

顾伟宗,陈丽娟.山东夏季降水异常的环流特征及降尺度解释应用预测方法研究[J].海洋气象学报,2019,39(4):83-89.
GU Weizong, CHEN Lijuan. Research on circulation characteristics of anomalous summer precipitation in Shandong and prediction by downscaling interpretation and application[J]. Journal of Marine Meteorology, 2019, 39(4): 83-89. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.04.010. (in Chinese)

山东夏季降水异常的环流特征及降尺度解释应用预测方法研究

顾伟宗¹,陈丽娟²

(1. 山东省气候中心,山东 济南 250031;2. 国家气候中心,北京 100081)

摘要: 基于山东省123个国家级气象观测站1961—2015年夏季降水资料、1991—2015年NCEP再分析资料,分析了山东夏季降水变化特征及其与大气环流的关系。结果表明,在山东夏季降水偏多(少)时,乌拉尔山阻塞高压偏弱(强),副热带高压偏强(弱),南亚高压偏强(弱),并且200 hPa经向风场有明显的类似丝绸之路遥相关型的波列结构。利用国家气候中心第二代海气耦合模式3月起报的未来夏季海平面气压场建立降尺度预测模型,该模型对山东夏季降水的预测符号一致率达到64%,有一定的预测能力,进一步分析发现,模式对关键区环流因子的模拟预测能力显著影响降尺度预测方法的准确率。

关键词: 夏季降水;异常;降尺度解释应用

中图分类号: P462.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2019)04-0083-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2019.04.010

Research on circulation characteristics of anomalous summer precipitation in Shandong and prediction by downscaling interpretation and application

GU Weizong¹, CHEN Lijuan²

(1. Shandong Climate Center, Jinan 250031, China; 2. National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract The variation characteristics of summer precipitation in Shandong and their relationship with atmospheric circulation are studied based on summer precipitation data of 123 national meteorological stations from 1961 to 2015 and NCEP reanalysis data from 1991 to 2015. The results indicate that when the summer precipitation in Shandong is more (less), Ural blocking high is weaker (stronger), the subtropical high is stronger (weaker), South Asia high is stronger (weaker), and an obvious wave train that resembles the Silk Road Pattern appears on the meridional wind field at 200 hPa. The downscaling prediction model is established utilizing the second generation of National Climate Center coupled ocean-atmosphere model to predict the future summer sea-level pressure from March, and the sign consistency of prediction by downscaling interpretation method and observation can reach 64%. The downscaling method has predictive ability for the ability of summer precipitation in Shandong. Further analysis shows that the simulation and prediction ability of the model on circulation factor of key region has significant influence on the skill of downscaling method.

Key words summer precipitation; anomaly; downscaling interpretation and application

收稿日期:2019-08-20; 修订日期:2019-10-08

基金项目:国家自然科学基金项目(41275073);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306033, GYHY201406022);山东省气象局重点科研项目(2016sdqx02)

作者简介:顾伟宗,男,博士,正高级工程师,主要从事气候预测和气候变化研究, longmarch529@163.com。

引言

短期气候预测是公认的世界难题,对于我国短期气候预测来说,夏季旱涝预测又是重中之重,准确的预测能够为政府防汛抗旱提供科学依据。分析我国的短期气候预测情况来看,经过近些年的发展,预测水平整体有所提高,但是预测水平的区域性差别比较大。

山东地处我国南方雨量丰沛和北方干旱少雨的过渡地带,降水年际变化差异较大,降水异常成因和影响该区域的前期因子复杂导致了山东区域短期气候预测的可预测性较低。前期已有不少关于山东夏季降水与前期海温的关系的研究^[1-4],发现用赤道东太平洋区、北太平洋流区海温做为预报因子,对山东夏季降水有一定的预测能力,这些研究主要是集中在太平洋海域。一些研究发现影响区域降水的因子会发生年代际变化^[5-11],在气候变暖的背景下,山东夏季降水异常的环流特征是怎样的?利用实际观测资料,充分认识山东区域夏季降水异常的大气环流特征,发现具有一定物理意义的关键影响区域,借助于气候模式模拟的未来环流信息,从实时预测的角度出发,利用模式预测的同期环流信息,发展动力统计相结合的预测方法,能否提高预测准确率较低的山东夏季降水预测水平,值得探讨。本文在分析山东夏季降水异常成因的基础上,利用统计学的方法,将模式资料和实况资料相结合,寻找影响山东地区夏季降水的同期环流因

子,兼顾模式对大气环流的模拟能力和环流因子的物理意义,发展动力统计相结合的降尺度预测方法,以期提高山东夏季降水的预测能力。

1 资料

选取山东 123 个国家级气象观测站 1961—2015 年夏季降水资料和 1991—2015 年 NCEP/NCAR 再分析资料^[12]中的月平均数据集。再分析资料包括位势高度场、海平面气压场、垂直速度、风场,该资料的经纬网格为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度),垂直分辨率为 17 层。在发展降尺度解释应用时,所用的模式为 BCC_CSM1.1(m) 模式。该模式是由中国气象局国家气候中心研发的第二代气候系统模式,模式的大气模式分量为 BCC_AGCM2.2,水平分辨率为 T106(网格距约为 1°),垂直方向为 26 层^[13-14]。

2 山东夏季降水变化特征

山东省年平均降水量为 641.8 mm,其中夏季为 400.3 mm,占全年降水量的 62.4%。夏季降水年际变化大,1961—2015 年间,夏季降水最多的年份为 1964 年,达 660 mm;降水最少的年份为 2002 年,为 206.2 mm。山东夏季降水年代际变化明显,20 世纪 60 年代—70 年代中期为降水偏多期,70 年代中期—90 年代初期为降水偏少期,90 年代至今为降水偏多期,特别是进入本世纪以来,降水明显偏多(图 1)。

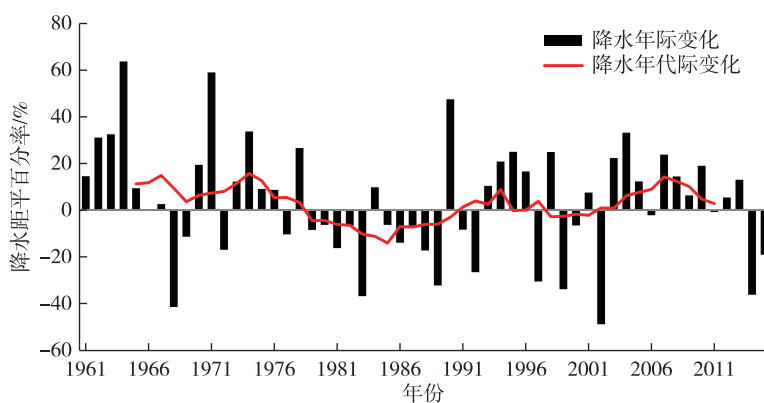


图 1 山东夏季降水变化特征

Fig.1 Variation characteristics of summer precipitation in Shandong

3 山东夏季降水异常成因分析

大气环流异常是造成降水异常的直接原因,下文将从 500 hPa 高度场、200 hPa 高度场、200 hPa 经

向风场、垂直运动和海平面气压场的异常,分析和比较当前气候背景下山东夏季降水偏多年和偏少年的差异。根据图 1 中山东夏季降水的距平百分率结果,以降水距平百分率 $\pm 20\%$ 作为降水强弱年的

分界,可以得到1991年以来6个异常多年和5个异常少年。其中降水偏多年份分别为1994、1995、1998、2003、2004和2007年,降水偏少年份分别为1992、1997、1999、2002和2014年。

3.1 高度场异常

根据上述分类,对降水多年和降水少年夏季(6—8月)的500 hPa位势高度场进行合成分析,图2给出了多雨年和少雨年500 hPa位势高度距平场的分布特征。

当山东夏季降水偏多时(图2a),500 hPa高度场上中高纬度地区表现为“两槽一脊”型,乌拉尔山以西和鄂霍次克海上空为明显的负距平,乌拉尔山阻塞高压和鄂霍次克海阻塞高压偏弱,乌拉尔山以东至贝加尔湖地区为明显的正距平,同时在副热带地区,副热带高压明显偏强,沿副热带高压西南侧,

暖湿气流不断地向北输送,这样冷暖空气交汇,有利于山东夏季降水偏多。降水偏少时(图2b),乌拉尔山以西上空为明显的正距平,乌拉尔山阻塞高压明显偏强,乌拉尔山以东至贝加尔湖地区为明显的负距平,鄂霍次克海上空仍为负距平,鄂霍次克海阻塞高压偏弱,在副热带地区,副热带高压明显偏弱。由上面的分析可以看出,当夏季极涡偏弱时,乌拉尔山高压偏弱,鄂霍次克海阻塞高压偏弱,中高纬度经向型环流较弱,冷空气南下但不是很强,同时副热带高压偏强,沿副热带高压西南侧的暖湿气流能够源源不断地输送到中纬度地区,冷暖空气交汇地偏北,有利于山东夏季降水偏多,从降水偏多年和偏少年高度场合成可以看出,鄂霍次克海阻塞高压对山东夏季降水影响不大。

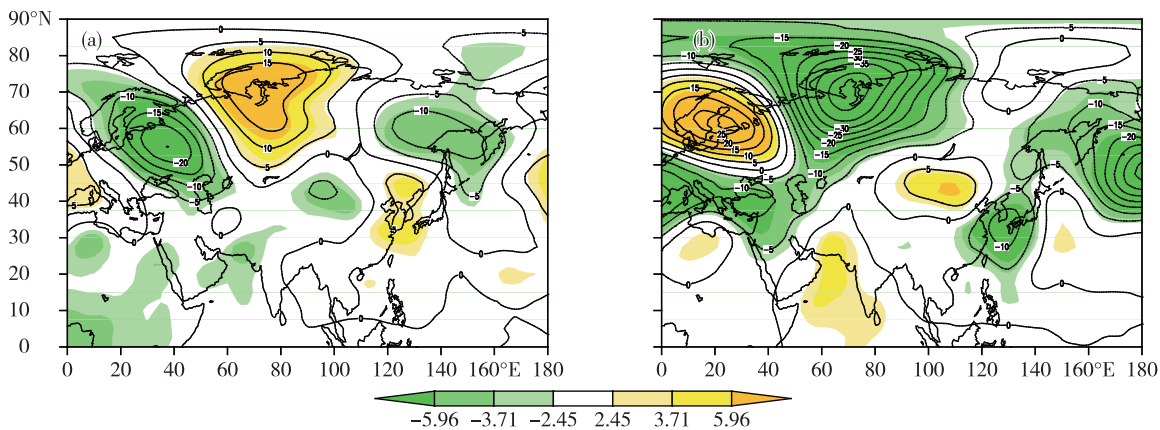


图2 山东夏季降水偏多(a)、偏少(b)年份500 hPa位势高度距平(曲线;单位:gpm)特征(彩色填充区为通过0.05信度的显著性水平检验)

Fig.2 Characteristics of geopotential height anomaly (curve; units: gpm) at 500 hPa in years of more (a) and less (b) summer precipitation in Shandong (shaded area denotes passing the significance test at 0.05 level)

当夏季降水偏多时,200 hPa位势高度场上,乌拉尔山以东为明显负距平,极区为明显的正距平,鄂霍次克海上空为明显的负距平,所以极涡偏弱,乌拉尔山阻塞高压和鄂霍次克海阻塞高压偏弱,副热带高压偏强,中高纬分布形式基本与500 hPa高度场一致。但是在南亚上空为明显的正距平,南亚高压偏强(图3),当降水偏少时出现相反的环流特征(图略)。

3.2 风场异常

上述分析了山东夏季降水异常时不同层次高度场表现出的特征,事实上,风场异常也是导致降水异常的直接原因之一,LU et al.^[15]较早通过200 hPa经向风场点相关分析提出西风急流中存在一个遥相关波列,并指出此遥相关(即丝绸之路遥相关)是东亚夏季风和印度夏季风的一个可能联系。文

中在研究山东夏季降水异常时发现,当山东夏季降水偏多时,200 hPa经向风场上,从中东地区沿亚洲急流带出现类似丝绸之路的波列,该波列从中东地区一直持续到北太平洋(图4),这种现象表明山东夏季降水异常与位于亚洲西风急流带的丝绸之路遥相关型可能有密切的关系。

KOSAKA et al.^[16]对丝绸之路遥相关型进行动力学分析发现,在斜压性西风急流中从有效位能获取能量的方式对遥相关型的维持非常有效。CHEN and HUANG^[17]指出丝绸之路遥相关型会影响到中国西北部6月的降水。已有的一些模式试验证明印度季风区的非绝热加热可以激发出类似于丝绸之路遥相关型的波列结构^[18-19],为此,文中进一步分析了山东夏季降水异常时500 hPa高度场上垂直

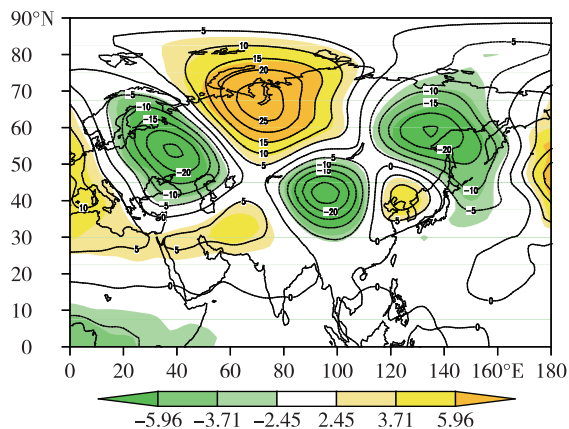


图3 山东夏季降水偏多时 200 hPa 位势高度距平(曲线;单位:gpm)特征(彩色填充区为通过 0.05 信度的显著性水平检验)

Fig.3 Characteristics of geopotential height anomaly (curve, units: gpm) at 200 hPa when there is more summer precipitation in Shandong (shaded area denotes passing the significance test at 0.05 level)

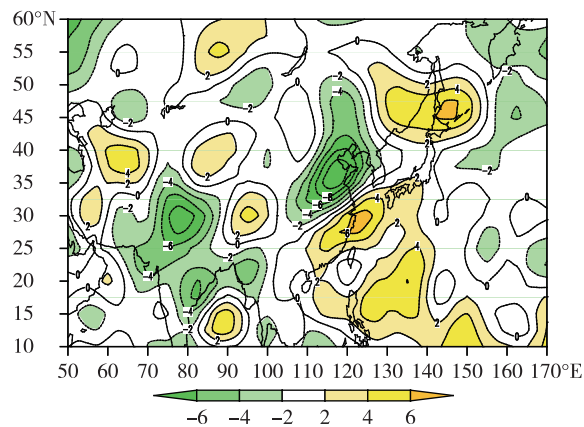


图5 降水偏多年与偏少年 500 hPa 垂直运动 ω (曲线;单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)的差值(彩色填充区为通过 0.05 信度的显著性水平检验)

Fig.5 Difference of vertical motion ω (curve, units: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) at 500 hPa between years of more and less precipitation (shaded area denotes passing the significance test at 0.05 level)

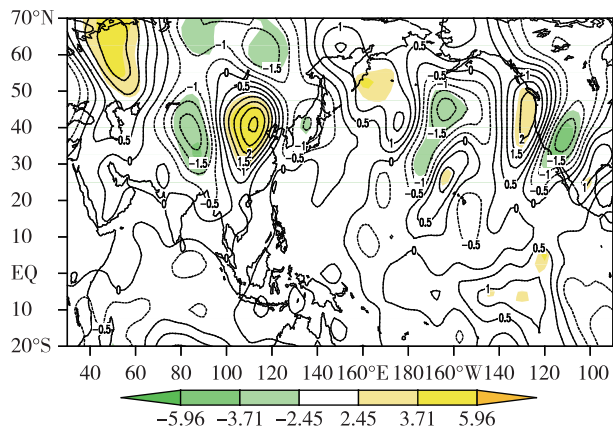


图4 山东夏季降水偏多时 200 hPa 经向风场距平(曲线;单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)的异常特征(彩色填充区为通过 0.05 信度的显著性水平检验)

Fig.4 Characteristics of meridional wind anomaly (curve, units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) at 200 hPa when there is more summer precipitation in Shandong (shaded area denotes passing the significance test at 0.05 level)

运动的分布特征,从图 5 中可以看出印度半岛上空为明显负距平,该地区存在显著的异常上升运动,自印度半岛向东北方向出现明显的“-++”的距平中心,山东上空为明显的负距平中心,即高空为明显的上升运动,高空上升运动有利于对流加强,从而有利于山东夏季降水偏多,在 500 hPa 以上各层基本也是这种波列分布形式(图略)。这一结果表明,印度季风区的非绝热加热的异常,可能会通过丝绸之路遥相关影响山东夏季降水。

3.3 海平面气压

为了研究山东夏季降水与同期海平面气压场的关系,文中利用相关系数法进行分析,图 6 为山东夏季降水与同期海平面气压场的相关系数分布图,阴影为通过 0.05 信度检验的区域,从图中可以看出,与山东夏季降水负相关的区域主要在乌拉尔山以西和印度洋孟加拉湾上空,当该区域海平面气压偏低时,山东夏季降水可能偏多,正相关区域主要位于阿留申低压、副热带高压、南印度洋和南太平洋区域,当上述区域海平面气压偏高时,山东夏季降水可能偏多(图 6)。

4 基于海平面气压场的降尺度解释应用预测方法研究

统计降尺度方法是近年来发展起来的解释应用方法,被广泛应用到短期气候预测中^[20-23],从而有效地提高了短期气候预测准确率,文中选取了 BCC_CSM1.1(m) 预测的夏季海平面气压场作为预报因子。建立山东夏季降水预测的降尺度模型。降尺度模型的建立主要有三步:一是最优预报因子的选取,二是统计降尺度预测模型的建立,三是预测效果的检验。

因子的选取既要考虑因子对山东夏季降水影响的物理机制,同时又要兼顾因子能够被模式较好地模拟预测,文中利用山东夏季平均降水量分别与模式产品和实况资料求相关,寻求既能反映模式预报大尺度要素的高技巧区,也能反映影响山东夏季

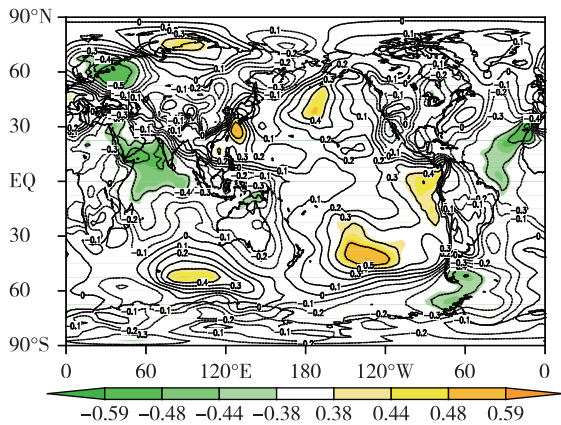


图 6 山东夏季降水与同期海平面气压场的相关系数(曲线)分布(彩色填充区为通过 0.05 信度的显著性水平检验)

Fig.6 Distribution of correlation coefficients (curve) between summer precipitation in Shandong and sea-level pressure in the corresponding period (shaded area denotes passing the significance test at 0.05 level)

降水的实际环流信息,把这两个相关场同时通过信度检验的区域内模式资料的平均值作为预测因子。图 7 为山东夏季降水与模式预测的夏季海平面气压场的相关系数分布图,结合山东夏季降水与再分析资料的相关系数分布图(图 6),可以看出,既能满足反应影响山东夏季降水有物理意义的因子同时又是模式模拟预测的高技巧区的主要有 2 个区域,一是在印度洋上空(45°E~70°E,5°S~10°N),为明显的负相关,当该区域海平面气压偏低时,山东夏季降水容易偏多;另一个区域在南半球澳大利亚东南部(20°W~40°W,45°S~35°S),为明显正相关,当此地海平面气压偏高时,山东夏季降水偏多。将上述两个区域内的海平面气压场区域平均,作为动力降尺度模型的因子,利用最优子集回归作为转换函数,建立统计降尺度预测模型。为了检验该模型对

山东夏季降水的预测能力,文中利用交叉检验的方法进行预测效果检验,检验结果如图 8 所示,从图中可以看出,1991—2015 年 25 a 中,预测和实况距平百分率符号一致的有 16 a,符号一致率达到 64%,并且该模型对于 1997 年降水异常偏少年份,1998、2007 和 2010 年降水异常偏多的年份能较好地预测,该降尺度预测方法对山东夏季旱涝有一定的预测能力,但是总体预测能力不是很强。

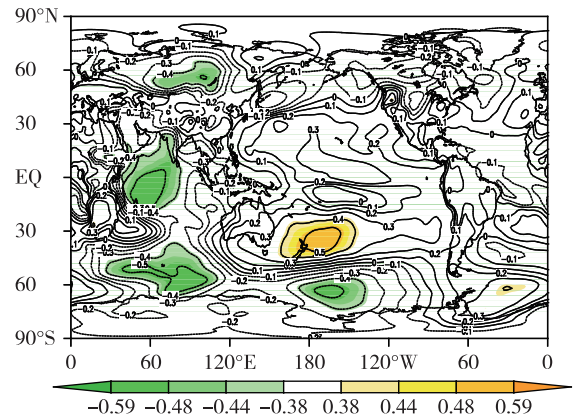


图 7 山东夏季降水与模式预报的夏季海平面气压场的相关系数(曲线)分布(彩色填充区为通过 0.05 信度的显著性水平检验)

Fig.7 Distribution of correlation coefficients (curve) between summer precipitation in Shandong and sea-level pressure in the corresponding period given by the model (shaded area denotes passing the significance test at 0.05 level)

由上面分析可以看出来,该降尺度方法虽然对极端的旱涝年份能较好地预测,但是总体预测能力不是很强。是什么原因导致该方法预测能力不强呢?为了进一步验证该方法的预测能力,文中用实况的海平面气压场代替模式预报的环流场,挑选出实况场印度洋上空(45°E~70°E,5°S~10°N)和澳大利亚东南部(20°W~40°W,45°S~35°S)两区域内的

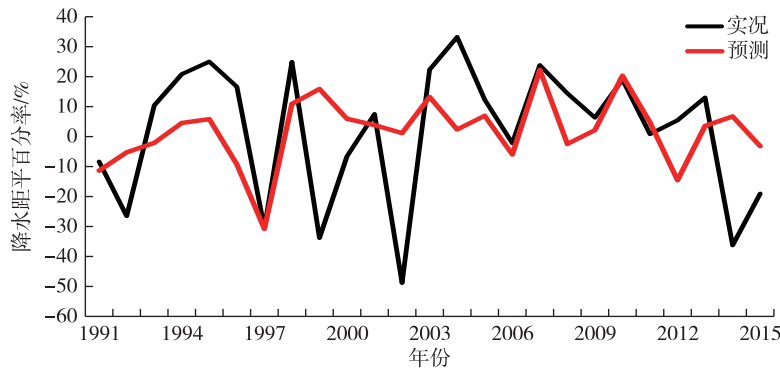


图 8 1991—2015 年交叉检验预测与实况比较

Fig.8 Comparison between cross-validation prediction and observation of summer precipitation from 1991 to 2015

海平面气压场,将该区域内的海平面气压场区域平均,作为降尺度模型的因子,利用最优子集回归作为转换函数,建立统计降尺度预测模型,同样利用交叉检验的方法进行预测效果检验,用实况环流场作为因子预测降水的准确率,理论上是接近于气候预测水平的上限,检验结果如图9所示,从图中可以看出,1991—2015年25 a中,预测和实况距平百分率符号一致的有18 a,符号一致率达到72%。进一步分析发现,利用实况场作为因子预测降水正确而用模式模拟环流场作为因子预测错误的年份有

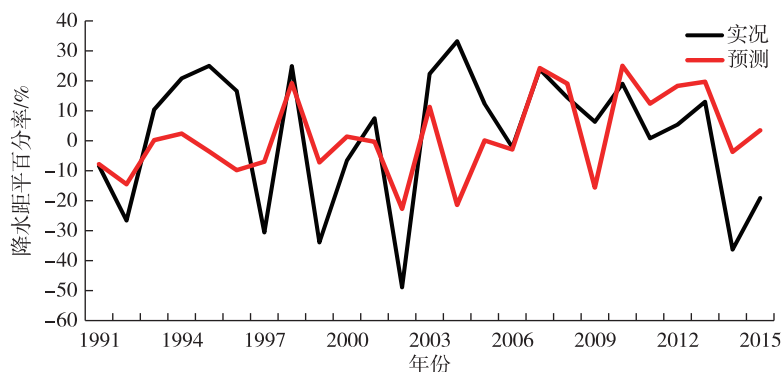


图9 1991—2015年交叉检验预测与实况比较(实况资料作为预测因子)

Fig.9 Comparison between cross-validation prediction and observation of summer precipitation from 1991 to 2015 (observation data used as predictive factor)

5 结论与讨论

利用观测的降水资料、NCEP/NCAR再分析资料、海温资料和BCC_CSM预报的海平面气压场资料,研究了气候变暖背景下山东夏季降水的特征和异常成因,并研发了一种降尺度预测方法。主要得出如下结论:

1) 山东夏季降水平均为400.3 mm,占全年降水量的62.4%,夏季降水年际变化大,年代际变化明显。

2) 当乌拉尔山阻塞高压偏弱,副热带高压偏强,南亚高压偏强时,山东夏季降水容易偏多,反之山东夏季降水将偏少,鄂霍次克海阻塞高压对山东夏季降水影响不大。

3) 利用国家气候中心最新研发的二代海气耦合模式预报的未来海平面气压场进行降尺度解释应用,对山东夏季降水的预测符号一致率达到64%,并且对异常旱涝年份能较好地预测,模式预测的环流的准确率影响降尺度方法的预测能力。

文中进行研究时,有一些结果只是停留在统计关系上,深入的物理机制有待于进一步研究,在发

展动力降尺度预测模型时,非常遗憾的是在对不同层次高度场、风场等进行普查时,满足文中设定条件的只有海平面气压场上两个关键区域,这也影响了降尺度模型的预测能力,下一步将利用不同月份起报的模式资料和不同的模式预报的资料进行详细分析,以期进一步提高山东夏季降水的预测准确率。

参考文献:

- [1] 胡桂芳,张苏平.山东季降水与北太平洋海温的相关分析及预测[J].大气科学研究与应用,1998,14(1):73-78.
- [2] 张苏平,朱平盛,胡桂芳.山东夏季降水与北太平洋SST和大气环流的关系[J].气象,1997,23(4):3-8.
- [3] 奚秀芬,郑世芳.厄尼诺现象与山东旱涝的关系[J].山东气象,1988,8(4):16-19.
- [4] 王庆,孙即霖,龚佃利.东亚夏季风对山东夏季降水的影响[J].中国海洋大学学报,2006,36(1):13-18.
- [5] 高辉.淮河夏季降水与赤道东太平洋海温对应关系的年代际变化[J].应用气象学报,2006,17(1):1-9.
- [6] 高辉,王永光. ENSO对中国夏季降水可预测性变化的研究[J].气象学报,2007,65(1):131-137.

- [7] 宗海锋,陈烈庭,张庆云. ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征 [J]. 大气科学, 2010, 34(1): 184-192.
- [8] 李春,韩笑. 东亚夏季风北界与我国夏季降水关系的研究 [J]. 高原气象, 2008, 27(2): 325-330.
- [9] 黄刚. 东亚夏季风环流异常指数与夏季气候变化关系的研究 [J]. 应用气象学报, 1999, 10(增刊): 61-69.
- [10] 黄荣辉,蔡榕硕,陈际龙,等. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系 [J]. 大气科学, 2006, 30(5): 730-743.
- [11] 顾伟宗,伯忠凯,杨成芳,等. 2017 年山东夏季降水特征及预测初探 [J]. 海洋气象学报, 2018, 38(3): 112-118.
- [12] KALNEY E, KANAMITSU M, KISTLER R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77(3): 437-472.
- [13] WU T W, LI W P, JI J J, et al. Global carbon budgets simulated by the Beijing Climate Center Climate System Model for the last century [J]. J Geophys Res: Atmospheres, 2013, 118(10): 4326-4347.
- [14] WU T W, SONG L C, LI W P, et al. An overview on progress in Beijing Climate Center Climate System Model: Its development and application to climate change studies [J]. J Meteor Res, 2014, 28(1): 34-56.
- [15] LU R Y, OH J H, KIM B J. A teleconnection pattern in upper-level meridional wind over the North African and Eurasian continent in summer [J]. Tellus Ser A, 2002, 54(1): 44-55.
- [16] KOSAKA Y, NAKAMURA H, WATANABE M, et al. Analysis on the dynamics of a wave-like teleconnection pattern along the summertime Asian jet based on a reanalysis dataset and climate model simulations [J]. J Meteor Soc Japan, 2009, 87(3): 561-580.
- [17] CHEN G S, HUANG R H. Excitation mechanisms of the teleconnection patterns affecting the July precipitation in Northwest China [J]. J Climate, 2012, 25(22): 7834-7851.
- [18] LIN H. Global extratropical response to diabatic heating variability of the Asian summer monsoon [J]. J Atmos Sci, 2009, 66(9): 2697-2713.
- [19] LIU F, WANG B. Mechanisms of global teleconnections associated with the Asian summer monsoon: An intermediate model analysis [J]. J Climate, 2013, 26(5): 1791-1806.
- [20] 陈丽娟,李维京,张培群,等. 降尺度技术在月降水预报业务中的应用 [J]. 应用气象学报, 2003, 14(6): 648-655.
- [21] 顾伟宗,陈丽娟,张培群,等. 月动力延伸预报最优信息提取和对中国降水的降尺度应用 [J]. 气象学报, 2009, 67(2): 280-287.
- [22] 顾伟宗,陈丽娟,李维京. 降尺度方法在中国不同区域夏季降水预测中的应用 [J]. 气象学报, 2012, 70(2): 202-212.
- [23] 舒建川,蒋兴文,黄小梅,等. 中国西南夏季降水预测的统计降尺度建模分析 [J]. 高原气象, 2019, 38(2): 349-358.