界线。

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。东部沿海地区夏秋季节受台风影响大。冬季气温在 0 度以上, 受寒潮影响小[20]。

选取我国南方(97.5°E~122°E, 20.3°N~32°N, 不含台湾及南海诸岛)资料完整的 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。

使用线性倾向估计分析降水变化倾向率, 并用假设统计检验法对趋势的显著性进行分析检验。在时间尺度为 50a 的情况下, 显著性水平的临界值: $r_{0.1} = 0.2355$ 、 $r_{0.05} = 0.2789$ 、 $r_{0.01} = 0.3613$ 、 $r_{0.001} = 0.4519$ 。

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]分析突变特征。

为客观定量地分析该区降水的分布及变化特征, 使用 EOF、REOF 方法对南方标准化的冬季降水资料进行了分区。EOF 能够把随时间变化的气象要素场分解为空间函数部分和时间函数部分。空间函数部分能够概括场的地域分布特点, 对应载荷向量(LV), 一经求出就不随时间变化; 时间函数部分则由空间

点的线性组合所构成,称为主分量(PC),这些主分量的头几个占有原空间点的总方差的很大部分。研究主分量随时间变化的规律就可以代替对场的随时间变化的研究。该方法较之其它展开方法能够反映更多的大气信息,恰当地应用展开结果,能够提高气候分析工作的质量。由于南方的地理环境比较复杂,不同区域之间的气候差异也十分明显,用旋转自然正交分解(REOF)展开便可较好地揭示出这种气候上的差异性,同时又保持了 EOF 分析所浓缩的信息。因此在 EOF 基础上再对前 10 个主成分进行旋转,得到旋转后的载荷向量(RLV)和主成分(RPC),分析降水量分布的局部特征。该方法早已在气象、水文等领域得到广泛应用[22]-[24]。

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

冬季平均等雨量线基本称经向分布(图 1a),雨量梯度自东向西。在长江下游有两个 240 mm 以上的降水高值中心,一个在江浙闽交界区(江西玉山 261.4 mm),另一个在湘东(南岳 267.0 mm),范围较小。环绕这一高值区外围的福建-两广-黔东-湘西-鄂南-苏南地区等值线密集,降水的地域变化大,降水量值在 100~160 mm 之间,反映了秦岭、云贵高原、南岭等高山和高原的影响;而川东-云贵高原降水较少等值线稀疏,降水量值 40~80 mm;另外,在云南北部四川南部有一干舌区,降水 10~40 mm,这个干舌区的存在是导致我国西南地区冬季易出现干旱的重要原因之一。常年冬季,越过青藏高原的西风气流在高原东侧下沉,700 hPa 上形成一个低槽,西南地区处在低槽及其后部的下沉气流中,干旱少雨,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合,有利于降水。

4. 冬季降水趋势和变率

用 224 个站的空间平均,建立南方冬季降水序列,分析其年际变化特征(图略),在 50a 尺度上,我国南方冬季降水有不显著的增多趋势,倾向率 4.42 mm/10a。冬季各月中,以 1 月 32.59 mm/10a 为最大($r=0.29, P<0.05$),显著增多,其次是 2 月以 15.13 mm/10a 不显著增多,12 月以 -6.72 mm/10a 不显著减少。

计算南方各站冬季降水长期变化的一阶线性趋势,利用回归系数与相关系数之间的关系,求得各站的相关系数 r ,为便于分析降水趋势的显著性,将冬季降水的倾向率和显著性检验的 r 叠加在一起绘制空间分布图(图 2)。从图 2 可以清楚地看到,我国南方大多数区域降水变化略有增多趋势,整体上来看,倾向率从西向东增大。云贵高原有不显著减少趋势,长江下游的湘北-赣北-徽南-浙北有显著的增多趋势,倾向率 6~14 mm/10a,其余地方降水变化趋势不显著增多。

该区冬季降水的标准差平均 54 mm,从西向东递增,滇北-成都平原最小,一般在 20 mm 以下,东

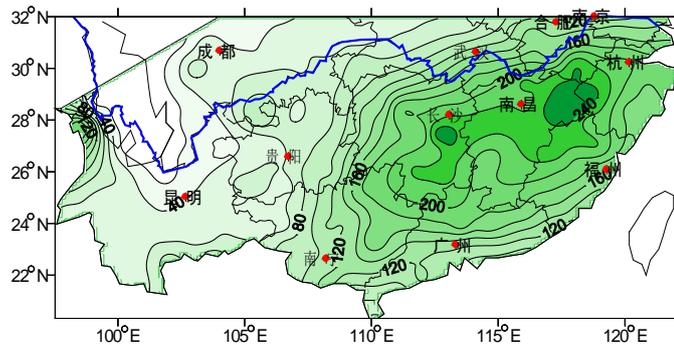


Figure 1. Spatial distribution of the winter precipitation in Southern China.

图1. 中国南方冬季降水空间分布

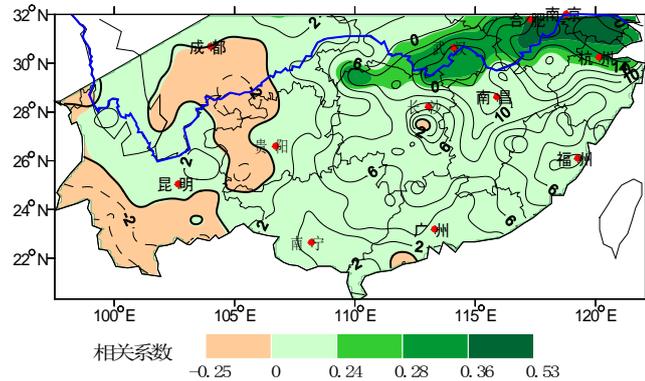


Figure 2. The spatial distribution of linear trend of long-term variation of the winter precipitation in southern China (Contour lines: The incalcescence rate, mm/10a, shaded area: correlation coefficient)

图 2. 中国南方冬季降水线性趋势空间分布图(等值线: 趋势, mm/10a, 阴影区: 相关系数)

部的江浙一带在 80~90 mm 之间,在广东有一大值中心 100~120 mm,中部的湖北、湖南、广西地区在 60~80 mm(图略)。各月中以 2 月 340 mm 为最大,其次是 12 月和 1 月 260 mm(图略)。

该区冬季降水的相对变率平均 51%,从南北向中部递减,在成都平原-贵州北部-湖南形成最小中心,一般在 35%以下,南部的云南-广西-广东一带 50%~80%(图略)。各月中以 12 月 97%为最大,其次是 1 月 79%,2 月 75%(图略)。

5. 冬季降水的整体异常及区域特征

5.1. 降水整体异常的空间分布

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 80%,即南部冬季降水 EOF 的收敛速度较慢。由于前三个载荷向量的方差贡献较大,而且累计方差贡献率接近 60%,代表了降水变化的主要特征,其余各载荷向量的方差贡献不足 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。

在载荷向量图上某点的载荷值表明了该点降水与其对应的时间系数之间的相关程度。若该点载荷值的绝对值愈大,则该点降水愈易明显偏多或偏少,变化愈敏感;反之亦然。图 3 中,第 1 载荷向量 LV1,方差贡献率 32.2%,全区为一致的正值(仅四川的盐源-0.02 和云南的会理-0.01),有 82%的站载荷值在 0.28~0.88 之间(通过 $\alpha = 0.05$ 显著水平检验),全区一致的正相关。说明全区一致增多或减少是南方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,载荷值零线从巫山-云贵高原东侧-沿南岭延伸到东。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 序列呈较强的反相关关系,西南部降水距平与 PC2 序列呈较强的正相关关系,方差贡献率 15.1%,是中国南部次常出现的降水异常分布型,可称为“高原平原差异型”模态;第 3 载荷向量 LV3,呈东南与西北相反,以西北为主,中心值在巫山附近,载荷值零线呈东北-西南向从云贵高原东南侧延伸到武夷山北侧,方差贡献率 10.4%,也是中国南部次常出现的降水异常分布型,可称为“巫山型”模态。

取 PC1~PC6 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 1965、1970、1974、1984、1985、1995、1996 年,第二型的典型年是 1962、1968、1969、1983、1992、1994、1997、2009 年,第三型的典型年是 1971、1972、1991、1993、2004、2006、2010 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 4),在风场上,各异常型都处于西南风控制之下。但在风场的距平

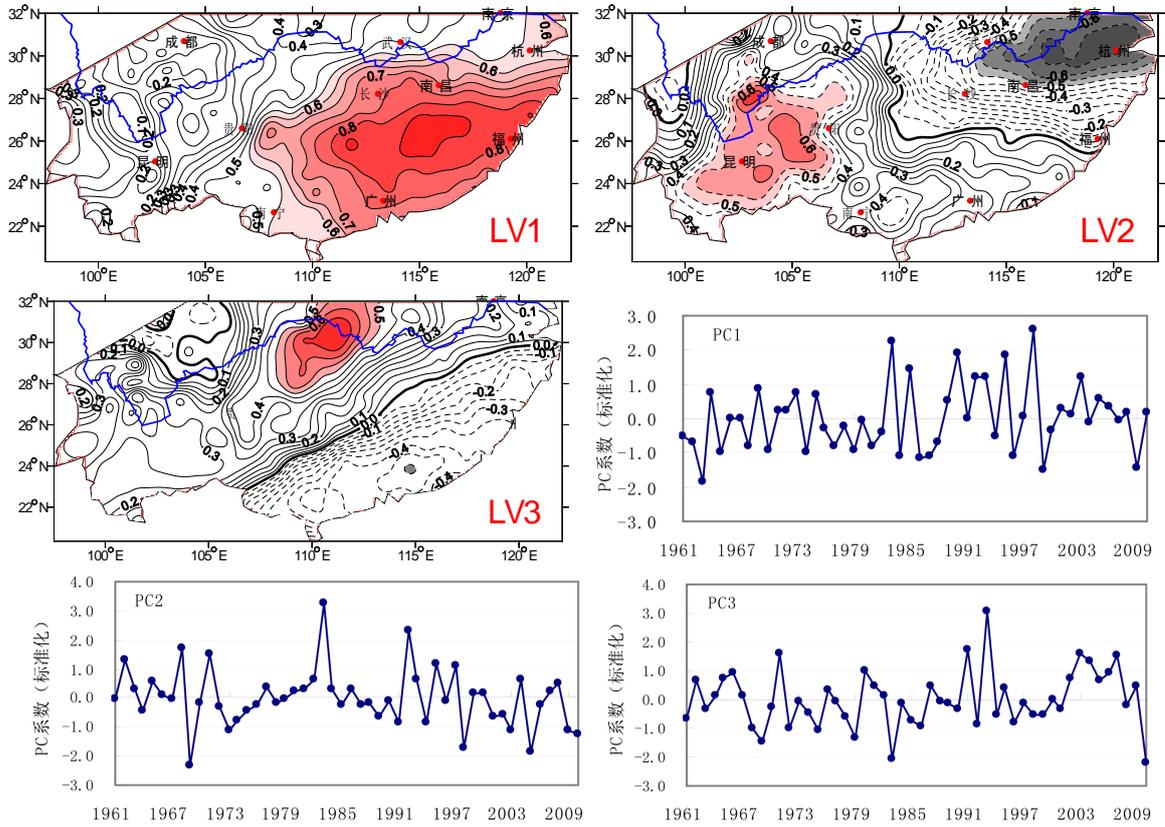


Figure 3. The first 3 characteristic vectors (LV1~LV3) of the EOF analysis and their corresponding time coefficient (PC1~PC3) of the winter precipitation in Southern China.

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

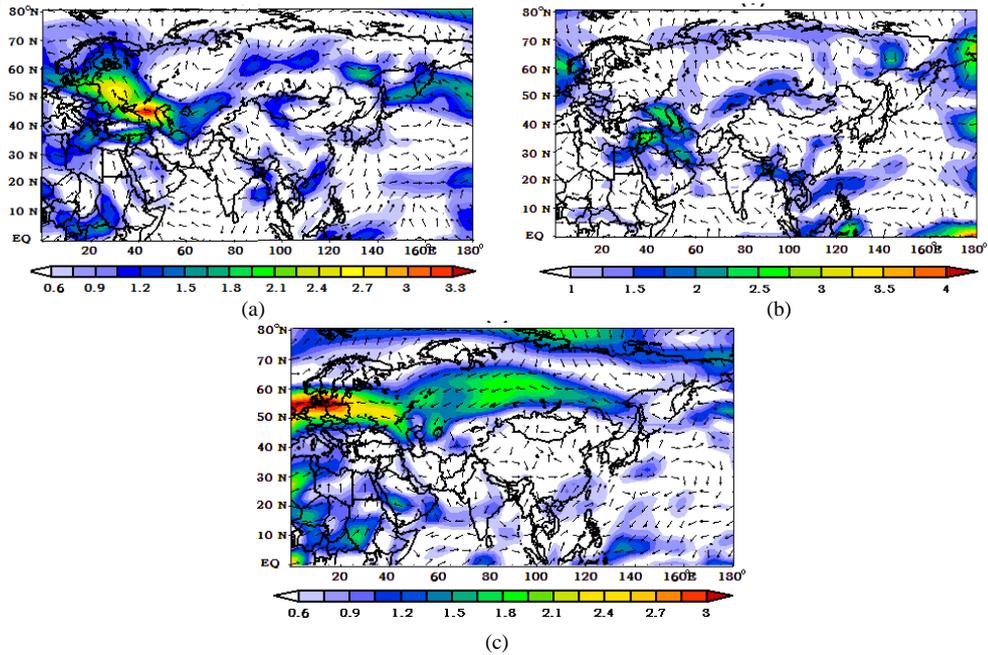


Figure 4. Three kinds of 850 hPa vector wind anomalies synthetic field of the winter precipitation anomaly patterns in Southern China

图 4. 中国南方冬季降水三种异常型典型年 850 hPa 矢量风距平台合成场

场上,第一型,整个区域处于矢量风距平反气旋中,风速距平中心在华南;第二型,西部为矢量风距平气旋,东部为矢量风距平反气旋;第三型,东南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(约 140°E , 25°N),西北部位于矢量风距平气旋南部的偏西气流中,距平气旋中心在川北。矢量风距平场的这种配置与降水异常型基本一致,说明南部冬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

PC1的变化和区域平均值一致,代表南方降水的整体演变。从年代变化分析,自1961年以来,中国南方冬季降水经历了两个波动阶段:1960s~1970s中期降水增加,以偏多为主,1970s后期降水减少,以偏少为主;1980s~1990s后期增加,1990s后期以来处在减少阶段,这一阶段降水以偏多为主。降水的这种演变趋势在区域分布上有一定差异,在后面的分区中将进一步讨论。

LV1全区皆为正载荷值,对应的PC1时间序列 >1 倍方差点是异常偏多(偏少)年(图3PC1)。其中1998、1983、1990、1995、1985、1993、2003、1992年依次是过去50年中全区性的前8个多雨年,全部出现在1980s以后,75%出现在1990s以后;而1963、1999、2009、1986、1996、1984、1987年依次是过去50年中全区性的前7个少雨年,86%出现在1980s以后。

在LV2模态中,东北部为负载荷值,这样对应的PC2曲线上 >1 倍方差的点1997、1995、1962、1971、1968、1992、1983年是长江中下游冬季降水偏少年,而云贵高原冬季降水偏多年;低值点2009、2003、1973、2010、1998、2005、1969年是长江中下游冬季降水偏多年,而对应云贵高原冬季降水偏少年(图3PC2)。PC2具有不显著的下降趋势,即云贵高原冬季降水减少,长江中下游降水偏多,但1990s以来,这种趋势更加明显。在LV3模态中,主要是巫山区域1993、1991、2003、1971、2007、2004年异常偏多,2010、1983、1969、1979、1975、1972、1968年异常偏少。近50年无明显变化趋势,但进入本世纪显著减少,特别是2007年以来急剧减少。

5.3. 降水异常的分区

REOF能方便地分析不同区域之间要素异常的相互关系和变化响应的敏感区域。根据North等[24]的经验判据,仅截取其前6个载荷向量(LV1~LV6)就能较好地解释该区降水时空变化的主要特征。为进一步分析我国南方冬季降水异常分区细节,为该区的气候分区提供客观依据,我们在EOF分析的基础上,对其前6个LV分量进行了方差极大正交旋转(REOF)。取前6个旋转载荷向量场分析,得出季风区冬季降水的6个主要空间异常区域(图5)。

根据季风区域异常降水相关程度的高低,依图5前6个RLV的0.5等值线的范围,将中国南方分为6个小区(图5)。从图中可见,在巫山、湘南、桂西的三个区面积甚小,因此,我们主要分析前三个较大的异常区,分别称为华南区、长江中下游平原区、云贵高原区,简称I、II、III区。

华南区(图5RLV1):RLV1为正值,占总方差的:18.90%,大值区主要包括桂西、湘南、浙南、赣南和广东,中心位于广州($23^{\circ}10'\text{N}$, $113^{\circ}20'\text{E}$),最大RLV值0.94;表明这些地方是南方降水异常的最敏感区。等值线分布呈东北-西南走向,与南岭和武夷山构成的地形走向一致,表明了地形对降水的作用。

长江中下游平原区(图5RLV2):RLV2为正值,占总方差的18.57%。主要包括湘东、鄂南、皖南、苏南、闽北、江浙等地。RLV以浙江景德镇($29^{\circ}18'\text{N}$, $117^{\circ}12'\text{E}$)为最大中心,RLV值0.93。这些地方是南方冬季降水异常的次敏感区。

云贵高原区(图5RLV3):载荷值以正值为主,占总方差的10.84%。主要包括云南、桂西、黔西和川南。以云南的景东、玉溪($24^{\circ}20'\text{N}$, $102^{\circ}33'\text{E}$)为最大中心,RLV值0.84。

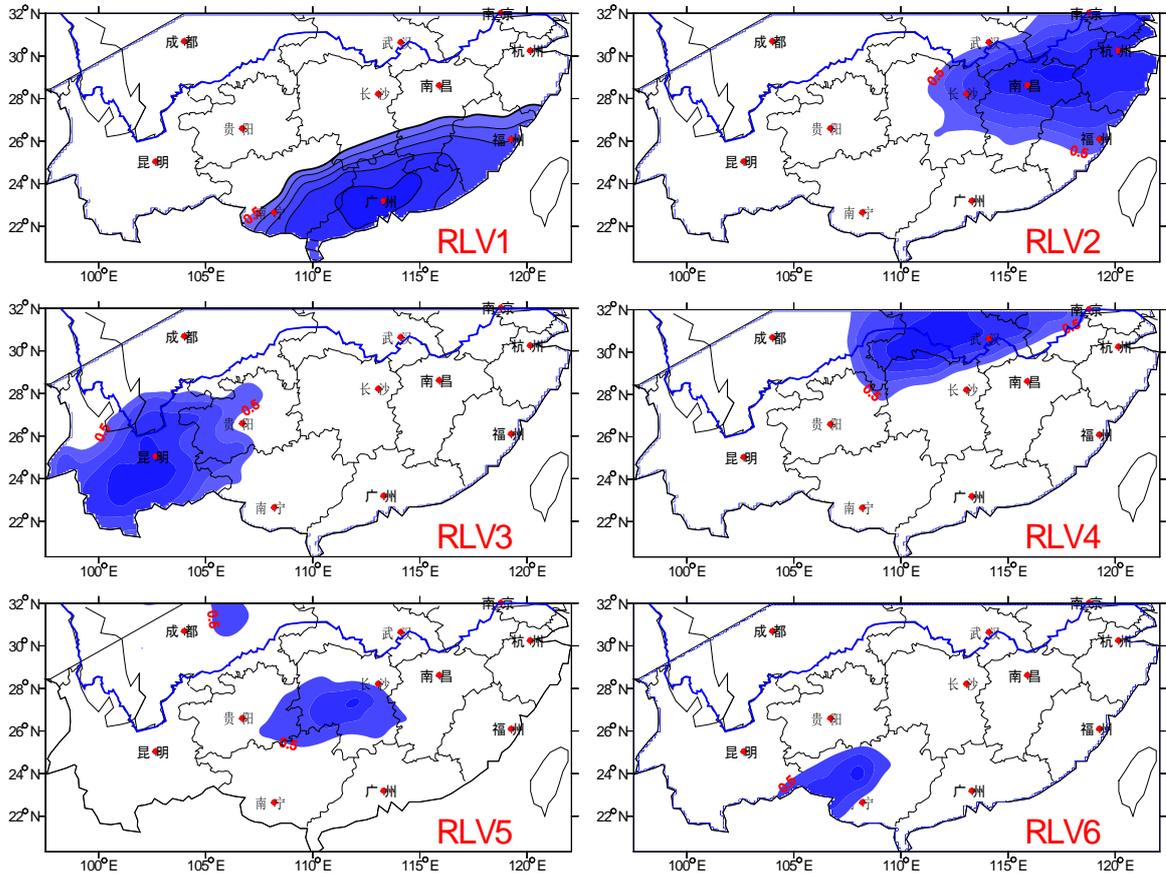


Figure 5. The first 6 characteristic vectors of the REOF analysis of the winter precipitation in Southern China. Shaded part means areas where RLV > 0.5

图 5. 中国南方冬季降水 REOF 分析的前 6 个特征向量。阴影部分 RLV > 0.5

5.4. 各区降水异常的时间变化

根据分区结果，以每个区所有台站降水的平均值作为该区的降水代表序列，分别绘制三个区域平均降水标准化曲线(图 6a~c)，分析各区降水异常的时间变化。

异常偏多(少)年份特征:我们从各代表站降水曲线上选取>1 倍标准差得到各分区湿冬(干冬)的代表性年份(表 1)。华南区湿冬年有 7 年，主要出现在 1980s~1990s，干冬年 4 年中有 3 年出现在 1980s 以后；长江中下游湿冬年有 8 年，主要出现在 1990s~2000s，有 8 个干冬年，1960s 居多；云贵高原异常湿冬和干冬的年份各有 8 年，分散出现在各年代。

华南(图 6a)1960s~1970s 变化幅度小，以偏少为主，1980s~1990s 以偏多为主，在 1983 年达到峰值后一直下降，本世纪处于偏少状态。

长江中下游(图 6b)经历了两次波动，1960s 上升，1970s 下降，1980s 上升到 1998 年达到峰值后又缓慢下降，1988 年发生突变，其后处于偏多状态。1960s 前期、1970s 后期~1980s 后期以偏少为主，1960s 后期~1970s 中期、1980s 末期以后以偏多为主。王永光等[25]认为 SOI 在 20 世纪 90s 中期达最盛后，未来将向正指数转变，即太平洋海温将由 El Nino 型向 La Nina 型过渡，这将有利于夏季长江流域降水减少。事实上，1998 年后半年至 2001 年、2005 年后半年至 2006 年上半年、2007 年至 2009 年上半年频繁地出现了 La Nina。

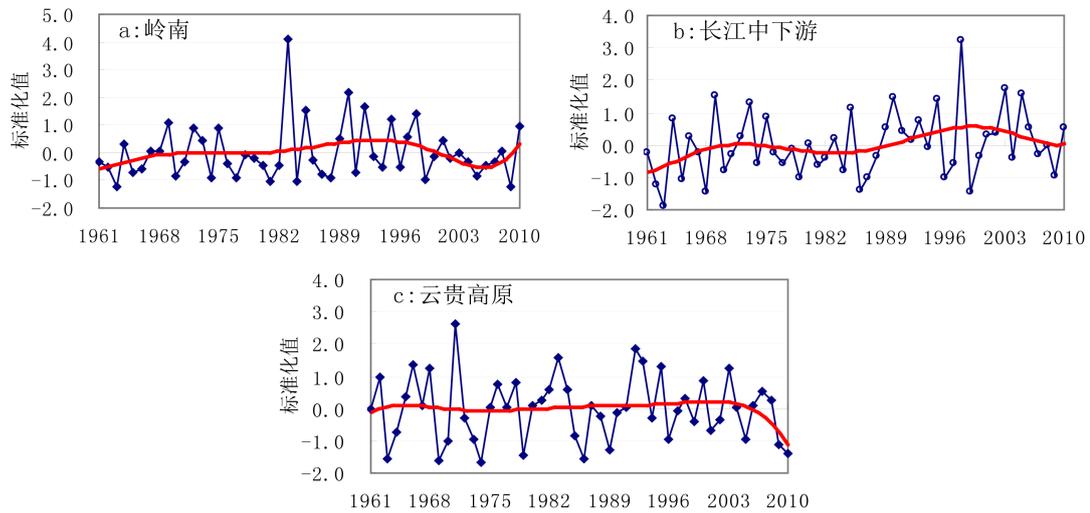


Figure 6. The interannual departure variation of winter precipitation of three climatic sub areas (a~c) in southern China (Dash line for linear trends, solid line for multinomial)

图 6. 中国南方 3 个分区(a~c)冬季降水时间演变(虚线为线性趋势, 实线为多项式)

Table 1. Years when winter precipitation is obviously abnormal in each subarea in Southern China

表 1. 我国南方各分区冬季降水明显异常的年份

| 分区 | 异常形式 | 代表年份 |
|---------|------|---|
| 华南区 | 湿冬 | 1983、1990、1992、1985、1998、1995、1969 |
| | 干冬 | 2009、1963、1984、1981 |
| 长江中下游部区 | 湿冬 | 1998、2003、2005、1969、1990、1995、1973、1985 |
| | 干冬 | 1963、1968、1999、1986、1962、1965、1987、1996 |
| 云贵高原区 | 湿冬 | 1971、1992、1983、1993、1966、1995、1968、2003 |
| | 干冬 | 1974、1969、1963、1986、1979、2010、1989、2009 |

云贵高原(图 6c)无明显变化趋势, 冬季降水的年际和年代际变化围绕平均状态来回振荡, 1970s 中期~1980s 初期、1990s 降水偏多, 1960s 末期~1970s 初期、1980s 后期、2000s 后期偏少。这与文献[26]的分析结果略有差异, 可能与使用资料长度不一致而平均值不同有关。

6. 小结和讨论

1) 我国南方冬季降水自西向东递增, 高值中心分别在湘东和江浙闽交界区, 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冬季易出现干旱的重要原因之一。近 50a 南方降水以 4.42 mm/10a 的速率不显著增多, 其中, 1 月以 32.59 mm/10a 的速率显著增多, 2 月份不显著增加, 12 月不显著减少。冬季降水经历了两个波动阶段: 1960s~1970s 中期降水增加, 以偏多为主, 1970s 后期降水减少, 以偏少为主; 1980s~1990s 后期增加, 1990s 后期以来处在减少阶段, 这一阶段降水以偏多为主; 冬季降水的稳定性, 从南北向中部递增, 在成都平原-贵州北部-湖南形成一个相对稳定中心。

2) 南方大多数区域冬季降水变化有上升趋势, 倾向率自西向东增大, 在长江中下游的湘北-赣北-徽南-浙北一带有显著的增多趋势, 云贵高原有不显著减少趋势, 其余地方降水变化趋势不显著增多。

3) 由于降水的局地性很大, 使得 EOF 收敛速度很慢, 各个分量所占权重较小, 只有前三个分量较

大, 方差贡献都高于 10%, 其余分量不足 5% 或更小, 但前三个分量的累计方差贡献率只有 60%, 说明南方冬季降水的局部性和复杂性。因此, 我们只能讨论较普遍的整体异常特征, 即该区冬季降水异常的全区一致型、高原平原差异型和巫山型 3 种常见分布模态, 通过合成分析, 发现降水异常与风场的异常有关联。根据 REOF 分析能突出局域特点的性能, 又进一步将该区冬季降水异常细分为华南区、长江中下游平原区、云贵高原区、巫山、湘南、桂西 6 个子区域, 其中后三个区面积甚小, 因此主要分析了前 3 个子区域的降水异常特征; 另外取旋转的 PC 分量个数不同, 其分区产生的小区域就有一定的差异。

4) 受气候变暖影响, 极端气候事件频繁出现。全区性的异常偏多偏少年, 大多数出现在 1980s 以后, 各分区的异常干、湿冬年, 华南和长江中下游大部分也出现在 1980 年以后, 但云贵高原比较分散, 可能与西南地区复杂的地形造成这一区域气候变暖不显著[20] [27]有关; 长江中下游在 1988 年有突变现象。各区降水的年际、年代变化差异较大, 但进入本世纪都处于减少趋势。

本文揭示了我国南方冬季降水异常的基本时空分布特征, 并分析了降水的气候变化规律, 但对其影响机制未加分析, 有待于另文讨论。

基金项目

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

参考文献 (References)

- [1] 何溪澄, 丁一汇, 何金海, 等 (2006) 中国南方地区冬季风降水异常的分析. *气象学报*, **5**, 594-604.
- [2] 曹杰, 何大明, 姚平 (2005) 纵向岭谷区冬、夏水热条件空间分布研究. *地球科学进展*, **11**, 1176-1182.
- [3] 袁云, 李栋梁, 安迪 (2010) 基于标准化降水指数的中国冬季干旱分区及气候特征. *中国沙漠*, **4**, 917-925.
- [4] 王林, 冯娟 (2011) 我国冬季降水年际变化的主模态分析. *大气科学*, **6**, 1105-1116.
- [5] 金祖辉, 陶诗言 (1999) ENSO 循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究. *大气科学*, **6**, 663-672.
- [6] 郎咸梅 (2012) 中国东部冬季降水的动力结合统计预测方法研究. *气象学报*, **2**, 174-182.
- [7] 杨莲梅, 史玉光, 汤浩 (2010) 新疆北部冬季降水异常成因. *应用气象学报*, **4**, 491-499.
- [8] 熊光明, 陈权亮, 魏麟晓, 等 (2012) 平流层极涡偏移对我国冬季降水的影响. *应用气象学报*, **6**, 683-690.
- [9] 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. *高原山地气象研究*, **40**, 28-37.
- [10] 郭荣芬, 高安生, 杨素雨 (2010) 低纬高原两次冬季南支槽强降水的对比分析. *大气科学学报*, **33**, 82-88.
- [11] 周秉根, 陈建业, 何俊杰, 张静, 张蕾, 刘向阳, 潘金宝 (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.
- [12] 宋洁, 杨辉, 李崇银 (2011) 2009/2010 年冬季云南严重干旱原因的进一步分析. *大气科学*, **6**, 1009-1019.
- [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. and Ma, Y. (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 landfalling tropical cyclones in China. *Journal of Tropical Meteorology*, **19**, 39-48.
- [16] 张自银, 龚道溢, 郭栋, 何学兆, 雷杨娜 (2008) 我国南方冬季异常低温和异常降水事件分析. *地理学报*, **9**, 899-912.
- [17] 蒋兴文, 李跃清 (2010) 西南地区冬季气候异常的时空变化特征及其影响因子. *地理学报*, **11**, 1325-1335.
- [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, 高蓉, 等 (2009) 我国东部季风区冬季气温的气候变暖特征. *应用气象学报*, **4**, 478-485.
- [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, 126-145.
- [23] 陈少勇, 王劲松, 石圆圆, 等 (2009) 中国东部季风区近 46 年来年平均气温的变化. *资源科学*, **3**, 462-471.
- [24] 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.
- [25] 王永光, 龚振淞, 许力, 等 (2005) 中国温度、降水的长期气候趋势及其影响因子分析. *应用气象学报*, **z1**, 85-91.
- [26] 黄荣辉, 刘永, 王林, 王磊 (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.
- [27] 马振锋, 彭骏, 高文良, 田宏 (2006) 近 40 年西南地区的气候变化事实. *高原气象*, **4**, 633-642.