

基于可预报模态分析方法的青藏高原东部夏季降水统计预测模型

孙丽颖¹ 余锐² 刘飞^{1*} 李方腾³

(1 南京信息工程大学 气候动力学中心, 南京 210044; 2 广东省佛山市三水区气象局, 佛山 528100;

3 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘要 利用国家气象信息中心提供的降水资料、NCEP/NCAR 再分析月平均资料以及 Hadley 中心提供的海温资料, 基于可预报模态分析(PMA)方法, 从观测数据中提取青藏高原东部夏季降水具有物理意义的可预报模态, 根据已有研究选取合适的预报因子并建立了物理-经验(P-E)模型, 从而对青藏高原东部夏季降水进行统计预测。结果表明: 南北反向型、一致型、中部型和东北型这 4 个主导模态反映了降水的异常变化, 具有一定的物理意义, 为可预报模态; 超前 0 个月和超前 1 个月的区域平均的预报技巧分别为 0.44 和 0.36, 其中青藏高原东南部地区的预报技巧较高; 超前 0 个月和超前 1 个月的模态相关系数分别为 0.46 和 0.42, 预报最好的年份都是 1998 年, 预报最差的年份分别是 1980 年和 2009 年。

关键词 青藏高原; 夏季降水; PMA

中图分类号: P458.3 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20180506 **文献标识码:** A

引言

青藏高原(以下简称高原)被称作“世界屋脊”, 独特的地形地貌和自然环境, 不仅造成其本身气候的复杂多变, 同时也对全球和区域气候变化产生了显著影响^[1-2]。高原降水主要集中在夏季, 印度夏季风带来的西南暖湿气流, 将水汽经过大峡谷区域输送到高原^[3], 其强弱往往导致高原旱涝发展^[4-5]; 而另一条重要的水汽通道则是来自中纬度西风带的输送^[6-8]。

影响高原降水的因子有很多, 前人已经做了不少研究。Oliver 等^[9]分析了北大西洋和欧洲地区的环流异常以及横跨欧亚大陆的波列对高原夏季旱涝的影响; 尼玛吉^[10]等分析了高原降水对北半球极涡指数的响应; 刘焕才等^[11]讨论了北大西洋涛动对高原降水空间模态变化的影响; 李敏姣等^[12]讨论了 ENSO 事件与高原上对流层水汽异常的关系; 吴亚平等^[13]指出印度洋海温的前期变化对夏季高原水汽的输送有明显的影响; 冯蕾等^[14]发现不同的水汽输送和环流形势配置对应着高原夏季降水不同的空

间分布模态。

动力数值模式是研究气候变化的重要工具, 但对高原降水的预测效果并不理想。胡芴等^[15]和梁玲等^[16]分别评估了全球气候模式和区域气候模式对高原降水的模拟能力, 均指出模式对高原降水模拟能力较差, 即使是提高模式分辨率也很难有所突破^[17], 这可能是受到模式能力和初值误差的制约, 以及高原本身气候恶劣、地形复杂的影响。目前动力模式无法满足高原降水预测的需求。有的学者则采用最优子集回归、均生函数、神经网络等方法对高原降水进行了预测^[18-20], 但这些方法主要基于数学和统计学手段, 缺乏物理解释, 预测效果也不够稳定。

由于上述预测方法均具有一定的局限性, 本文尝试从物理意义和经验统计相结合的角度出发来预测高原夏季降水。可预报模态分析(Predictable Mode Analysis, PMA)方法最早由 Wang 等^[21]提出, Yim 等^[22]将该方法用于预测华南 5—6 月的降水, Lee 等^[23-24]利用该方法预测夏季北半球对流层环流异常和亚洲冬季温度, 该方法还被用于亚洲夏

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

国家重点基础研究发展计划(973), 热带季节内振荡的动力机理及延伸期预报方法研究(2015CB453200)资助

作者简介: 孙丽颖, 女, 1992 年生, 硕士, 主要从事气候诊断分析和预测研究, Email: 20151201108@nuist.edu.cn

收稿日期: 2018 年 9 月 6 日; 定稿日期: 2018 年 12 月 31 日

* 通信作者: Email: liuf@nuist.edu.cn

季风降水^[25]和印度夏季风降水^[26]的预测,都取得了显著的效果。但这些研究的关注区域都很少涉及到高原地区。

本文在前人研究的基础上采用PMA方法,针对测站分布较为密集的高原东部地区,通过建立物理-经验(Physical-Empirical, P-E)模型来预测夏季降水。

1 资料和方法

本文使用的资料主要包括:国家气象信息中心提供的1979—2016年高原东部地区($26^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $85^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$)100个站点的夏季(6—8月)降水资料、NCEP/NCAR再分析月平均资料以及Hadley中心提供的海温资料。

PMA方法主要包括3个部分:①通过经验正交分解(Empirical Orthogonal Function, EOF),找出能够反映年际变化信号的主导模态,这些模态显著区别于其余高阶模态;②对主导模态进行物理解释,

选取合适的预报因子;③建立基于物理解释的经验预报模型,即P-E模型,通过回报试验对模态的可预报性进行验证,能够合理预报的模态视为可预报模态,用以估算降水异常分布型的气候潜在可预报性。

2 高原东部夏季降水的主导模态

通过对高原东部夏季降水距平的EOF分析,得到前4个能够通过North检验^[27]的主导模态,其解释方差分别为20.98%、15.56%、9.72%和7.26%,累计方差贡献为53.52%。

高原东部夏季降水的第一模态空间型呈现南北反向型的特征(图1a),这与前人的研究结果基本一致^[28-29],这个模态正位相对应赤道中东太平洋海温暖事件发展阶段,而NAO通过动力作用改变与高原降水相联系的西风环流,进而引起高原南北槽脊系统的同时增强或减弱,从而使得高原降水呈现南北反位相分布^[30]。

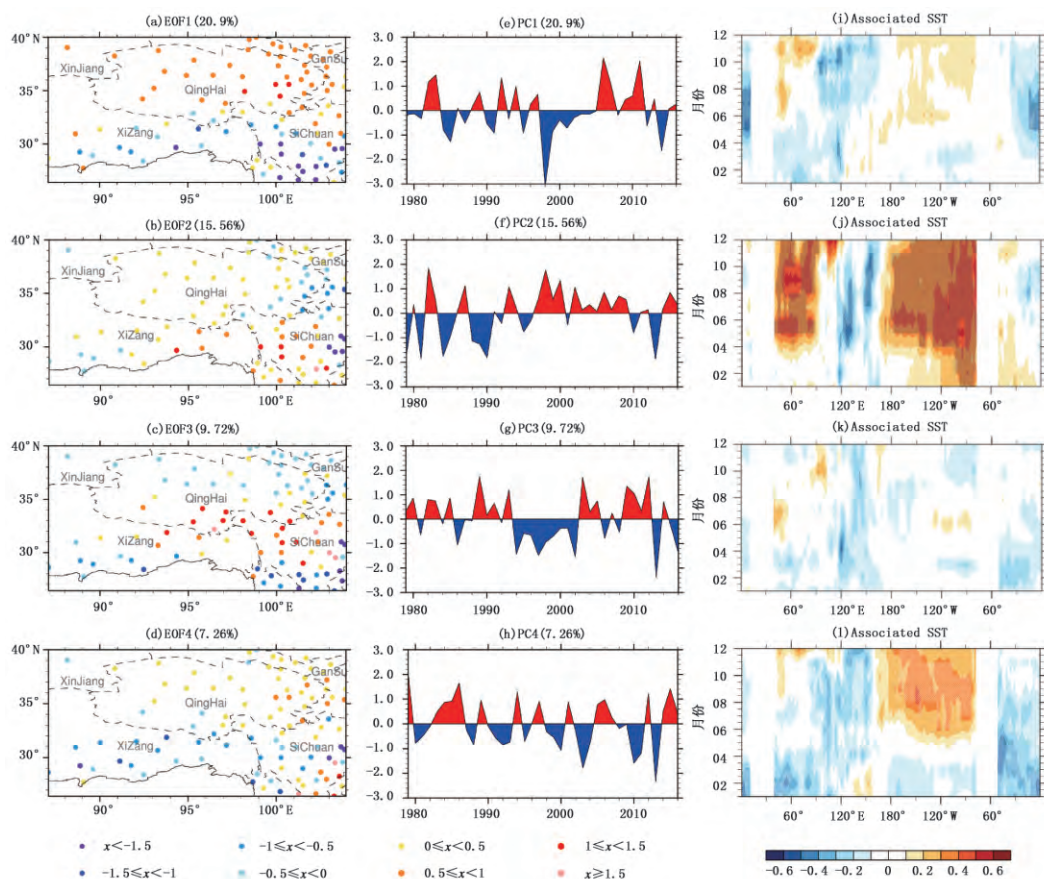


图1 1979—2016年高原夏季降水距平的EOF前4个模态对应的空间分布(a~d),各个模态分别对应的时间序列(e~h),各个时间序列和1—12月的赤道($5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$)逐月海温的超前滞后相关系数(i~l)

第二模态呈现一致型的特征(图 1b), 相对应的印度洋和太平洋均有明显的从春季持续到冬季的海温增暖, 因此这一模态和海温的相关性很高, 高原降水多少与 ENSO 有密切联系^[31], 前期印度洋海温异常对夏季高原水汽输送有着非常重要的作用^[4]。

第三模态(图 1c)表现为腹地降水偏多、周边地区降水偏少的中间型分布特征, 刘晓东等^[32]指出这种分布可能与夏季高原腹地上升气流在周围引起补偿性下沉运动有关, 这个模态中赤道海温信号很弱, 但印度洋西南部有明显的暖海温异常。

第四模态(图 1d)表现为东北型分布, 正的降水异常主要集中在高原东北部地区^[33], 该地区位于亚洲内陆高原北部的边坡地带, 地处东亚季风的西边界^[34], 区别于第一模态, 该模态正负异常的分界线大致沿着昆仑山—巴颜喀拉山一带。

3 基于物理解释选取预报因子

基于已有的研究成果, 为了客观反映海洋和陆地热力情况及其对高原降水的影响, 本文主要从海

温场和海平面气压场中选取预报因子。选取时主要关注两种异常信号: 一个是前期持续性信号, 即 2—5 月持续的信号, 反映的是局地海气相互作用的正反馈; 另一个是前期变化趋势信号, 即 4—5 月平均值减去 2—3 月平均值, 对后期趋势变化有指示意义。在选取预报因子时, 要考虑其与高原降水之间的超前滞后相关关系并保证各因子之间的独立, 同时为了避免过度拟合, 因子数量控制在 3 个以内(研究年份的 10%)。图 2~5 分别为各模态时间序列与变量场的相关分布, 其中打点区域表示通过了 90% 的置信水平, 框中是作为预报因子的关键区域。

第一模态对应的预报因子有: 第 1 个为澳大利亚东侧海温冷水状态(PC1-X1), 该区域前期冷水状态主要影响后期副高强度变化^[35]; 第 2 个为日本—白令海峡的偶极气压异常(PC1-X2), 这种反向配置与 PDO 有关^[36], 调控着向高原水汽输送的低频变化^[37]; 第 3 个为 NAO 强度变化(PC1-X3), 它能改变中东急流轴位置、强度以及与之相联系的波作用通量进而影响高原夏季降水^[38]。

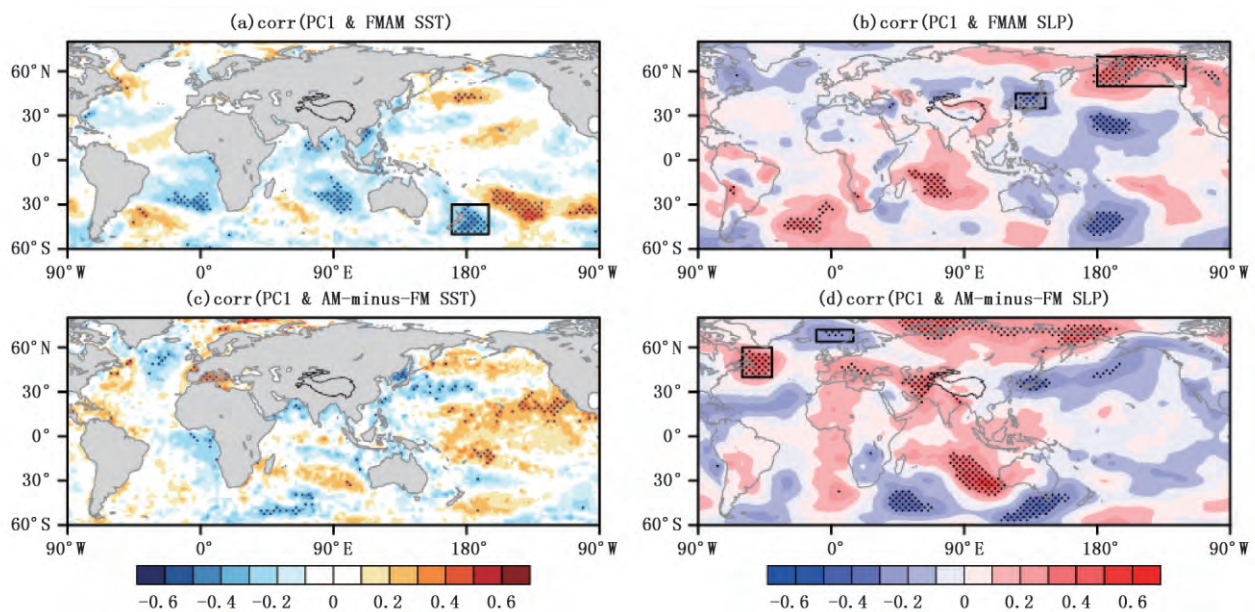


图 2 第一模态时间序列与 2—5 月平均海温的相关系数(a), 第一模态时间序列与 2—5 月平均海平面气压的相关系数(b), 第一模态时间序列与 4—5 月平均值减去 2—3 月平均值的海温的相关系数(c), 第一模态时间序列与 4—5 月平均值减去 2—3 月平均值的海平面气压的相关系数(d)分布空间
(其中打点区域表示通过了 90% 的置信水平, 框中是作为预报因子的关键区域, 下同)

第二模态对应的预报因子有: 第 1 个为前期东太平洋海温正异常(PC2-X1), ENSO 会影响高原降

水^[31], 故本文将能够反映 ENSO 信号的赤道东太平洋作为一个预报关键区; 第 2 个为前期印度洋海温

异常增暖(PC2-X2),驱动沃克环流的异常变化,有利于东风异常显著存在,进而影响向高原地区的水汽输送^[39];第3个为乌拉尔山和鄂霍次克海的海平

面气压场(PC2-X3),北方冷空气南下与暖湿空气交汇于高原地区,造成降水异常^[14]。

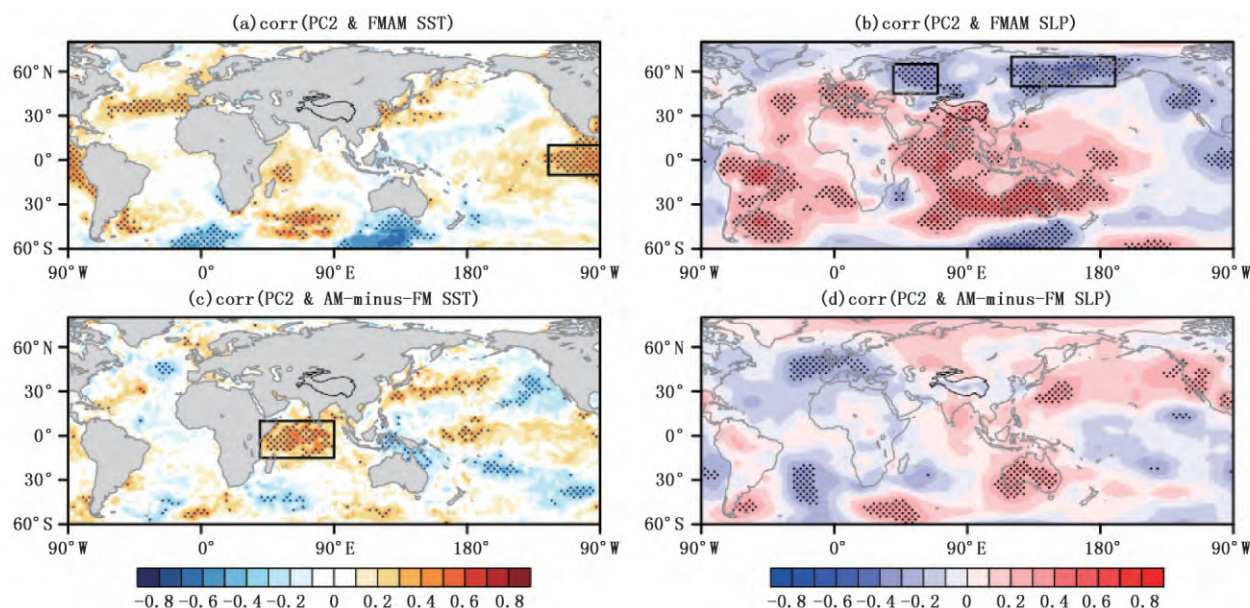


图 3 同图 2,但为第二模态

第三模态对应的预报因子有:第1个为前期副热带西北太平洋海温(PC3-X1),该海域海温与后期高原降水密切相关^[40];第2个为南印度洋偶极振荡(PC3-X2),主要通过强迫局地环流的变化影响越赤

道气流的水汽输送^[41];第3个为欧亚大陆高纬度地区海平面气压场(PC3-X3),是高纬度地区冷空气活动的重要标志。

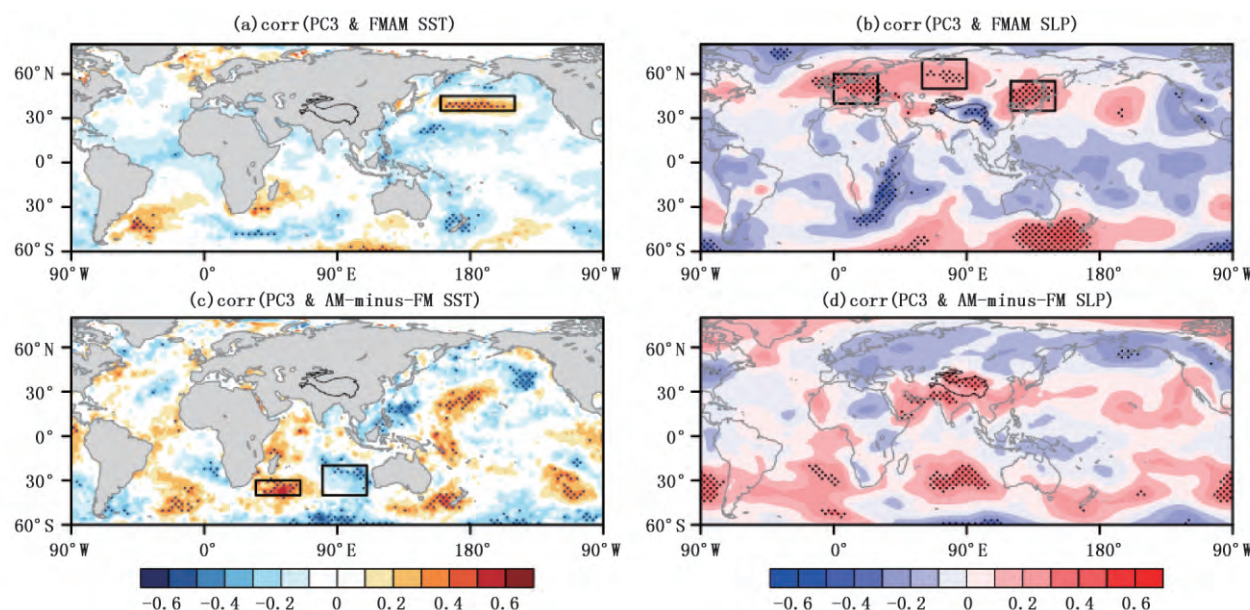


图 4 同图 2,但为第三模态

第四模态对应的预报因子有:第 1 个为印度洋西侧的海温变化(PC4-X1),春季印度洋海温的偶极振荡影响孟加拉湾向高原的水汽输送,导致高原夏季降水异常^[42];第 2 个为赤道以北的大西洋前期海

平面气压(PC4-X2),许多学者^[43-44]认为高原地区位于副热带大西洋对流层上层、亚洲急流的下方,这个位置成为了从北大西洋向东亚波列传播路径。

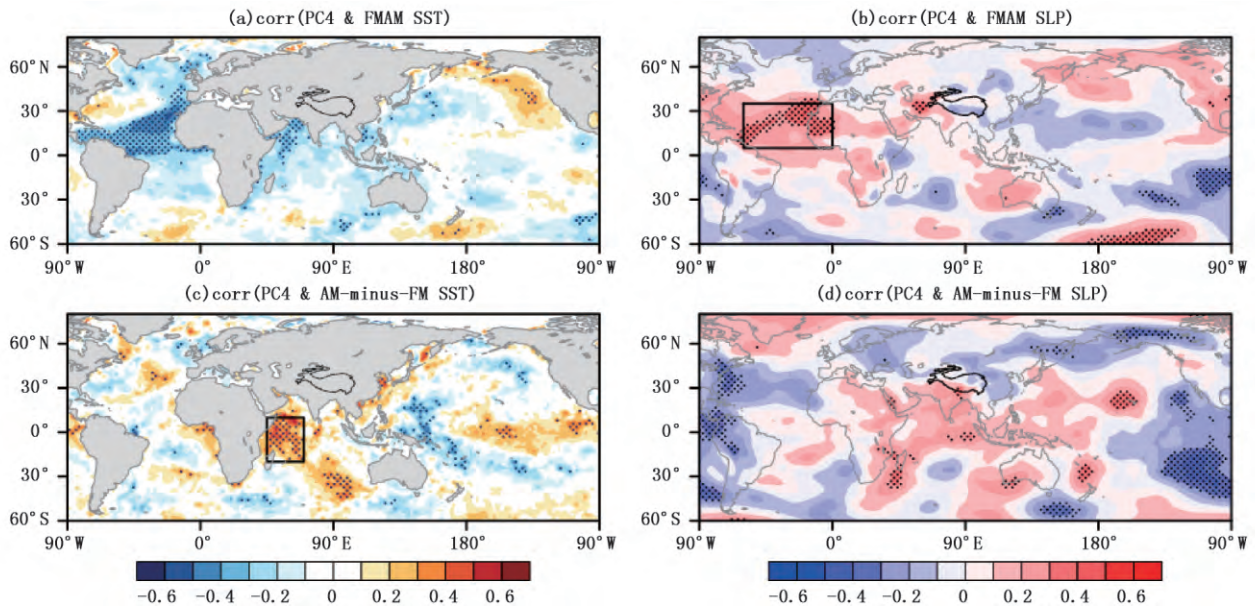


图 5 同图 2, 但为第四模态

为了证明预报因子是独立的,对各模态时间序列与相应的预报因子之间以及各预报因子进行独立性检验(表 1)。从表 1 看出,各模态时间序列与相应的预报因子之间均可以通过 95% 的置信水平,选取的各预报因子之间的相关系数均低于 0.1,可以认为是相互独立的。

表 1 各模态时间序列与相应的预报因子之间以及各预报因子之间的相关系数

	PC1	PC1-X1	PC1-X2	PC1-X3
PC1-X1	-0.37*		-0.06	-0.1
PC1-X2	0.46**	-0.06		0.05
PC1-X3	0.43**	-0.1	0.05	
	PC2	PC2-X1	PC2-X2	PC2-X3
PC2-X1	0.41**		0.07	-0.09
PC2-X2	0.46**	0.07		0.1
PC2-X3	-0.39**	-0.09	0.1	
	PC3	PC3-X1	PC3-X2	PC3-X3
PC3-X1	0.37*		-0.1	0.21
PC3-X2	-0.31*	-0.1		0.12
PC3-X3	0.36*	0.21	0.12	
	PC4	PC4-X1	PC4-X2	
PC4-X1	0.31*		0.11	
PC4-X2	0.42**	0.11		

注: * 和 ** 分别表示通过 95% 和 99% 置信水平。

4 建立 P-E 模型

4.1 预报方程

利用多元逐步线性回归的方法,结合选取的因子,为每个模态建立预报方程(表 2)。通过相关分析,建立的 P-E 模型和原始的时间序列之间的相关系数分别为: EOF-1(0.70)、EOF-2(0.72)、EOF-3(0.62)、EOF-4(0.60)。

表 2 4 个模态的预报方程

相关系数	预报因子	预报方程
EOF-1(0.70)	PC1-X1(x_1)	$PC1' = -0.30x_1 + 0.24x_2 + 0.22x_3$
	PC1-X2(x_2)	
	PC1-X3(x_3)	
EOF-2(0.72)	PC2-X1(x_1)	$PC2' = 0.23x_1 - 0.41x_2 + 0.47x_3$
	PC2-X2(x_2)	
	PC2-X3(x_3)	
EOF-3(0.62)	PC3-X1(x_1)	$PC3' = 0.27x_1 - 0.33x_2 + 0.35x_3$
	PC3-X2(x_2)	
	PC3-X3(x_3)	
EOF-4(0.60)	PC4-X1(x_1)	$PC4' = 0.27x_1 + 0.39x_2$
	PC4-X2(x_2)	
	PC4-X3(x_3)	

4.2 预报技巧检验

应用交叉检验的方法^[45]对 P-E 模型进行后报技巧检验。检验过程中逐步选取 3 个目标年份的同时留下了 35 年作为训练年进行建模,来预测这 3 个目标年。超前 0 个月(L0)和超前 1 个月(L1)的回报结果如图 6 所示,多数年份均得到了较好的拟合。这表明从 PMA 方法的角度出发,4 个主导模态体现了降水的异常变化,为可预报模态。

P-E 模型建立以后,可以利用预测的时间序列,结合 4 个模态的空间型,重构出高原东部夏季降水距平分布的预报场。计算实况场与预报场之间的时

间相关系数(Time correlation coefficient, TCC)如图 7 所示。其中,图 7a 为 4 个可预报模态时间序列与其对应的空间型重构的降水场与实况场之间的相关系数,区域平均的相关系数为 0.52,代表模型的可预报上限;图 7b 为 L0 预报技巧,区域平均的预报技巧为 0.44,可以发现,在高原东南部的云贵一带,预报的准确度是比较高的,但是在高原的西北部地区的预报技巧较低;图 7c 表示 L1 预报技巧,区域平均的预报技巧为 0.36,预报较为成功的同样是位于高原东南部地区。

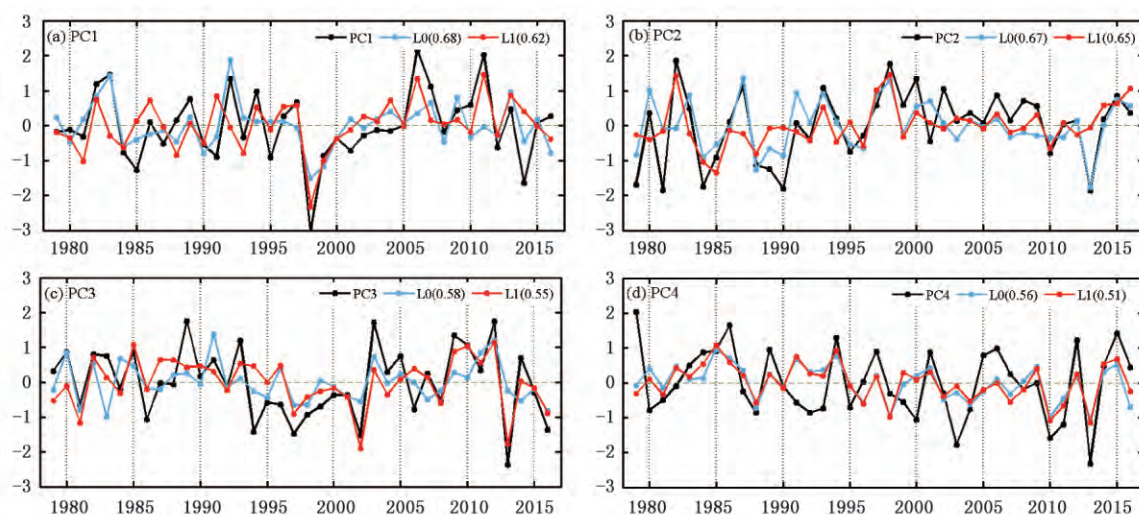


图 6 4 个模态的原始时间序列(黑色实线)、L0 时间序列(蓝色实线)和 L1 时间序列(红色实线)
(L0 指超前 0 个月, L1 指超前 1 个月,下同)

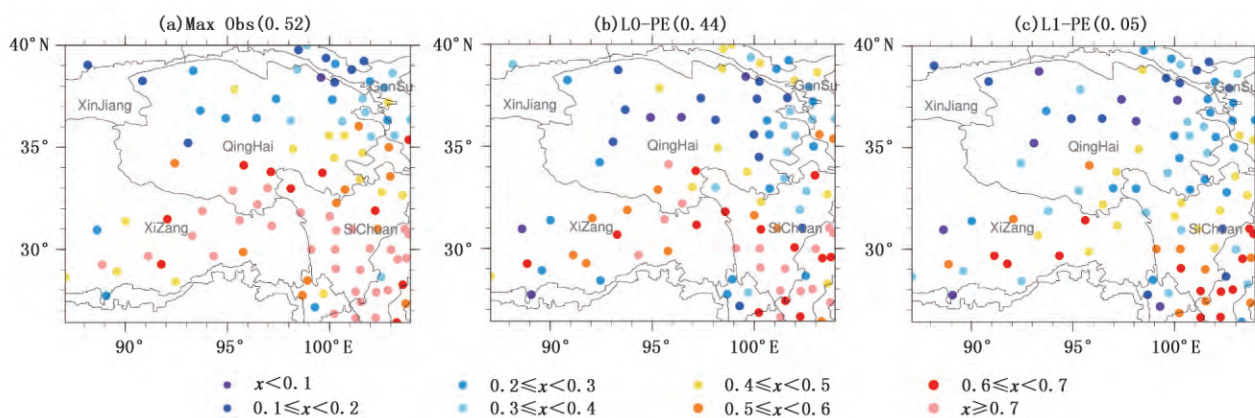


图 7 实况场与预报场之间的时间相关系数:(a)可预报上限,(b)L0 预报技巧,(c)L1 预报技巧

重构的降水场(对应图 7a)、L0 和 L1 与实况场的模态相关系数分别为 0.64, 0.46 和 0.42(图 8)。

对于 L0 来说,较高的年份分别是 1984、1985、1990、1992、1994、1998、2003、2006、2011、2013 年;较低的

年份分别是 1980、1991、2005 和 2009 年;其中预报最好的是 1998 年,预报最差的年份是 1980 年。对于 L1 来说,较高的年份分别是 1983、1990、1994、

1995、1998 和 2006 年;较低的年份分别是 1980、1993、1996、2001、2005、2008 和 2009 年;其中预报最好的同样是 1998 年,预报最差的年份是 2009 年。

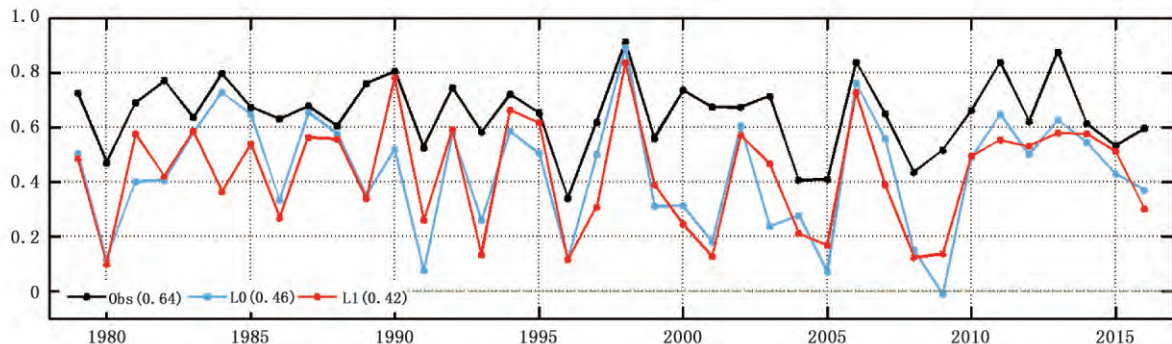


图 8 实况场与预报场之间的模态相关系数年际变化

不同年份预报技巧的好坏可能是因为预报因子的选取在物理机制上很多都涉及到局地海气相互作用,而对于海温变化特征规模较小或强度较弱时,预测模型难以捕捉到有效的预报信号。此外,4 个分布型的 PCC 技巧反映了预测模型代表实际降水分布型的总体程度,但代表性因年而异,当预测模态在个别年份不占主导地位时,即使对时间序列的预测是完美的,其贡献也很小,所以当 PCC 技巧很低时,P-E 模型的预报结果很差,这就意味着存在一些在现阶段还未发现的新模态。

5 结论

基于可预报模态分析(PMA)方法,本文对高原东部夏季降水进行了 EOF 分析,提取了 4 个主导模态,根据物理解释建立 P-E 模型预测高原东部夏季降水,并分析了模型的预报技巧。主要结论如下:

(1)前 4 个模态累计方差贡献为 53.52%,分别为南北反向型、一致型、中部型和东北型,是能够反映年际变化信号的主导模态。

(2)在探究各个模态物理意义的基础上,选取了相互独立的预报因子,对 4 个模态分别建立了超前 0 个月和超前 1 个月的 P-E 模型,进行回顾预报,检验预测模型的后报技巧,拟合效果较好。说明这 4 个模态反映了降水的异常变化,为可预报模态,其余高阶模态则为噪声信号。

(3)利用交叉检验后的 P-E 模型对降水进行预报,重新构建降水场。结果发现,预报技巧上限为 0.52,超前 0 个月和超前 1 个月的区域平均的预报

技巧分别为 0.44 和 0.36,其中高原东南部地区的预报技巧较高。超前 0 个月和超前 1 个月的模态相关系数分别为 0.46 和 0.42,预报最好的年份都是 1998 年,预报最差的年份分别是 1980 年和 2009 年。

参考文献

- [1] 邹燕,赵平.青藏高原年代际气候变化研究进展[J].气象科技,2008,36(2):168-173.
- [2] 乔钰,周顺武,马悦,等.青藏高原的动力作用及其对中国天气气候的影响[J].气象科技,2014,42(6):1039-1046.
- [3] 谢欣汝,游庆龙,保云涛,等.基于多源数据的青藏高原夏季降水与水汽输送的联系[J].高原气象,2018,37(1):78-92.
- [4] 周顺武,假拉.印度季风的年际变化与高原夏季旱涝[J].高原气象,2003,22(4):410-415.
- [5] 黄露,范广洲.影响青藏高原大气可降水量的因素及其变化特征[J].气象科技,2018,46(6):1172-1179.
- [6] 林厚博,游庆龙,焦洋,等.青藏高原及附近水汽输送对其夏季降水影响的分析[J].高原气象,2016,35(2):09-317.
- [7] 周长艳,李跃清,李薇,等.青藏高原东部及邻近地区水汽输送的气候特征[J].高原气象,2005,24(6):880-888.
- [8] 李生辰,李栋梁,赵平,等.青藏高原“三江源地区”雨季水汽输送特征[J].气象学报,2009,67(4):591-598.
- [9] Bothe O, Fraedrich K, Zhu X. The large-scale circulations and summer drought and wetness on the Tibetan Plateau [J]. Int J Climatol, 2010, 30: 844-855.
- [10] 尼玛吉,建军,次旺顿珠.北半球极涡指数对高原夏季降水的影响[J].高原山地气象研究,2018,38(1):17-21.
- [11] 刘焕才,段克勤.北大西洋涛动对青藏高原夏季降水的影响[J].冰川冻土,2012,34(2):311-318.
- [12] 李敏姣,张雪芹,解承莹.青藏高原上对流层水汽“典型异常年”成因分析[J].高原气象,2014,33(5):1197-1203.

- [13] 吴亚平, 雷俊, 方之芳. 印度洋海温的偶极振荡与夏季青藏高原水汽输送的关系[J]. 高原山地气象研究, 2008(2): 10-14.
- [14] 冯蕾, 魏凤英. 青藏高原夏季降水的区域特征及其与周边地区水汽条件的配置[J]. 高原气象, 2008(3): 491-499.
- [15] 胡芈, 姜大膀, 范广洲. CMIP5 全球气候模式对青藏高原地区气候模拟能力评估[J]. 大气科学, 2014, 38(5): 924-938.
- [16] 梁玲, 李跃清, 胡豪然, 等. RegCM3 模式对青藏高原温度和降水的模拟及检验[J]. 气象科学, 2009, 29(5): 611-617.
- [17] 冯蕾, 周天军. 高分辨率 MRI 模式对青藏高原夏季降水及水汽输送通量的模拟[J]. 大气科学, 2015, 39(2): 385-396.
- [18] 解明恩, 单巴次仁, 张万诚. 均生函数模型在高原汛期降水预报中的应用[J]. 高原气象, 1998(2): 81-88.
- [19] 窦浩洋, 邓航, 孙小明, 等. 基于均生函数-最优子集回归预测模型的青藏高原气温和降水短期预测[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, 46(4): 643-648.
- [20] 时兴合, 李生辰, 白彦芳, 等. 集成方法在高原降水预报中的应用研究[J]. 青海气象, 2005(1): 13-17.
- [21] Wang B, Lee J Y, Kang I S, et al. Coupled predictability of seasonal tropical precipitation [J]. CLIVAR Exchanges, 2007, 12: 17-18.
- [22] Yim S Y, Wang B, Xing W. Prediction of early summer rainfall over South China by a physical-empirical model [J]. Clim Dyn, 2014, 43(7-8): 1883-1891.
- [23] Lee J Y, Wang B, Ding Q, et al. How predictable is the northern hemisphere summer upper-tropospheric circulation? [J]. Climate Dynamics, 2011, 37(5-6): 1189-1203.
- [24] Lee J Y, Lee S S, Wang B, et al. Seasonal prediction and predictability of the Asian winter temperature variability [J]. Climate Dynamics, 2012, 41(3-4): 573-587.
- [25] Bin Wang, June-Yi Lee, Baoqiang Xiang. Asian summer monsoon rainfall predictability: a predictable mode analysis [J]. Climate Dynamics, 2015, 44 (1-2): 61-74.
- [26] Wang B, Xiang B, Li J, et al. Rethinking Indian monsoon rainfall prediction in the context of recent global warming [J]. Nature Communications, 2015, 6:7154.
- [27] North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al. Sampling Errors in the Estimation of Empirical Orthogonal Functions [J]. Monthly Weather Review, 1982, 110(7): 699.
- [28] 张宁瑾, 肖天贵, 假拉. 1979—2016 年青藏高原降水时空特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(3): 373-382.
- [29] 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化[J]. 大气科学, 2003(2): 157-170.
- [30] Liu X, Yin Z Y. Spatial and Temporal Variation of Summer Precipitation over the Eastern Tibetan Plateau and the North Atlantic Oscillation [J]. Journal of Climate, 2001, 14(13): 2896-2909.
- [31] 周顺武, 假拉, 杜军. 青藏高原夏季降水对 ENSO 的响应[J]. 南京气象学院学报, 2001(4): 570-575.
- [32] 刘晓东, 侯萍. 青藏高原中东部夏季降水变化及其与北大西洋涛动的联系[J]. 气象学报, 1999(5): 561-570.
- [33] 卢鹤立, 邵全琴, 刘纪远, 等. 近 44 年来青藏高原夏季降水的时空分布特征[J]. 地理学报, 2007(9): 946-958.
- [34] 谌芸, 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(S1): 98-103.
- [35] 王遂维, 李栋梁, 王谦谦. 青藏高原东北侧夏季降水异常与澳大利亚东侧海温异常的关系研究[J]. 高原气象, 2004(6): 905-911.
- [36] 程乘, 朱益民, 于斌, 等. 中国华南 3 月降水和大气环流的年代际转型及其与 PDO 的联系[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 936-944.
- [37] Zhao L, Wang S Y S, Meyer J. Interdecadal climate variations controlling the water level of Lake Qinghai over the Tibetan Plateau[J]. Journal of Hydrometeorology, 2017, 18(11): 3013-3025.
- [38] Yang S. Upstream subtropical signals preceding the Asian summer monsoon circulation [J]. Journal of Climate, 2004, 17(21): 4213-4229.
- [39] 任倩, 周长艳, 何金海, 等. 前期印度洋海温异常对夏季高原“湿池”水汽含量的影响及其可能原因[J]. 大气科学, 2017, 41(3): 648-658.
- [40] 王善华. 青藏高原降水与有关海域海温、南方涛动的关联[J]. 气象科学, 1993(4): 410-416.
- [41] 杨明珠, 丁一汇. 中国夏季降水对南印度洋偶极子的响应研究[J]. 大气科学, 2007(4): 685-694.
- [42] 吴亚平, 雷俊, 方之芳. 印度洋海温的偶极振荡与夏季青藏高原水汽输送的关系[J]. 高原山地气象研究, 2008(2): 10-14.
- [43] Gao Y, Wang H, Li S. Influences of the Atlantic Ocean on the summer precipitation of the southeastern Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2013, 118(9): 3534-3544.
- [44] Sun J, Wang H, Yuan W. Decadal variations of the relationship between the summer North Atlantic Oscillation and middle East Asian air temperature [J]. Journal of Geophysical Research, 2008, 113, D15107: 1-11.
- [45] Michaelsen, J. Cross-validation in statistical climate forecast models [J]. Journal of Applied Meteorology, 1987, 26(11): 1589-1600.

Establishment of Statistical Prediction Model of Summer Precipitation in Eastern Tibetan Plateau Based on Predictable Modal Analysis Method

Sun Liying¹ Yu Rui² Liu Fei¹ Li Fangteng³

(1 Climate Dynamics Research Center, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044 ;

2 Sanshui Meteorological Service, Guangdong, Foshan 528100 ;

3 National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081)

Abstract : By using the monthly-mean precipitation data provided by the National Meteorological Information Center and NCEP/NCAR reanalysis project and SST (Sea Surface Temperature) data from the Hadley Center, the predictable modes of summer precipitation in the eastern Tibetan plateau are extracted based on the Predictable Modal Analysis (PMA) method. According to the existing researches, the appropriate predictors are selected and the physical-empirical (P-E) model is established. The study applies the statistical prediction method to predict summer precipitation in the eastern part of the plateau. The results show that the four dominant modes, i. e., the north-south reversal mode, uniform mode, middle mode and northeast mode, are predictable and meaningful, reflecting the anomalous variation of precipitation. The domain-averaged temporal correlation coefficient (TCC) skills of the 0-month lead prediction and the 1-month lead prediction are 0.44 and 0.36, respectively, which means that they are well predicted. The maximum is located in the southeast of the plateau. Time-averaged pattern correlation coefficient (PCC) skills of the above two predictions are 0.46 and 0.42, respectively. For 0-month lead prediction, the best year is 1998 and the worst is 1980, while for 1-month lead prediction, the best year is 1998 and the worst is 2009.

Keywords : Tibetan Plateau; summer precipitation; PMA (Predictable Modal Analysis)

欢迎订阅《气象科技》

《气象科技》由中国气象局气象探测中心、中国气象科学研究院、北京市气象局、国家卫星气象中心及国家气象信息中心联合主办。报道大气科学和相关科学各领域新理论、新方法和新技术,也刊载反映大气科学各领域发展水平的综合评述。主要栏目:大气探测与信息技术,天气气候与数值预报,应用气象与科学试验,台站实用技术等。欢迎气象部门和相关学科的业务、科研、技术开发人员以及相关院校师生投稿和订阅。《气象科技》为大 16 开本双月刊,全年定价:120 元,全年随时订阅。

联系地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号,中国气象局气象探测中心,《气象科技》编辑部

http: //www. qxkj. net. cn, 邮政编码:100081, 电话:(010)68407256, Email: qxkj@cma. gov. cn

户名:中国气象局气象探测中心,账号:4043200001819900025525, 开户行:华夏银行北京紫竹桥支行