

姚愚,晏红明,2018. 云南1月降水异常的气候成因分析[J]. 气象,44(12):1583-1592.

# 云南1月降水异常的气候成因分析\*

姚 愚 晏红明

云南省气候中心,昆明 650034

**提 要:** 在云南旱季降水稀少的气候背景下发生的异常旱涝气候事件是短期气候预测面临的难点之一。开展旱季降水异常的气候成因分析,对于提高气候预测准确率具有重要意义。1月是云南隆冬季节的主要时段,降水变化具有明显的偏态分布特征,年际波动非常显著。云南1月降水偏多年与偏少年大气环流有明显差异,500 hPa高度场上有四个区域位势高度与云南1月降水显著相关,中高纬的三个区域分别与斯堪的纳维亚(SCA)型遥相关的三个活动中心对应,低纬阿拉伯海的高度异常与孟加拉湾印缅槽活动有密切联系。当SCA为正(负)位相且阿拉伯海高度负(正)异常时云南1月降水偏少(多)。海洋上两个显著海温影响区域分别位于东南太平洋和北大西洋中西部,海温异常主要通过影响东亚和南亚地区的环流进而对云南1月降水产生影响。利用高度场和海温场的关键区域的数据分别合成高度场和海温场的组合序列,组合序列与云南1月降水有更高的相关性和更好的距平符号对应关系。在高度场和海温场组合序列的散点图上,近80%的年份位于第一和第三象限,这两个区域高度场和海温场的配置对云南1月降水作用一致,落区位置与降水距平符号对应关系很好;其余约20%的年份位于第二和第四象限,高度场和海温场的作用相反,落区位置与降水距平符号对应关系较差。

**关键词:** 云南1月降水,气候成因,奇异值分解,散点图,斯堪的纳维亚遥相关

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.12.008

## Analysis on Climatic Causes of Precipitation Anomaly in Yunnan in January

YAO Yu YAN Hongming

Yunnan Climate Centre, Kunming 650034

**Abstract:** Under the climatic background of rare precipitation in dry season of Yunnan, the prediction of abnormal drought or flood climate events has been one of the most challenging problems in short-term climate prediction. It is of great significance to improve the accuracy of climate prediction by analyzing the climatic causes of abnormal precipitation in dry season. In January, the main period of midwinter, the rainfall in Yunnan is characterized by skewness distribution and the interannual change is very significant. The general circulations between more and less rainfall year in Yunnan in January are quite different. There are four significant impact areas in the 500 hPa field which are closely associated with the rainfall in Yunnan in January. Three of them which are located in the middle or high latitude area respectively correspond to the three centers of Scandinavia Teleconnection Pattern, and the last one lies in low latitude Arab Sea whose geopotential height indicates the intensity of trough in Bengal Bay. When the Scandinavia Teleconnection Pattern is in positive (negative) phase and the geopotential height of Arab Sea is negative (positive), the Yunnan rainfall in January is likely to be less (more). There are two significant impact areas of SST, one is located in the southeast Pacific and the other is in middle-west area of North Atlantic. Through affecting

\* 国家自然科学基金面上项目(41575097、41775073)、云南省重点基金项目(2016FA041)和气象预报业务关键技术发展专项(YB-GJXM2017-05)共同资助

2017年5月10日收稿; 2018年3月19日收修定稿

第一作者:姚愚,主要从事短期气候预测工作. Email:569187261@qq.com

通信作者:晏红明,主要从事季风天气气候研究. Email:yanhongming2013@163.com

the circulations in East Asia and South Asia, the SST has an influence on the precipitation in Yunnan in January. By employing the data of significant impact areas of 500 hPa and SST field, the combined sequences of height field and SST field are synthesized respectively. Both combination sequences have higher correlation coefficients and better corresponding rates of anomaly sign with rainfall in Yunnan in January than those of single impact area data. Based on the combined sequences of 500 hPa and SST field in each year from 1961 to 2017, the scatter graph is drawn. Nearly 80% of the total years is located in the first and third quadrants, where the functions of height field and SST field are consistent with rainfall in Yunnan in January. In this case, the location of the falling zone corresponds well to the anomaly sign of rainfall. The remaining 20% years are located in the second and the fourth quadrants, where the height field and the SST field have opposite functions, and the location of the falling zone corresponds poorly to the anomaly sign of precipitation.

**Key words:** precipitation in Yunnan in January, climate causes, singular value decomposition, scatter graph, Scandinavia Teleconnection Pattern

## 引 言

旱涝灾害是制约云南经济社会可持续发展的重要因素,月、季短期气候预测特别是降水量预测是预判未来旱涝灾害发生发展的重要依据,云南旱涝的演变特征及其成因分析一直是云南气象工作者关注的重点。由于云南季风气候明显,干湿季节分明,全年 80% 以上的降水主要集中在雨季 5—10 月,汛期旱涝对云南工农业生产和社会经济发展影响较大,故以往的工作主要集中在对汛期降水特别是初夏 5 月降水的时空分布特征和气候成因的研究(段旭等, 2000; 琚建华和陈琳玲, 2003; 晏红明等, 2007; 程建刚等, 2009; 晏红明等, 2012; 叶坤辉等, 2012; 张万诚等, 2014; 李维京等, 2015; 肖子牛等, 2016; 任冉等, 2017), 并取得了很好的成绩, 为认识云南汛期降水异常的形成原因奠定了一定的基础。云南旱季降水稀少, 相对于汛期降水产生的社会影响较小, 故尚未引起足够重视, 对旱季降水的预测研究工作开展还较少, 现有的一些工作也仅从冬季大气环流特征、海温和个例诊断上对云南冬季的降水异常的成因进行分析(秦剑等, 1991; 晏红明等, 2009; 宋洁等, 2011; 张万诚等, 2011; 杨辉等, 2012; 牛法宝等, 2013; 陶云等, 2014; 蔡晓杰等, 2015)。云南旱季的月降水量年际振荡显著, 偏态分布特征明显, 往往出现一次较强降水过程就可能造成当月降水量偏多, 使得云南旱季月降水趋势预测的复杂性和不确定性更胜于汛期降水。近年来随着全球气候变暖, 极端强降水事件发生频率增多增强(陈姣和张耀存, 2016), 特别是

2015 年 1 月 9 日云南出现了自 1961 年以来冬季范围最广、强度最强的极端强降水过程, 全省 125 个观测站出现 43 站大雨、29 站暴雨和 7 站大暴雨, 滇西南地区出现了冬季罕见的暴雨洪涝灾害, 滇中及以北地区则出现雪灾和霜冻灾害, 对热带经济作物造成严重影响, 2015 年 1 月全省平均降水量为 88.2 mm, 较多年平均偏多 4.5 倍, 刷新了 1961 年以来云南 1 月降水的最大值记录。因此, 加强云南旱季月降水的预测研究, 对于提高气候趋势预测准确率和防灾减灾决策服务都有十分重要的意义。

目前随着气候模式的不断发展完善, 模式对大气环流和海温的模拟和预测能力已达到较高水平, 在充分了解气候异常成因的基础上, 利用数值模式产品开展客观定量化的短期气候预测业务是未来气候预测发展的主要目标。本文利用 500 hPa 高度场和海温场资料, 分析云南 1 月降水异常的气候成因, 有利于更好地应用模式产品, 增强模式产品对实际预测的指导作用, 从而实现将研究成果与实际业务工作更紧密结合, 为云南旱季降水趋势预测提供参考依据。

## 1 资料和方法

本文主要使用 1961—2017 年云南 125 个气象观测站 1 月的降水、国家气候中心整理的 130 项气候系统监测指数、美国国家环境预测中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)的月平均高度场和风场的再分析资料, 分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 、英国哈得莱中心(Hadley Center)月平均海温资料, 分辨率为

1.0°×1.0°。研究方法主要采用自然正交函数分解(EOF)、奇异值分解(SVD)、相关分析、合成分析和离散谱分析,其中 SVD、相关分析和合成分析的显著性水平检验采用 *t* 检验,离散谱分析的显著性水平检验采用 *F* 检验。

## 2 云南 1 月降水的分布和变化特征

### 2.1 云南 1 月降水的气候分布

云南全省 1 月平均降水量为 16.1 mm,降水量最多的区域位于滇西北和滇南的边缘地区(图 1a),降水量超过 30 mm,贡山最多(67.9 mm),滇西北的东部和滇东北局部地区降水量最少(5 mm 以下),其余大部地区在 5~30 mm。全省 1 月降水量占全

年降水量的比例均较小(图 1b),大部地区占比在 1%~3%,滇西北西部占比超过 3%,福贡占比最大(4.04%)。1 月降水量的标准差(图 1c)空间分布与 1 月多年平均降水量较为相似,两者量级也几乎相当,表明云南 1 月降水量虽然在年降水量中占比很小,但其年际变化幅度相对多年平均值并不小,这与陶云和何群(2008)的研究结论一致。云南 1 月降水的年际变化非常显著(图 1d),月降水量最小仅为 1.2 mm(2006 年),最大高达 88.2 mm(2015 年)。1961—2017 年降水距平百分率<-50%的有 19 年(占 33%),>50%的有 16 年(占 28%),两者合计有 35 年,占全部年份的 61%,降水异常的年份超过了正常的年份。离散功率谱分析表明,云南 1 月降水量具有显著的 4.1 a 左右的周期,可通过 0.01 的显著性水平的 *F* 检验(图略)。

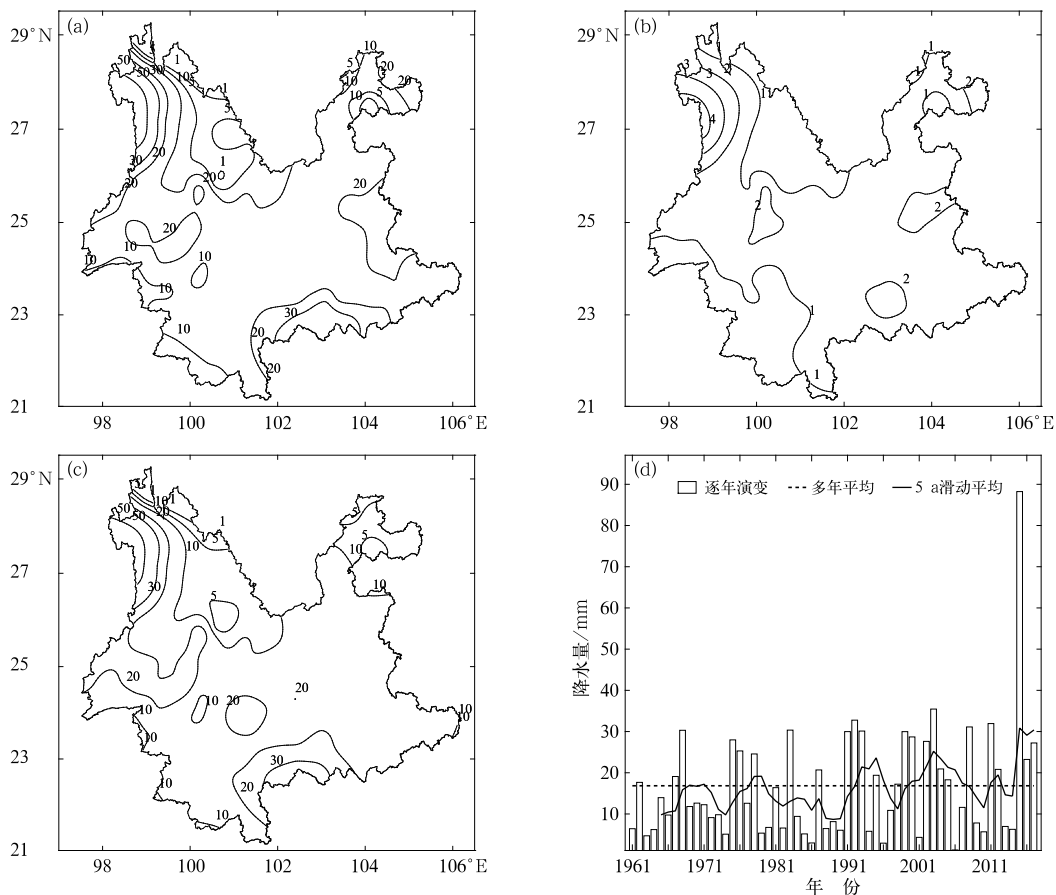


图 1 云南 1961—2017 年 1 月降水量的气候特征

(a) 多年平均(单位:mm), (b) 占年降水量百分比(单位:%),

(c) 标准差(单位:mm), (d) 逐年演变

Fig. 1 Climatic characteristics of the Yunnan precipitation in January over 1961—2017

(a) mean value (unit: mm), (b) percentage of annual precipitation (unit: %),

(c) standard deviation (unit: mm), (d) yearly variation

## 2.2 云南 1 月降水的空间模态

图 2 给出了利用 EOF 方法得到的 1961—2017 年 1 月云南降水量第一个空间分布模态和对应时间系数逐年演变。前两个特征向量方差贡献分别为 57.9% 和 10.7%，第一模态表现为全省一致的变化趋势，大值区分布在滇中至滇西南一带。第一模态对应的时间系数与云南 1 月降水量的相关系数高达 0.99，功率谱分析显示第一模态时间系数也具有显著的 4.1 a 周期，表明同位相变化是云南 1 月降水量最主要的空间模态，相应时间系数可表征云南 1 月降水量的时间变化。第二模态主要表现滇西至滇西北降水与中东部的反位相变化，其对应时间系数与云南 1 月降水量无显著相关性，也没有通过 0.10 以上显著性水平检验的显著周期(图略)。

## 3 云南 1 月降水异常的气候成因分析

### 3.1 大气环流异常的影响

大气环流变化与气候异常有密切联系。为分析云南 1 月降水异常与大气环流变化的联系，首先选取云南 1 月降水最多的 10 年(1968、1983、1991、1992、1993、1999、2003、2008、2011、2015 年)和最少的 10 年(1963、1974、1979、1985、1986、1994、1996、2001、2006、2010 年)。在 1 月降水偏多和偏少年 500 hPa 高度差值场(图 3a)上，存在显著差异的区域主要分布在中高纬至极区，极区较大的负值区向

南延伸扩展至西亚、孟加拉湾和中南半岛北部，北大西洋东部至欧洲西部和贝加尔湖附近地区为明显的正值区，表明当 1 月云南降水偏多时，从北大西洋中东部至极区再到贝湖一线 500hPa 高度距平场易出现“+ - +”的波列，这与斯堪的纳维亚遥相关(SCA)负位相的空间形态极为相似。SCA 是冬季北半球中高纬度大气环流异常的主要模态(刘毓赞和王林, 2014; 刘扬和刘屹岷, 2017)，包含三个明显的活动中心，一个显著中心位于北欧斯堪的纳维亚半岛附近，其余两个中心分别位于东北大西洋和贝加尔湖附近区域，位势高度变化与前一个活动中心相反。SCA 对欧洲地区的气候有显著影响(Bueh and Nakamura, 2007)，也会影响我国的气候异常。杨莲梅等(2010)的研究表明冬季 SCA 正(负)位相对水汽输送异常的影响造成了新疆降水异常偏多(少); 刘扬和刘屹岷(2017)的研究发现秋季 SCA 遥相关波列正位相时，西南西部地区的东侧有暖异常，西侧的印度半岛及伊朗高原为冷异常，在西风作用下，西南西部的冷平流造成西南地区局地下沉运动使得西南西部包含云南在内的地区降水偏少。图 3a 差值场表明当 SCA 为负(正)位相时，云南 1 月降水易偏多(少)。低纬度地区 500 hPa 高度场的差异不如高纬度地区明显，除阿拉伯海出现显著的高度异常外，其余地区均未通过显著性水平检验，这表明 1 月云南降水偏多(少)年阿拉伯海高度偏高(低)。阿拉伯海地区的高度异常与孟加拉湾低压槽有一定联系，该区域的高压脊发展有利于孟加拉湾低槽加强，相应影响水汽输送的变化。图 3b 是 1 月

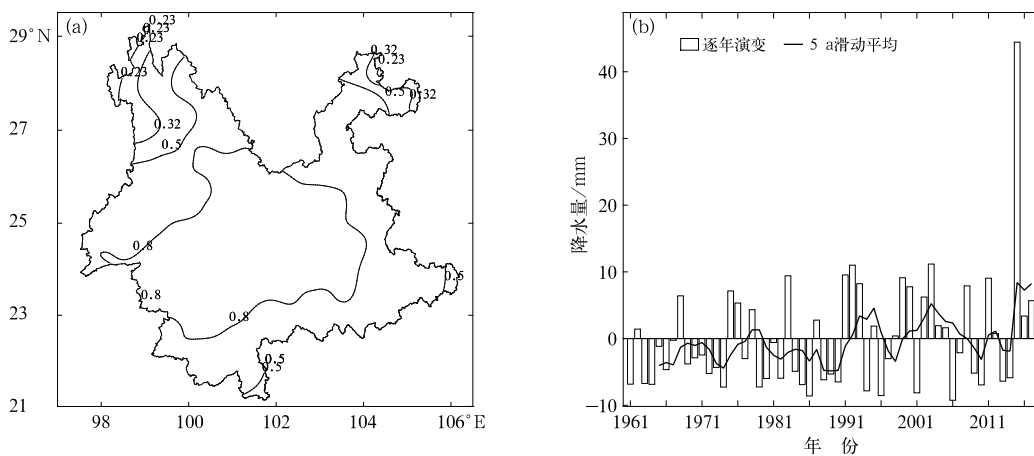


图 2 云南 1 月降水量 EOF 的第一特征向量(a)和对应时间系数变化(b)

Fig. 2 First eigen vectors (a) and corresponding time series (b) of the Yunnan precipitation in January by EOF

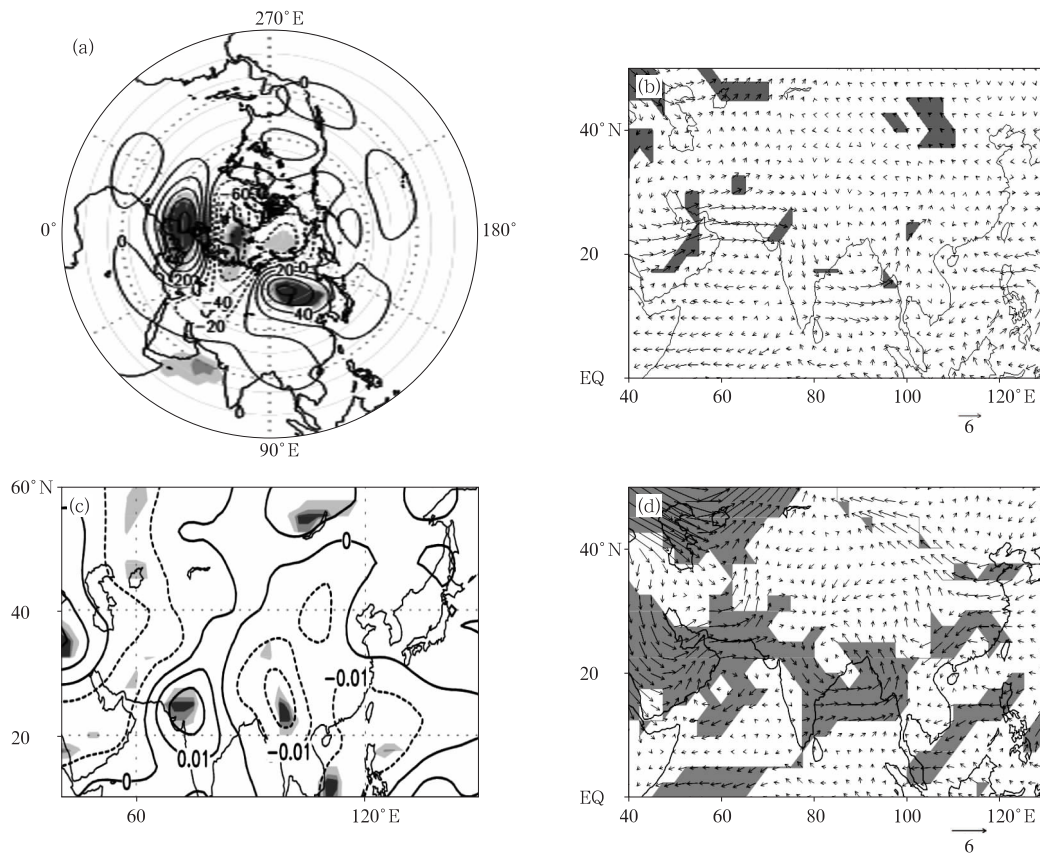


图 3 云南 1 月降水偏多年减偏少年大气环流差值场

(a)500 hPa 高度场(单位: gpm), (b)整层水汽通量(单位:  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ),  
(c)垂直速度场(单位:  $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ), (d)850 hPa 风场(单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

(图中阴影区表示通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 3 Differences of circulation between more and less precipitation in Yunnan in January

(a) 500 hPa geopotential height (unit: gpm), (b) whole-layer water vapor fluxes (unit:  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ),  
(c) vertical velocity field (unit:  $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ), (d) wind at 850 hPa (unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

(Shaded area has passed the significance test at 0.05 level)

降水偏多年减偏少年的整层水汽通量差矢量,可以看出孟加拉湾至青藏高原南部有一气旋式的水汽通量差矢量,与图 3a 孟湾北部负值区相对应,表明降水偏多(少)年孟加拉湾北部高度场偏低(高),南支槽活动偏强(弱),从孟湾经中南半岛西部至云南有较强的水汽输送,这与张万诚等(2011)的结论一致。分析云南 1 月降水偏多和偏少年 500 hPa 垂直速度差值场(图 3c),发现云南 1 月降水偏多(少)年,西南地区有明显上升(下沉)运动,其结论与刘扬和刘屹岷(2017)的分析是一致的。低层 850 hPa 风的差异也反映了明显不同的特征,云南 1 月降水偏多年孟加拉湾异常气旋发展,云南为异常气旋东侧的西南暖湿气流和华南地区异常偏东北气流的交汇影响区,降水偏少年的异常风场刚好相反,云南受高原东

南侧偏西北气流的影响(图 3d)。

为进一步探讨大气环流对云南降水的影响,取 1961—2017 年 1 月北半球 500 hPa 高度场作为左场,同期云南 125 个地面测站降水量作为右场进行 SVD 分析。SVD 方法得到的左右场异类相关图揭示了左右两个场之间具有相互联系的高相关区,可反映两个场之间相互影响的空间结构(吴洪宝和吴蕾,2005),表 1 列出了 SVD 分析得到的前三个模态的相关信息。

由表 1,奇异值分解得到的第一模态可解释 1 月 500 hPa 高度场和云南降水量场总协方差平方和的 76.8%,可以反映两个场协同变化的主要关系,其对应的两个场展开系数的相关系数达 0.50,对应的空间分布型可解释 1 月 500 hPa 高度场 14.3%的

方差,解释云南 1 月降水量场 54.7% 的方差。其余两个模态解释总协方差平方和的占比均小于 10%,故选取该模态对应的左右异类相关场作进一步分析。

图 4 给出了 1 月云南降水量场与 500 hPa 高度场 SVD 分析第一模态的左右异类相关分布,左异类相关分布显示了与云南 1 月降水有密切联系的 500 hPa 高度场异常变化(图 4a),可以看到 500 hPa 中高纬度地区波列的分布与图 3a 的高度差值场波列分布非常类似,呈现出明显的 SCA 遥相关型的特征,进一步表明了云南 1 月降水与 SCA 波列的密切联系,即 SCA 负(正)位相时,云南降水偏多(少),低纬度在阿拉伯海附近同样出现了类似于图 3a 显著影响区域。云南区域降水与高度场相关显著的区域主要分布在中部和东部。

为定量分析 500 hPa 高度场对云南 1 月降水所提供的预测信息,根据图 4a 高度场异常变化,本文

选取四个关键区域: I 区(40.0°~47.5°N,25.0°W~5.0°E)、II 区(65.0°~72.5°N,5.0°W~22.5°E)、III 区(50.0°~57.5°N,102.5°~122.5°E)和 IV 区(17.5°~25.0°N,55.0°~62.5°E),计算了上述四个区域 1961—2017 年逐年 1 月 500 hPa 平均高度场与云南 1 月降水的相关及距平符号对应率(表 2),发现上述四个区域的高度场变化与云南 1 月降水均有显著的相关, I 区与云南 1 月降水量的相关系数最高达 0.46, II 区、III 区和 IV 区相关系数分别为 -0.40、0.39 和 0.40,均通过 0.01 的显著性水平检验。从距平符号的对应关系上看, I 区、III 区和 IV 区的距平同号率均超过了 68%, II 区距平异号率稍低为 66.7%。

前面分析指出中高纬度 I 区、II 区、III 区的高度场实际上反映了冬季 SCA 遥相关的变化,而 IV 区的高度场反映了低纬度阿拉伯海附近区域的高度异常,该区域高度异常与孟加拉湾地区印缅槽的活动

表 1 500 hPa 高度场与云南 1 月降水量 SVD 前三个模态相关信息  
Table 1 Information of three SVD leading modes between the 500 hPa height and the Yunnan precipitation in January

模态序号	解释协方差平方和百分比/%	左右场展开系数间相关系数	解释左场的方差百分比/%	解释右场的方差百分比/%
1	76.8	0.50	14.3	54.7
2	5.7	0.48	8.5	7.6
3	4.4	0.46	17.9	3.0

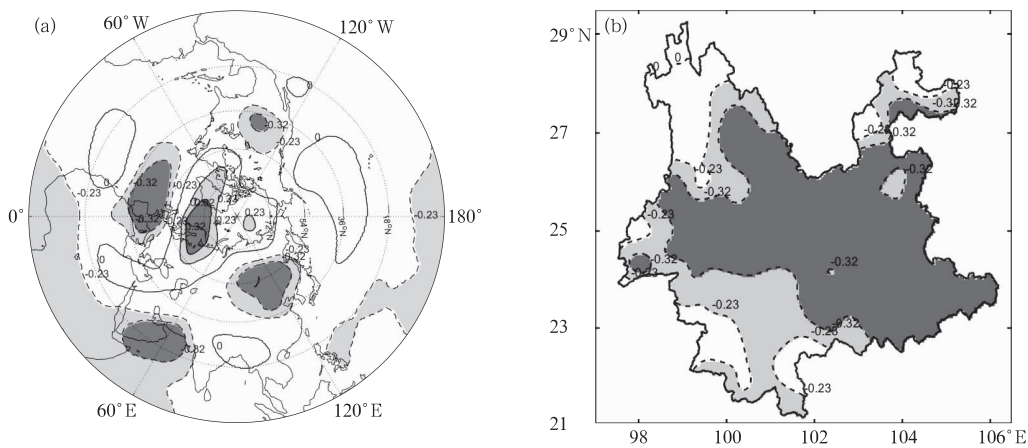


图 4 1 月云南降水场与 500 hPa 高度场奇异值分解

(a) 高度场异类相关分布, (b) 降水场异类相关分布

(图中浅色和深色阴影区分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性水平检验的区域)

Fig. 4 Singular value decomposition of the 500 hPa height and the Yunnan precipitation in January

(a) heterogeneous correlation at 500 hPa height, (b) heterogeneous correlation of precipitation

(Light and dark shaded areas have passed significance test at 0.05 and 0.01 levels respectively)

表 2 1961—2017 年间四个显著影响区 500 hPa 平均位势高度与云南 1 月降水的对应关系  
Table 2 Correlation coefficients and corresponding rates of anomaly sign between mean geopotential height of four significant areas at 500 hPa plus its combined sequence and precipitation in Yunnan in January of 1961—2017

区域	相关系数	距平符号对应率/%
I 区	0.46	70.2
II 区	-0.40	66.7
III 区	0.39	68.4
IV 区	0.40	71.9
组合序列	0.56	82.5

密切联系,IV 区高度场与印缅槽指数的相关系数高达 0.63,通过了 0.01 的显著性水平检验,表明当 IV 区的高度场偏高(低),印缅槽偏强(弱)。中高纬度 SCA 型与低纬度印度洋的环流异常之间存在一定的联系,Liu et al(2014)通过动力诊断指出热带印度洋海温对 SCA 型有重要的强迫作用,SCA 指数与 IV 区高度场的相关系数为 -0.26,通过了 0.05 的显著性水平检验。为综合全面分析 500 hPa 高度场对云南 1 月降水所能提供的预测信息,对上述四个区域的高度距平进行组合,取组合序列为四个区域高度场逐年标准化数值再按其相关系数符号的代数平均,即 I 区、III 区和 IV 区的标准化数值之和减 II 区的标准化数值并除以 4,组合序列与云南 1 月降水量的相关系数为 0.56,距平同号率为 82.5%,相关性和距平符号对应率均较单个关键区有明显提升,可更好地反映高低纬度环流相互配置对云南 1 月降水的影响。

### 3.2 海温的影响

海温作为重要的外强迫信号,对大气环流和气候异常有着重要影响。王林和冯娟(2011)的研究发现 El Niño 年我国南方冬季降水异常偏多,La Niña 年异常偏少,陶云等(2014)的研究指出 El Niño 年云南冬季降水以偏多为主,La Niña 年则相反。由于海温异常影响有一定滞后性,而赤道中东太平洋海温的季节锁相出现在 11—12 月,故本文选取 11、12 和 1 月的海温场分别作为左场,云南 1 月降水量场作为右场作 SVD 分析,研究海温异常与云南 1 月降水的关系。三个月海温 SVD 分析的第一模态解释两个场协方差平方和的百分比在 63%~66%。图 5d 给出了 1 月海温场作为左场的 SVD 分析第一

模态降水场的异类相关分布,全省为一致的负相关分布,大部地区负相关可通过 0.01 的显著性水平检验,其余两个月海温作左场的 SVD 分析降水场异类相关分布与图 5d 相似。图 5a~5c 给出了各月海温场第一模态异类相关分布,可以看到海温对云南 1 月降水影响的关键区与对冬季降水影响的关键区有明显不同,赤道中东太平洋传统的 ENSO 事件区域的海温对云南 1 月降水的影响并不显著,而是偏向东南太平洋海域(A 区,21.5°~26.5°S,245.5°~256.5°E),另外一个显著的影响区位于北大西洋中西部海域(B 区,33.5°~41.5°S,293.5°~298.5°E)。北大西洋海温影响的持续性比较好,从前年 11 月至同期 1 月均有明显影响,东南太平洋在前期 12 月海温的影响比较显著,11 月和同期 1 月海温的影响相对较弱。

北大西洋地区存在三级子海温模态(NAT)的变化,北大西洋中西部海域 B 区的海温变化是 NAT 的一个部分,与 NAT 指数的相关为 0.27,通过 0.05 的显著性水平检验。在图 5a~5c 上,北大西洋地区海温异类相关由北至南也呈现出类似 NAT 的“+ - -”的分布特征,表明当北大西洋中西部海域海温偏高(低)时,北大西洋海温三极子 NAT 处于负 - 正 - 负(正 - 负 - 正)的正(负)位相,云南 1 月降水易偏多(少)。北大西洋是三大冷空气源地之一,有研究(Czaja and Frankignoul, 1999; 时晓曦等, 2015)指出该区域海温异常通过影响北半球大气环流异常,进而影响东亚气候。在 1 月 B 区海温与 1 月 850 hPa 风场的相关图上(图 6b),当北大西洋 B 区海温偏高时,孟加拉湾北部为异常气旋环流,有利于孟加拉湾水汽输送至云南,另外在华南有异常偏北气流带来的冷空气影响,低层环流异常与图 3d 所示情形类似,B 区海温偏低时则会引起相反的环流异常,不利于云南降水。前期 12 月东南太平洋 A 区的正(负)海温异常与南亚和东亚区域环流变化也有密切联系,海温偏高时印度半岛为明显的异常反气旋环流,云南为异常反气旋环流东侧的偏北气流(图 6a),不利于云南降水,海温偏低时情形正好相反,有利于云南降水。

为定量分析两个关键区海温对云南 1 月降水所能提供的预测信息,本文计算了逐年 12 月 A 区和 1 月 B 区两个海域的平均海温,求取这两个区域海温与 1961—2017 年 1 月云南降水的相关系数和距平符号对应率,同时对两个区域的海温标准化后按相

关系数符号求代数平均作为海温组合序列,表 3 是 A 区和 B 区海温及其组合序列与云南 1 月降水的

相关系数和距平符号对应率。

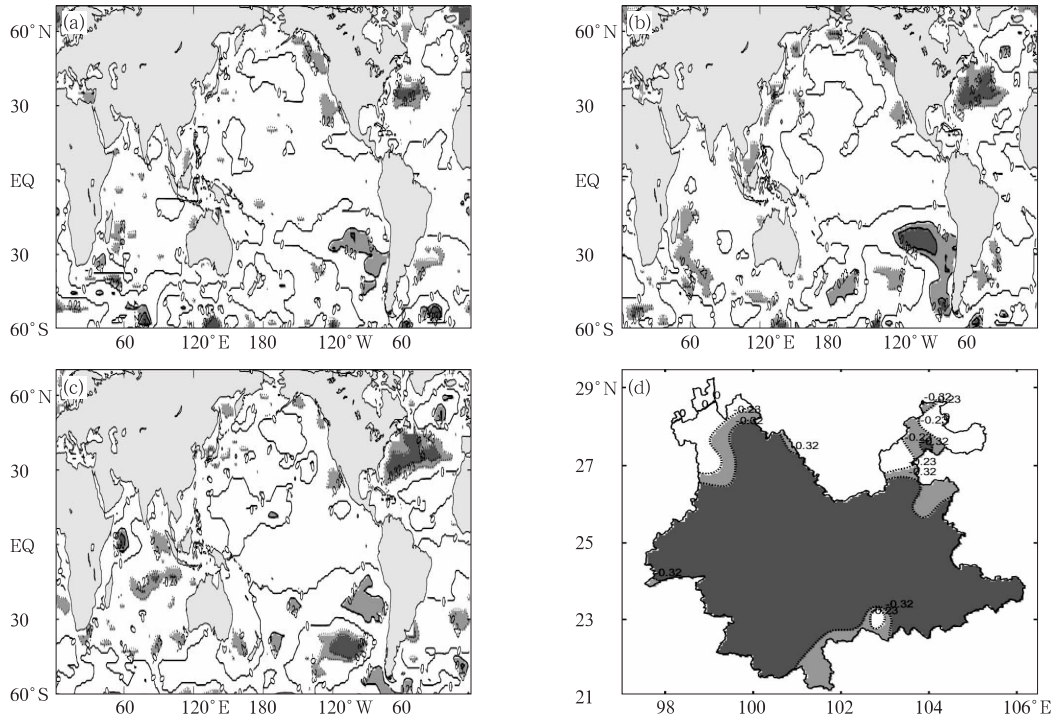


图 5 各月海温场与 1 月云南降水场 SVD 分析的海温场异类相关  
及 1 月海温与降水场 SVD 分析的降水场异类相关  
(a)11 月海温,(b)12 月海温,(c)1 月海温,(d)1 月云南降水

(图中浅色和深色阴影区分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性水平检验的区域)

Fig. 5 Heterogeneous correlation map of SST by SVD between SST of preceding months and Yunnan rainfall in January and heterogenous correlation map of rainfall by SVD between SST and Yunnan rainfall in January

(a) SST in November, (b) SST in December, (c) SST in January, (d) precipitation in Yunnan in January

(Light and dark shaded areas have passed the significance test at 0.05 and 0.01 levels respectively)

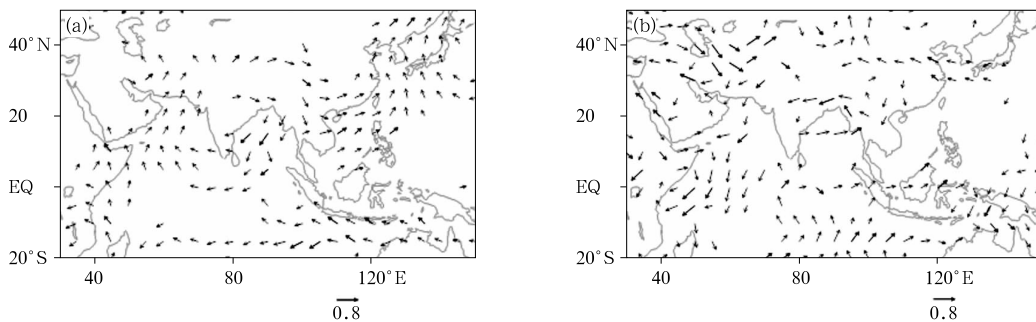


图 6 A 区 12 月平均海温(a)和 B 区 1 月平均海温(b)与 1 月 850 hPa 风的相关  
(图中矢量风为通过 0.10 显著性水平检验的区域)

Fig. 6 Correlation between 850 hPa wind in January and SST of Region A in December (a) and Region B in January (b)

(Wind vector area has passed the significance test at 0.10 level)



表 3 12 月 A 区和 1 月 B 区海温及其组合序列与云南 1 月降水的对应关系

Table 3 Correlation coefficients and corresponding rates of anomaly sign between mean SST of two significant areas and its combined sequence and precipitation in Yunnan in January

区域	相关系数	距平符号对应率/%
A 区	-0.44	75.4
B 区	0.42	70.2
组合序列	0.60	82.5

由表 3 可见,12 月 A 区海温与云南 1 月降水的相关系数为-0.44,1 月 B 区海温相关系数为 0.42,海温组合序列的相关性最显著,相关系数为 0.60。从距平符号的对应关系上看,A 区的距平异号率为 75.4%,B 区距平同号率为 70.2%,组合序列的距平同号率则高达 82.5%。海温组合序列与云南 1 月降水的相关性和距平符号对应率均较单个关键区有明显提升。

#### 4 云南 1 月降水异常的综合影响分析

前述分析发现高度场和海温场均可对云南 1 月降水异常提供预测信息。为综合考虑高度场和海温场对云南 1 月降水的影响,本文根据 1961—2017 年间逐年高度场和海温场组合序列值以及云南 1 月降水距平百分率值绘制了图 7 所示的三个序列的时序图和散点图,散点图上点的形态反映了当年云南 1 月降水的距平百分率量级,点旁的数字表示年份的最后两位数。由图 7a 可见,高度场和海温场的组合

序列值与云南 1 月降水距平百分率值有明显的正相关和距平同号对应关系。图 7b 则具体给出了两个组合序列值与云南 1 月降水距平百分率值的符号对应关系,第一象限高度场和海温场组合序列取值均 >0,该区域高度场和海温场的作用均有利于云南 1 月降水偏多,位于该区域的 24 个年份中 20 个年份降水偏多,拟合率为 83.3%,其中 2015 年两个组合序列都取较大的正值,该年的对应点位于图中最右上角,表明当年高度场和海温场均显示出云南 1 月降水偏多的强信号,导致 2015 年 1 月云南降水异常偏多。位于第三象限两个组合序列的值均 <0,两个场的作用均有利于云南 1 月降水偏少,位于该区域 21 个年份降水全部偏少。第一和第三象限共计有 45 个年份,占全部统计年份数的 78.9%,表明在大部分年份里,高度场和海温场对云南 1 月降水的作用一致。其余 12 个年份位于第二和第四两个象限,占全部年份数的 21.1%,这两个区域两个场的组合序列符号相反,对云南 1 月降水的影响作用也相反,其中第二象限有 6 年,对应的云南 1 月降水有 3 年偏多 3 年偏少;第四象限也有 6 年,也是 3 年偏多 3 年偏少。

#### 5 结 论

本文分析了云南 1 月降水的时空演变特征,研究了大气环流和海温异常对云南 1 月降水的影响机理,提示了利用 500 hPa 高度场和海温场对云南 1 月降水提供的预测信息及其应用,得到以下结论:

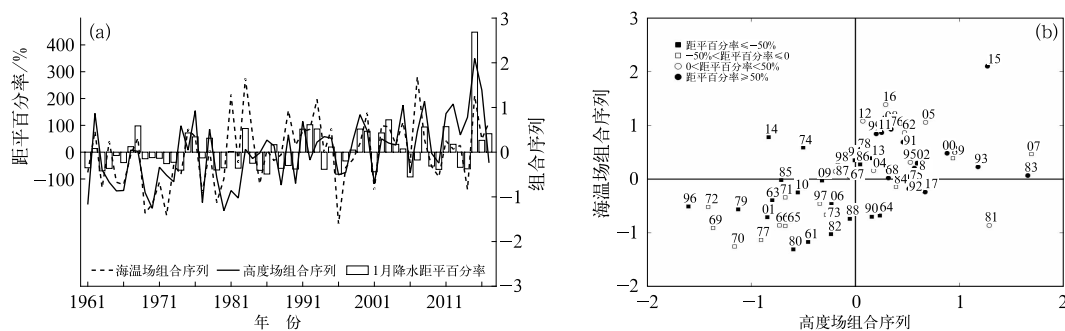


图 7 1961—2017 年 1 月 500 hPa 高度场和海温场组合序列与云南降水距平百分率时序图(a)和散点图(b)  
(散点图上各点的数字代表该点的年份)

Fig. 7 Time sequence diagram (a) and scatter graph (b) of combined sequences of 500 hPa height and SST and precipitation anomaly percentage in Yunnan in January of 1961—2017  
(Number of spots denotes the year in scatter graph)

(1) 云南 1 月降水的年际变化波动较为显著, 降水量异常的偏态分布特征明显。EOF 分析第一模态反映全省降水一致性同位相变化, 体现了云南 1 月降水最主要的变化特征; 第二模态主要反映滇西至滇西北与中东部降水的反位相变化。

(2) 云南 1 月降水异常与中高纬度斯堪的纳维亚遥相关(SCA)波列及低纬度阿拉伯海高度场异常密切联系, 当 SCA 波列负位相和阿拉伯海正高度异常时, 云南 1 月降水偏多, 与之相反则云南 1 月降水偏少。SCA 遥相关波列和阿拉伯海地区的高度场异常主要通过影响水汽输送和云南区域的环流异常, 进而影响云南区域降水。500 hPa 高度场上四个关键区的组合序列与云南 1 月降水较单个区域的高度场有更高的相关性和距平符号对应关系。

(3) 对云南 1 月降水有显著影响的海温主要分布于东南太平洋海域和北大西洋中西部海域, 北大西洋中西部海温影响从前年 11 月持续到同期 1 月, 东南太平洋海温则在 12 月影响最显著。两个区域的海温可通过影响 1 月南亚和东亚的环流场, 进而影响云南 1 月降水。利用 12 月东南太平洋和 1 月北大西洋中西部两个区域海温得到海温场组合序列, 该组合序列与云南 1 月降水较单个区域海温有更高的相关性和距平符号对应关系。

(4) 利用高度场和海温场的组合序列作散点图, 57 年中有 45 年位于第一和第三两个象限, 表明近 80% 的年份高度场和海温场对云南 1 月降水作用一致, 但也有 12 年(占总年份数的 21.1%) 位于第二和第四两个象限, 这些年份高度场和海温场的作用相反, 而云南 1 月降水实况正好是 6 年偏多 6 年偏少, 因此还需进一步深入分析导致这些年份云南 1 月降水出现异常的原因。此外, 散点图虽然点的落区与云南 1 月降水的距平符号有较好的对应关系, 但却不能很好地反映降水距平百分率的量级大小, 出现在第一象限的年份中还有 4 年降水偏少, 这些问题仍有待研究。

## 参考文献

蔡晓杰, 姜华, 王辉, 等, 2015. 中国云南冬季降水与典型海域热含量的关系[J]. 海洋预报, 32(3): 19-28.

陈姣, 张耀存, 2016. 气候变化背景下陆地极端降水和温度变化区域差异[J]. 高原气象, 35(4): 955-968.

程建刚, 晏红明, 严华生, 等, 2009. 云南重大气候灾害特征和成因分析[M]. 北京: 气象出版社: 23-105.

段旭, 据建华, 肖子牛, 等, 2000. 云南气候异常物理过程及预测信号的研究[M]. 北京: 气象出版社: 58-74.

据建华, 陈琳玲, 2003. ENSO 对云南地区降水影响的年代际变化

[J]. 热带气象学报, 19(2): 191-196.

李维京, 左金清, 宋艳玲, 等, 2015. 气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化[J]. 气象, 41(3): 261-271.

刘扬, 刘屹岷, 2017. 斯堪的纳维亚遥相关对我国西南西部深秋降水的影响[J]. 气候与环境研究, 22(1): 80-88.

刘毓赞, 王林, 2014. 冬季斯堪的纳维亚遥相关型在 20 世纪 70 年代末的年代际变化[J]. 气候与环境研究, 19(3): 371-382.

牛法宝, 杞明辉, 杨素雨, 等, 2013. MJO 不同活动中心位置对云南冬半年降水过程的影响[J]. 气象, 39(9): 1145-1153.

秦剑, 潘里娜, 石鲁平, 1991. 南支槽与强冷空气结合对云南冬季天气的影响[J]. 气象, 17(3): 39-43.

任冉, 单婵, 张羽, 等, 2017. 夏季云贵高原地区降水特征及云水资源匹配[J]. 气象, 43(3): 315-322.

时晓曦, 孙即霖, 孙雅文, 等, 2015. 北大西洋秋季“三极子”海温结构对冬季大气环流场所的影响[J]. 海洋学报, 37(7): 33-40.

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[J]. 大气科学, 35(6): 1009-1019.

陶云, 何群, 2008. 云南降水量时空分布特征对气候变暖的响应[J]. 云南大学学报(自然科学版), 30(6): 587-595.

陶云, 黄玮, 郑建萌, 等, 2014. 云南冬季降水的演变特征及成因分析[J]. 高原气象, 33(1): 130-139.

王林, 冯娟, 2011. 我国冬季降水年际变化的主模态分析[J]. 大气科学, 35(6): 1105-1116.

吴洪宝, 吴蕾, 2005. 气候变率诊断和预测方法[M]. 北京: 气象出版社: 104-130.

肖子牛, 石文静, 段玮, 2016. 云南夏季降水量在 21 世纪初的突变减少及原因分析[J]. 气象, 42(3): 261-270.

晏红明, 程建刚, 郑建萌, 等, 2012. 2009 年云南秋季特大干旱的气候成因分析[J]. 大气科学学报, 35(2): 229-239.

晏红明, 王灵, 周国连, 等, 2007. 云南夏季旱涝与前期冬季环流变化的关系[J]. 应用气象学报, 18(3): 340-349.

晏红明, 王灵, 朱勇, 等, 2009. 2008 年初云南低温雨雪冰冻天气的气候成因分析[J]. 高原气象, 28(4): 870-879.

杨辉, 宋洁, 晏红明, 等, 2012. 2009/2010 年冬季云南严重干旱的原因分析[J]. 气候与环境研究, 17(3): 315-326.

杨莲梅, 史玉光, 汤浩, 2010. 新疆北部冬季降水异常成因[J]. 应用气象学报, 21(4): 491-499.

叶坤辉, 肖子牛, 刘波, 2012. 云南地区季降水量和气温的潜在可预报性分析[J]. 气象, 38(4): 402-410.

张万诚, 马涛, 郑建萌, 等, 2014. 秋季水汽输送特征及其与云南降水的关系[J]. 气象, 40(3): 336-348.

张万诚, 万云霞, 任菊章, 等, 2011. 水汽输送异常对 2009 年秋、冬季云南降水的影响研究[J]. 高原气象, 30(6): 1534-1542.

Bueh C, Nakamura H, 2007. Scandinavian pattern and its climatic impact[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 133(629): 2117-2131.

Czaja A, Frankignoul C, 1999. Influence of the North Atlantic SST on the atmospheric circulation[J]. Geophys Res Lett, 26(19): 2969-2972.

Liu Yuyun, Wang Lin, Zhou Wen, et al, 2014. Three Eurasian teleconnection patterns; Spatial structures, temporal variability, and associated winter climate anomalies[J]. Climate Dyn, 42(11/12): 2817-2839. DOI:10.1007/s00382-014-2163-z.