

吕廷珍, 邓少格, 胡轶佳, 等. 利用年际增量法对西北东部汛期降水的定量预测研究[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 386-394, [LV Tingzhen, DENG Shaoge, HU Yijia, et al. Quantitative Prediction of Precipitation in the East of Northwest China During the Flood Period by Using the Year-to-year Increment Approach[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(3): 386-394], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-03-0386

利用年际增量法对西北东部 汛期降水的定量预测研究

吕廷珍¹, 邓少格¹, 胡轶佳², 张 凯¹

(1. 中国人民解放军 68028 部队, 甘肃 兰州 730058; 2. 解放军理工大学气象海洋学院, 江苏 南京 211101)

摘 要:通过分析 1965~1999 年西北东部汛期降水与相关物理量年际增量的相关性, 筛选出可作为西北东部汛期降水的预测因子, 并研究其影响该区域汛期降水的物理机制。在此基础上, 采用多元线性回归方法建立了汛期降水年际增量与预测因子的物理统计预测模型, 并对 2000~2014 年的汛期降水进行预测。结果表明, 5 月 Niño3.4 指数、1 月北太平洋环流指数和西太副高强度指数、5 月北半球极涡中心强度指数和东亚大槽强度指数的年际增量等 5 个变量可作为西北东部汛期降水的预测因子; 该预测模型对 2000~2014 年汛期降水的预测准确率很高, 预测与观测的汛期降水演变趋势非常一致, 相对误差在 $\pm 15\%$ 以内的有 12 a, 距平同号率达到 10/15, 距平均方根误差为 15%, 可用于西北东部汛期降水的预测, 能够提高其预测水平。

关键词:年际增量法; 西北东部; 汛期降水预测

文章编号:1006-7639(2015)-03-0386-09 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-03-0386

中图分类号:P457.6

文献标识码:A

引 言

西北地区深居欧亚大陆腹地, 横跨青藏高原、内蒙古高原和黄土高原, 境内有南疆盆地、河西走廊、帕米尔高原以及天山等山脉, 地形复杂, 气候多样。大量研究表明, 西北地区降水存在显著的地域性特征, 且东、西部的变化趋势相反^[1-4]; 降水周期约为 3 a, 且不同地域随时间变化也不尽相同^[5-8]。陈冬冬等^[4]指出西北地区以强降水为主, 较强以上强度降水占全年总降水日数的 5%, 但其降水量占总降水量的 75%, 且近年来强降水比重加大。西北东部位于黄河流域上中游, 属于东亚季风区的边缘地带, 夏季受季风影响极易产生较强降水, 特别是山区受地形影响, 汛期易发生暴雨, 产生山洪、泥石流等地质灾害。因此, 准确预测西北东部地区降水尤其是汛期降水具有十分重要的意义。

西北东部夏季降水类型属于 E1 类^[9], 前人针

对其降水成因研究较多, 提出了许多具有预测意义的物理因素。陈兴芳等^[10]认为, 当赤道东太平洋海温偏低、西风漂流区海温偏高, 或发生 La Niña 事件时, 中国夏季雨带位置偏北; 冬季南方涛动 (SO) 弱、北太平洋涛动 (NPO) 强, 则黄河流域夏季降水偏多; 反之则降水偏少。叶笃正等^[11]的研究表明, EN-SO 处于衰减阶段时, 黄河流域、华北及江南等地降水偏多, 江淮流域夏季降水偏少; 处于发展阶段时, 雨带位置相反。宋文玲等^[12]研究得出, 当冬季赤道东太平洋海温为正距平、北太平洋海温为负距平、副高偏强、极涡偏强、欧亚中高纬为纬向环流时, 黄河中游夏季降水以偏多为主, 反之以少雨为主。王春学等^[13]指出, 前冬高原积雪和西太平洋暖池 SST 是影响黄河流域夏季降水的重要因子。在准 3 a 周期上, 当前冬高原积雪日数正 (负) 异常为主时, 夏季黄河流域降水偏少 (多); 在准 2 a 周期上, 当前冬西太平洋暖池 SST 偏高 (低) 时, 夏季黄河流域降水

收稿日期: 2015-01-30; 改回日期: 2015-05-04

基金项目: 国家自然科学基金 (41205075) 和江苏省自然科学基金 (BK2012062) 共同资助

作者简介: 吕廷珍 (1971-), 男, 甘肃平凉人, 高级工程师, 主要从事短中期天气预报、气候预测技术研究工作。E-mail: ltz9698@sina.com

通讯作者: 邓少格 (1986-), 女, 湖北襄阳人, 硕士, 主要从事区域气候预测、中尺度气象学研究和天气预报工作。E-mail: dengshaoge@163.com

表现为东多(少)西少(多)型。这2种响应都存在年代际变化。可见,上述物理因素对西北东部汛期降水的预测意义重大。

西北东部位于东亚季风区边缘,其汛期降水强度及其造成的灾害程度远低于中国东部地区,人们对其关注程度相对较低。目前,对中国汛期降水的定量预测研究主要集中在东部^[14-17],而对西北东部汛期降水的定量预测研究还较少。本文尝试利用年际增量法^[14]开展西北东部汛期降水预测研究。该预测方法不仅可以放大降水和预测因子的异常信号,同时也能减小气候年代际背景的影响。此外,它对华北汛期降水和西北太平洋的台风频次也有较高的预测技巧^[18-19]。通过计算1965~1999年西北东部汛期降水与相关物理量年际增量的相关系数,分析其物理相关性,寻找预测因子,在此基础上采用多元线性回归方法建立物理统计预测模型,并对2000~2014年西北东部汛期降水预测结果进行独立样本检验。

1 资料及处理

采用的资料包括国家气候中心发布的160个标准站的月平均降水资料和74项环流指数以及气候指数和基本物理量场等。气候指数包括Niño3.4指数和SO指数,其中Niño3.4指数是(170°W~120°W,5°S~5°N)的海温距平;NCEP/NCAR再分析海平面气压、高度场、风场、湿度场月平均资料的水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;NOAA扩展重建的海表温度(SST)月平均资料的水平分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ (网址为<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/>)。中国西北东部包括陕西、宁夏、甘肃河东、青海东部等,其包含的15个气候基准站点的分布如图1所示。

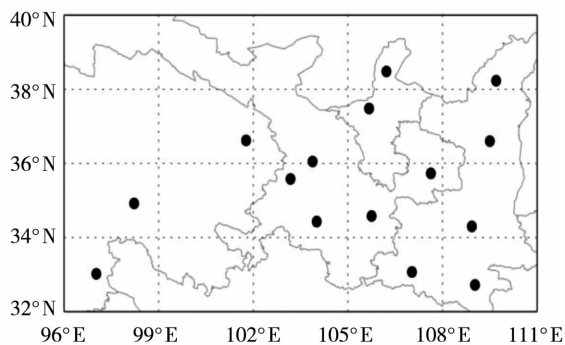


图1 西北东部站点分布

Fig. 1 Distribution of the stations in the east of Northwest China

据魏峰等^[20]的统计分析可知,青海东部雨季在

6月中旬至8月下旬,而西北东部其它地区雨季基本在7月上旬至9月上旬。因此,本文将西北东部的汛期定义为6~9月。对该区域15个气候基准站的汛期降水做平均,汛期降水年际增量即为当年的区域平均降水减去上一年的值。

2 预测因子

通过对西北东部汛期降水年际增量与冬、春季海表温度年际增量进行相关分析发现(图略),汛期降水年际增量与冬季赤道中东太平洋海温年际增量呈正相关,而春季则呈负相关,但二者的显著性水平均未达到95%。另外,对汛期降水年际增量与上一年12月至当年5月的海温年际增量进行逐月相关分析发现,上一年12月至当年2月赤道中东太平洋均为弱的正相关,3月正相关区域明显缩小,4月转为大范围弱的负相关(图略),5月信号最明显,赤道中东太平洋为显著负相关(图2a),Niño3.4指数年际增量与汛期降水年际增量的相关系数为-0.46(通过了0.01的显著性检验)。从冬季到春季,汛期降水年际增量与赤道中东太平洋海温年际增量的相关系数由正值转为负值,说明在El Niño的衰减年,西北东部汛期降水偏多,而在发展年则相反,这与前人的研究结果一致^[21-23]。

通过逐月相关分析可知,汛期降水年际增量与SO指数年际增量的相关系数则由负值变为正值。上一年12月至当年3月,相关系数为负,4月为弱的正相关,5月相关系数达到0.63。图2b是5月海平面气压年际增量与汛期降水年际增量的相关系数分布图。可以看到,印度尼西亚为显著负相关,而副热带东南太平洋为显著正相关,这是SO的典型分布特征。以上分析表明,ENSO衰减是引起西北东部汛期降水异常的重要机制。因此,选择5月的Niño3.4指数年际增量作为第一个预测因子(表1)。

许多研究表明,500 hPa环流场对西北地区降水具有重要影响^[20,24-25]。从汛期降水年际增量与冬季500 hPa位势高度年际增量的相关系数分布图(图略)上可以看出,阿留申群岛及其北部的位势高度年际增量与降水呈显著负相关,西太平洋副热带高压(西太副高)区则为显著正相关。这是西太平洋遥相关型(WP)的典型分布特征,与海平面气压的北太平洋涛动(NPO)相对应(图略)。陈兴芳等^[10]的研究指出,冬季强的NPO对应夏季E1类雨型,即西北东部降水偏多。上一年12月至当年2月期间,汛期降水年际增量与500 hPa位势高度年际增量在1月的相关区域最大(图3a),故定义一个北

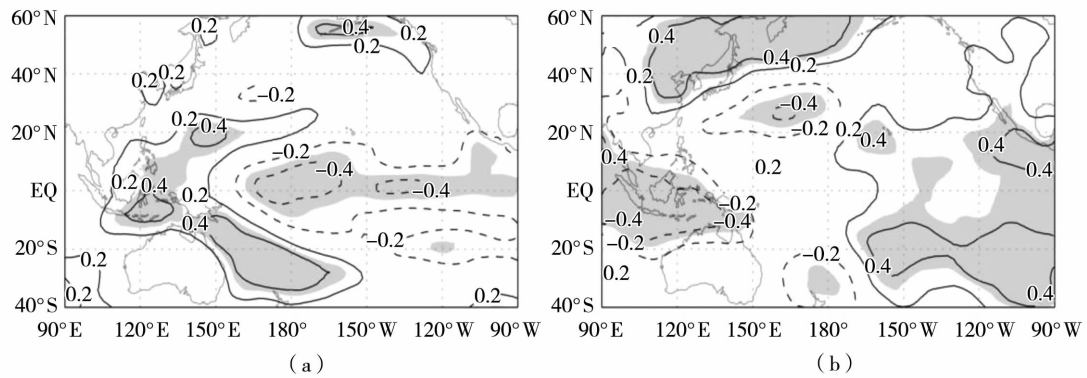


图2 西北东部汛期降水年际增量与5月海表温度(a)和海平面气压(b)年际增量的相关系数分布 (阴影区通过0.05的显著性检验)

Fig.2 Distribution of the correlation coefficients between the year - to - year increment of precipitation in the east of Northwest China during the flood period and that of SST(a) , SLP(b) in May (Shaded areas passed 0.05 significance test)

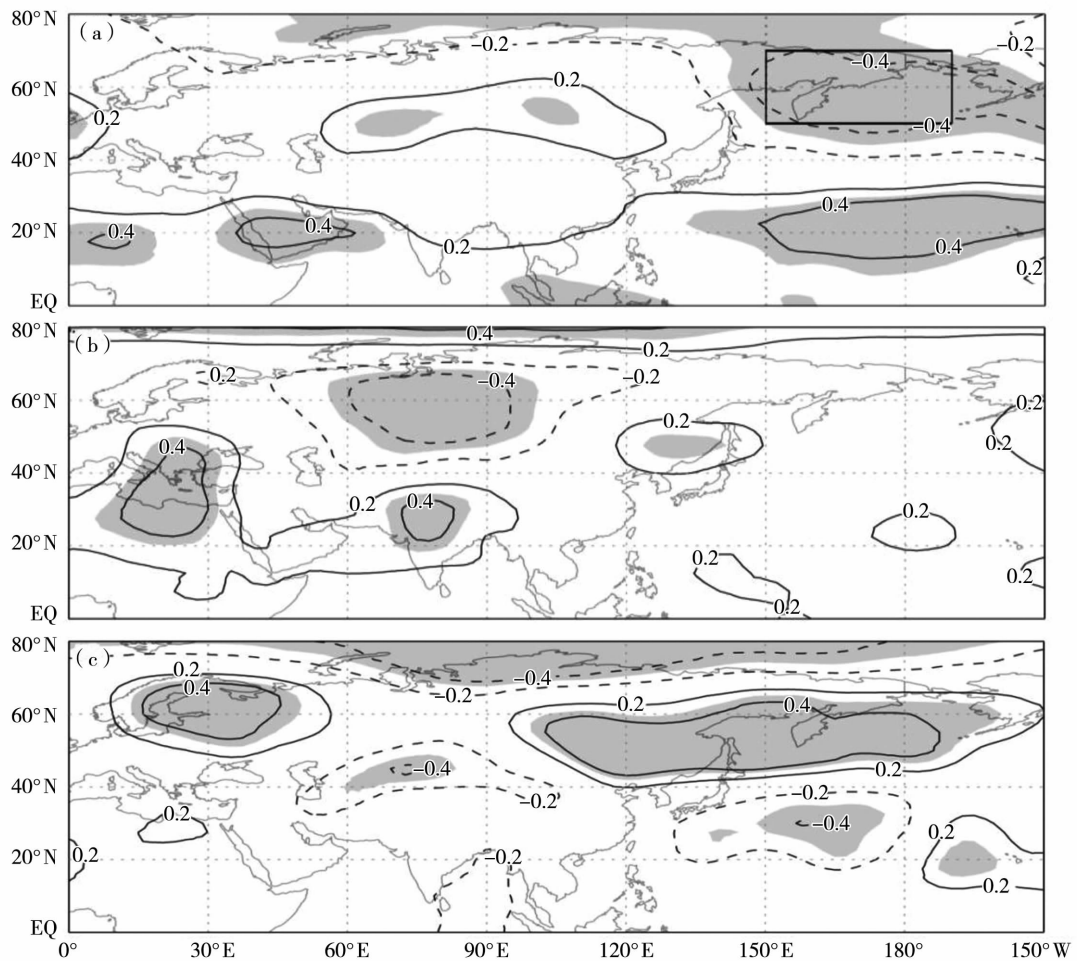


图3 西北东部汛期降水年际增量与1月(a)、4月(b)、5月(c) 500 hPa 位势高度年际增量的相关系数分布 (阴影区表示通过0.05的显著性检验)

Fig.3 Distribution of the correlation coefficients between the year - to - year increment of precipitation in the east of Northwest China during the flood period and that of the geopotential height on 500 hPa in January (a) , April (b) and May (c) (Shaded areas passed 0.05 significance test)

太平洋环流指数,即(150°E~170°W、50°N~70°N)区域(图3a中黑色方框范围)1月500 hPa平均位势高度,其年际增量与汛期降水年际增量的相关系数为-0.53(表1),作为降水年际增量预测的第二个预测因子。另外,将西太副高强度指数(10°N以北、110°E~180°范围内 ≥ 588 dagpm 网格点上高度值减去587 dagpm的累计值)年际增量作为第三个预测因子,它与降水年际增量的相关系数为0.46(表1)。

表1 西北东部汛期降水年际增量与预测因子的相关系数

Tab. 1 Correlation coefficients between the year-to-year increment of precipitation in the east of Northwest China during the flood period and predictive factors

序号	预测因子	相关系数
1	5月 Niño3.4 指数年际增量	-0.46*
2	1月北太平洋环流指数年际增量	-0.53*
3	1月西太副高强度指数年际增量	0.46*
4	5月北半球极涡中心强度指数年际增量	-0.51*
5	5月东亚大槽强度指数年际增量	0.67*

* 通过了0.01的显著性检验

从冬季到春季,大气环流不断调整变化。3月,500 hPa位势高度年际增量与汛期降水年际增量的相关性较差(图略);4月(图3b),欧亚大陆中高纬地区的相关系数为负,尤其是西西伯利亚地区为显著负相关,而东亚大槽区为正相关,这说明欧亚大陆高压脊和东亚大槽均偏弱,即纬向环流偏强,经向环流偏弱,不利于汛期东亚阻塞高压的建立,进而导致西北东部汛期降水偏多^[10]。计算结果显示,欧亚大陆纬向、经向环流指数年际增量与汛期降水年际增量的相关系数分别为0.48和-0.44(通过了0.01的显著性检验);5月(图3c),北半球极涡中心为显著负相关区,而东亚大槽区的正相关区域明显扩大,相关系数也增至0.4以上,这意味着随着极涡中心的异常偏强和东亚大槽的显著减弱,西北东部汛期降水将偏多,这与前人的研究结果一致^[12,20]。由于北半球极涡中心强度(极涡中心附近最小的一个网格点上的高度值)和东亚大槽强度是用高度值表示,它们与降水呈正相关时,其指数年际增量与降水的相关系数为正值,而与降水呈负相关时,二者相关系数为负值。5月,北半球极涡中心强度和东亚大槽强度指数年际增量与汛期降水年际增量的相关系数分别为-0.51和0.67(表1),表明北半球极涡中心强度与降水呈显著正相关,而东亚大槽强度与

则呈显著负相关。故将这两个指数的年际增量分别作为第四、第五个预测因子。

3 物理机制分析

通过相关系数分析找出了上述5个预测因子(表1),然而这5个因子是如何影响西北东部汛期降水呢?为此,下面进行物理机制的综合分析。图4是1965~1999年西北东部汛期降水距平(相对于1971~2000年的气候态)。可以看到,汛期降水距平在0线附近的年份较多。为了放大汛期降水异常的相关物理量信号,选取距平>10%的年份为降水偏多年,<-10%的年份为降水偏少年,从而得出汛期降水偏多年有1967、1968、1970、1975、1978、1979、1981、1983、1984、1989、1992年共11a,偏少年有1965、1969、1972、1977、1986、1991、1997、1999年共8a。将汛期降水偏多年和偏少年分别进行合成,并利用合成偏多年的平均物理量场减去偏少年的平均物理量场,即可得出其影响西北东部汛期降水的异常特征。

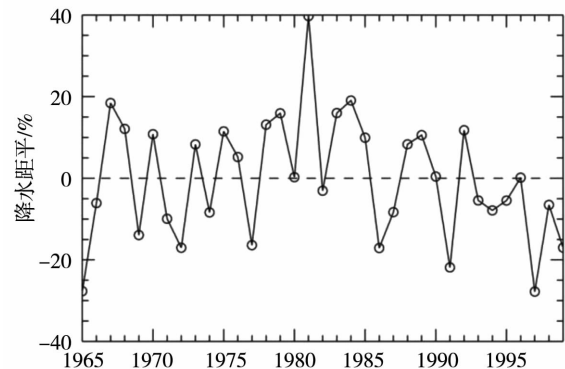


图4 1965~1999年西北东部汛期降水距平

Fig. 4 Precipitation anomalies in the east of Northwest China during the flood period from 1965 to 1999

从海表温度差值演变(图略)来看,降水偏多年冬季赤道中东太平洋海温比偏少年高0.2~0.4℃,春季低0.2℃左右,汛期时偏冷强度更大,其差值从赤道中太平洋的-0.4℃向东太平洋逐渐增强为-1℃以上。这种变化与ENSO衰减相对应。

冬、春季的海温异常可造成冬、春季大气环流异常,进而影响到汛期大气环流和降水。在冬季500 hPa位势高度差值场(图略)上,西太副高区为正值,说明西北东部汛期降水偏多对应于冬季西太副高偏强。西太副高偏强的原因则在于冬季赤道中东太平洋海温异常偏暖,将导致其与中纬度地区的温度梯度增大,使得Hadley环流增强,从而引起西太副高强度

变大。1月(图5),西太副高强度偏差最为明显,同时阿留申群岛及其北部为负值,说明阿留申低压偏强,这是WP遥相关的典型分布形势。在海平面气压差值场(图略)上,同样呈现出NPO的分布特征。冬季NPO偏强对应着汛期西北东部降水偏多^[10]。

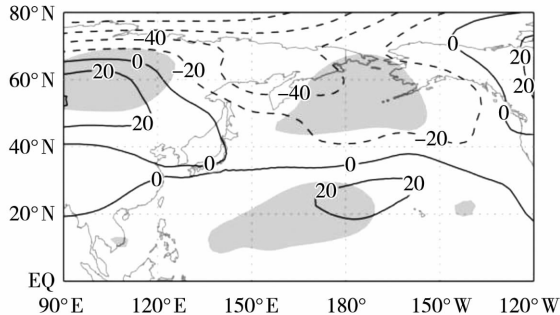


图5 1月降水偏多年与偏少年500 hPa位势高度差值(单位:gpm)

(阴影区通过0.01的显著性检验)

Fig. 5 Difference of geopotential height on 500 hPa between the flood years and the drought years in January (Unit:gpm)

(Shaded areas passed 0.01 significance test)

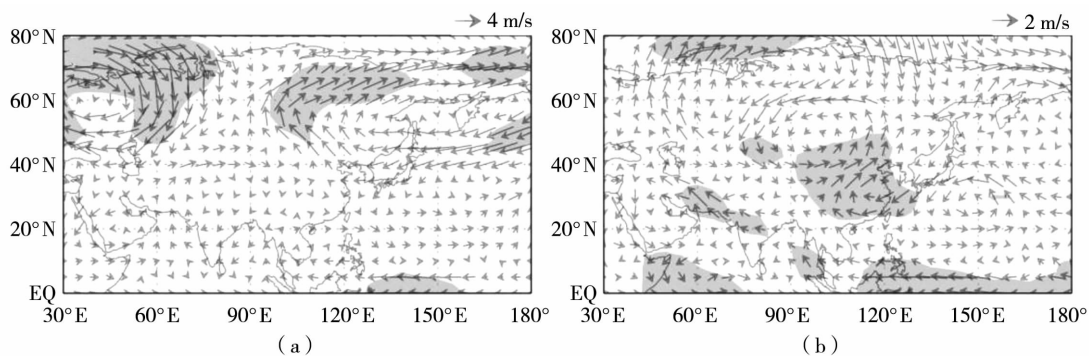


图6 5月(a)和汛期(b)降水偏多年与偏少年500 hPa风矢差值(阴影区通过0.01的显著性检验)

Fig. 6 Difference of wind vector on 500 hPa between the flood years and the drought years in May(a) and flood period(b)

(Shaded areas passed 0.01 significance test)

从5月500 hPa风场差值图(图6a)上还可看出,东亚大槽区为反气旋式环流,表明在降水偏多年东亚大槽偏弱,不利于汛期东亚阻塞高压的建立。在汛期500 hPa风场差值图(图6b)上,我国中纬度地区为偏西风差值,鄂霍次克海为气旋式环流差值,表明西风环流偏强,鄂霍次克海无阻塞高压。汛期东亚无阻塞高压,中纬度地区盛行平直西风气流,且西太副高偏弱,意味着东亚地区从低纬到高纬位势高度距平场分布特征为“-、+、-”,这是典型的西北东部汛期降水偏

春季,赤道中东太平洋海温异常偏冷,其中5月的偏冷程度最强,海温差值从赤道中太平洋的 -0.2°C 向东逐渐增强至 -0.6°C 以上(图略),导致其与中纬度地区的温度梯度偏小,而与赤道西太平洋的温度梯度偏大,使得Hadley环流偏弱,Walker环流偏强,不利于西太副高强度的增强,但有利于赤道东风的增强。5月500 hPa风场差值图(图6a)显示,西太副高区为气旋式环流异常,表明西北东部汛期降水偏多时,西太副高强度偏弱;同时,赤道东风显著偏强,东亚副热带地区偏南气流也有所偏强,由此将导致汛期东亚季风偏强。汛期时(图6b),赤道中东太平洋海温异常偏冷加剧,西太副高区气旋式环流增强,副高强度显著偏弱且位置偏北,赤道东风和东亚季风偏强,有利于将海上的水汽输送到西北东部。张善强^[26]研究表明,夏季南亚季风、东亚季风在黄河流域的辐合是该流域降水偏多的关键。850 hPa上(图略),降水偏多年汛期东亚季风明显强于降水偏少年,西北东部相对湿度较降水偏少年偏大,这与靳立亚等^[27]关于西北东部降水与该地区的水汽含量呈正相关的研究结论一致。

多的距平遥相关类型^[28]。汛期500 hPa位势高度差值场(图略)上,东亚地区从低纬至高纬正是这种分布特征。

北半球极涡是极地上空最大的环流系统,它的扩张和收缩反映了极地冷空气的活动,不仅会影响北半球气候带的南北推移,也会通过绕极环流的变化和异常影响大气环流和气候变化^[29]。5月500 hPa高纬地区为一致的偏西风差值(图6a),表明在降水偏多年北半球极涡中心显著偏强。极涡的加强南扩有利于极地冷空气向欧亚大陆中纬度地区输

送,然而由于东亚大槽偏弱,东亚地区无阻高建立,使得中纬度地区以纬向环流为主,致使冷空气不易南下进入我国长江流域及其以南地区,而是与偏强的东亚季风输送的暖湿气流在西北东部相遇,导致

该地区汛期降水偏多。

以上讨论了预测因子影响西北东部汛期降水偏多的物理机制,对降水偏少的影响机制则相反,其流程见图7,不再赘述。

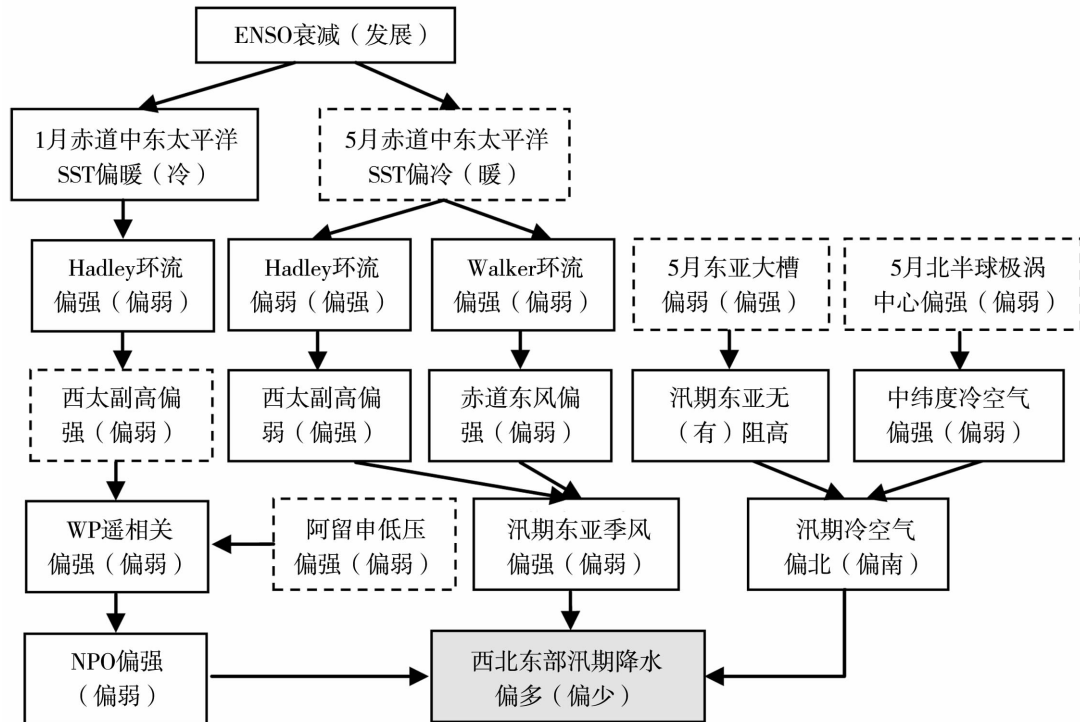


图7 预测因子影响西北东部汛期降水的物理机制流程图
(虚线方框为预测因子,灰色方框为预测结果)

Fig. 7 Flow chart of the physical mechanism about the effect of predictors on the rainfall in the east of Northwest China during the flood period

(the boxes with dashed line for predictive factors, the grey box for the prediction result)

4 预测模型及检验

利用多元线性回归分析方法对1965~1999年西北东部汛期降水年际增量(d_y)和5月Niño3.4指数(x_1)、1月北太平洋环流指数(x_2)和西太副高强度指数(x_3)、5月北半球极涡中心强度指数(x_4)和东亚大槽强度指数(x_5)的年际增量共5个预测因子建立预测模型:

$$d_y = -2.43 - 37.39 x_1 - 0.35 x_2 + 0.42 x_3 - 1.40 x_4 + 1.12 x_5 \quad (1)$$

1965~1999年模拟年份中,预测模型对实际降水年际增量的拟合优度为0.77,与观测结果的同号率为28/35。利用该预测模型对2000~2014年西北东部汛期降水年际增量进行独立样本检验,发现后报年份(2000~2014年)的同号率为11/15,其中部分年份预测结果与观测结果几乎完全吻合,如:2001、2002、2008、2010、2013年(图8)。将预测的降水年际增量

与前一年的观测降水量相加,即可得到预测降水量,进而可计算预测降水距平。从汛期降水预测的相对误差(图9)上可以看到,最大相对误差绝对值为29%,模拟年份的相对误差在±15%以内为30a,后报年份为12a。无论是模拟年份,还是后报年份,汛期降水距平的预测与观测结果的演变趋势均非常一致,模拟年份同号率为25/35,后报年份同号率为10/15(图10)。考虑到有的年份观测降水距平接近于0,如2005年为2%,仅用同号率来表示其准确率是不科学的,因此将观测与预测降水距平异号但降水相对误差在±15%以内的也算作预测准确。模拟年份中降水距平异号且降水相对误差在±15%以内的有6a,后报年份中有3a。因此总的来说,模拟准确率为31/35,后报准确率为13/15。另外,模拟和后报的降水距平均方根误差分别为10%和15%。可见,利用该模型预测西北东部汛期降水是可行的,能够有效提高西北东部汛期降水的预测能力,具有较高的应用价值。

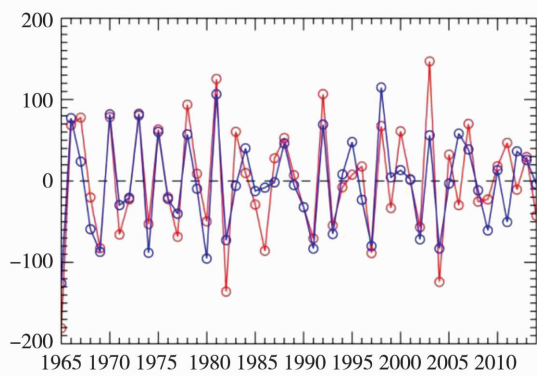


图8 观测(红色实线)和预测(蓝色实线)的1965~2014年西北东部汛期降水年际增量(单位:mm)

Fig. 8 Observed (red solid line) and predicted (blue solid line) year-to-year increment of precipitation in the east of Northwest China

during the flood period from 1965 to 2014 (Unit:mm)

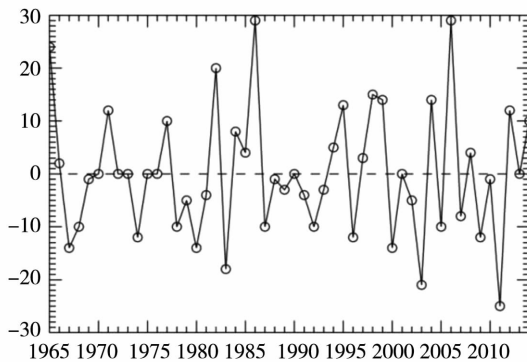


图9 1965~2014年西北东部汛期降水预测相对误差(单位:%)

Fig. 9 The relative error of predicted precipitation in the east of Northwest China during the flood period from 1965 to 2014 (Unit:%)

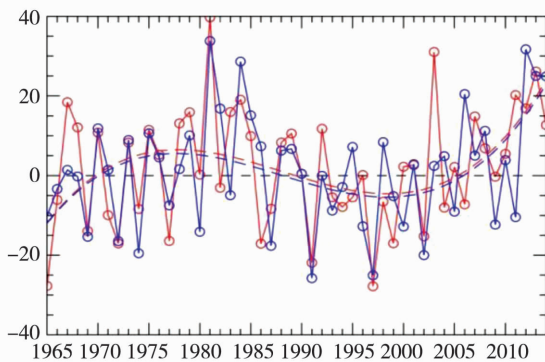


图10 观测(红色)和预测(蓝色)的1965~2014年西北东部汛期降水距平(单位:%,实线)及其变化趋势(虚线)

Fig. 10 Observed (red line) and predicted (blue line) precipitation anomalies (Unit:%, solid line) and the evolution trends (dashed line) in the east of Northwest China during the flood period from 1965 to 2014

需要说明的是,4月欧亚大陆500 hPa环流异常也能够引起西北东部汛期降水的偏多或偏少,但其本身与5月东亚大槽强度相关:若4月欧亚大陆纬向环流偏强(弱),经向环流偏弱(强),那么将导致5月东亚大槽偏弱(强),故二者不可同时作为预测因子。试验结果表明,无论是将4月欧亚大陆环流指数代替5月东亚大槽强度指数作为第五个预测因子,还是将它作为第六个预测因子,加入到现有预测模型中,都会使预测误差增大。此外,本文所选的5个预测因子之间是相互独立的,去掉任何一个因子,预测结果都会变差,也就是说,现有预测模型已是最优模型。

5 结论

(1)5月Niño3.4指数、1月北太平洋环流指数和西太副高强度指数、5月北半球极涡中心强度指数和东亚大槽强度指数等5个变量的年际增量可用于西北东部汛期降水的预测。

(2)ENSO衰减是导致西北东部汛期降水异常的重要物理机制。冬季,尤其在1月,赤道中东太平洋海温异常偏暖,使得Hadley环流增强,从而引起西太副高强度偏大;同时,阿留申低压强度亦偏大,WP遥相关偏强,对应于海平面气压的NPO偏强,有利于汛期西北东部降水偏多。到了春季,由于ENSO衰减,赤道中东太平洋海温由偏暖变为偏冷,其中5月偏冷程度最强,使得Hadley环流减弱,Walker环流增强,造成西太副高偏弱,赤道东风偏强,进而导致汛期东亚季风偏强,有利于将海上的水汽输送到西北东部,致使汛期西北东部降水偏多。

(3)5月东亚大槽偏弱,不利于汛期东亚阻塞高压的建立,导致汛期中纬度盛行平直西风气流,加之西太副高偏弱偏北,东亚地区从低纬到高纬位势高度距平场呈现出“-、+、-”的有利于西北东部汛期降水偏多的典型分布特征。

(4)5月北半球极涡中心显著偏强,极涡的加强南扩有利于极地冷空气向欧亚大陆中纬度地区输送。然而由于中纬度地区以纬向环流为主,致使冷空气不易南下进入我国长江流域及其以南,而是与偏强的东亚季风输送的暖湿气流在西北东部相遇,导致该地区汛期降水偏多。

(5)西北东部汛期降水偏少年,预测因子的物理影响机制与降水偏多年相反。

(6)对基于上述5个因子构建的汛期降水预测模型进行检验,发现预测模型能够很好地模拟1965~1999年的汛期降水年际增量,拟合优度达0.77,

2000~2014年的降水预测准确率也很高,预测与观测的降水演变趋势非常一致,相对误差在 $\pm 15\%$ 以内的有12 a,距平同号率达10/15,距平均方根误差为15%。可见,该模型能够提高西北东部汛期降水的预测能力。

参考文献:

- [1] 敖婷,李跃清. 500 hPa 广义位温场与我国西北地区夏季降水的关系[J]. 干旱气象,2014,32(2):175-183.
- [2] 杨瑜峰. 中国西北东部近50 a 降水异常分布及变化特征[J]. 干旱气象,2014,32(5):701-705.
- [3] 苏布达,王国杰,姜彤. 西北地区45 a 来降水异常的时空变化及其标度特征[J]. 冰川冻土,2007,29(2):176-182.
- [4] 陈冬冬,戴永久. 近五十年我国西北地区降水强度变化特征[J]. 大气科学,2009,33(5):923-935.
- [5] 徐国昌,董安祥. 我国西部降水量的准三年周期[J]. 高原气象,1982,1(2):11-17.
- [6] 韦志刚,董文杰,惠小英. 中国西北地区降水的演变趋势和年际变化[J]. 气象学报,2000,58(2):234-242.
- [7] 黄玉霞,李栋梁,王宝鉴,等. 西北地区近40 年年降水异常的时空特征分析[J]. 高原气象,2004,23(2):245-252.
- [8] 王澄海,崔洋. 西北地区近50 年降水周期的稳定性分析[J]. 地球科学进展,2006,21(6):576-584.
- [9] 赵振国,朱艳峰,柳艳香,等. 1880-2006 年中国夏季雨带类型的年代际变化特征[J]. 气候变化研究进展,2008,4(2):95-100.
- [10] 陈兴芳,赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用[M]. 北京:气象出版社,2000.3.
- [11] 叶笃正,黄荣辉. 旱涝气候研究进展[M]. 北京:气象出版社,1990.3.
- [12] 宋文玲,顾薇,柳艳菊,等. 黄河中游夏季降水异常的先兆特征和预测方法[J]. 气象,2013,39(9):1204-1209.
- [13] 王春学,李栋梁. 基于MTM—SVD 方法的黄河流域夏季降水年际变化及其主要影响因子分析[J]. 大气科学,2012,36(4):823-834.
- [14] 范可,王会军,Choi Y J. 一个长江中下游夏季降水的物理统计预测模型[J]. 科学通报,2007,52(24):2900-2905.
- [15] Fan K, Wang H J, Choi Y J. A physically-based statistical forecast model for the middle-lower reaches of the Yangtze River Valley summer rainfall[J]. Science Bulletin,2008,53(4):602-609.
- [16] Ying K, Zheng X G, Quan X W, et al. Predictable signals of seasonal precipitation in the Yangtze-Huaihe River Valley[J]. International Journal of Climatology,2013,33(14):3002-3015.
- [17] Hu Y J, Zhu Y M, Zhong Z, et al. New Predictors and a Statistical Forecast Model for Mei-Yu Onset Date in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Valley[J]. Wea Forecasting, 2014,29(3):654-665.
- [18] 范可,林美静,高煜中. 用年际增量方法预测华北汛期降水[J]. 中国科学D辑:地球科学,2008,38(11):1452-1459.
- [19] Fan K, Wang H J. A New Approach to Forecasting Typhoon Frequency over the Western North Pacific[J]. Weather and Forecasting,2009,24(4):974-986.
- [20] 魏锋,丁裕国,杨金虎,等. 中国西北地区雨季降水与500 hPa 高度场的SVD 分析[J]. 干旱气象,2003,23(4):17-23.
- [21] 王鹏祥. 西北地区干湿演变及其成因分析[D]. 南京:南京信息工程大学,2008.5.
- [22] 常军,王永光,赵宇. Niño3 区海温的变化对黄河流域夏季降水的影响[J]. 气象,2013,39(9):1133-1138.
- [23] 程肖侠,方建刚,雷向杰. 陕西盛夏极端降水频次及其与全球海温的遥相关研究[J]. 干旱气象,2014,32(1):38-45.
- [24] 董安祥,王澄海. 500 hPa 高度场与中国西北春季降水量的耦合特征[J]. 成都气象学院学报,2000,54(3):205-212.
- [25] 王宝灵,谢金南,吴国雄,等. 青藏高原东北侧汛期降水若干研究[J]. 大气科学,2000,24(6):775-784.
- [26] 张善强. 黄河流域夏季旱涝变化及气候物理因素的影响[J]. 气象与环境学报,2011,27(3):40-44.
- [27] 靳立亚,符娇兰,陈发虎. 西北地区空中水汽输送时变特征及其与降水的关系[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2006,42(1):1-6.
- [28] 李维京. 现代气候业务[M]. 北京:气象出版社,2012.2.
- [29] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京:气象出版社,1999.12.

Quantitative Prediction of Precipitation in the East of Northwest China During the Flood Period by Using the Year – to – year Increment Approach

LV Tingzhen¹, DENG Shaoge¹, HU Yijia², ZHANG Kai¹

(1. Unit of 68028 of the Chinese People's Liberation Army, Lanzhou 730058, China;

2. College of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract: Based on the monthly precipitation data during 1965 – 1999, NCEP/NCAR reanalysis data with $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ spatial resolution and the sea surface temperature from NOAA with $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ spatial resolution, as well as circulation indexes and climatic indexes, the predictive factors of the year – to – year increment of precipitation in the east of Northwest China during the flood period were selected by using the correlation analysis, and the physical mechanism about the influence of predictive factors on precipitation was analyzed. On this basis the physically – based statistical forecast model between them was established by using multiple linear regression method, and the precipitation during the flood period from 2000 to 2014 were predicted. The results showed that the predictive factors were the year – to – year increments of the Niño3.4 index in May, circulation index in the North Pacific and strength index of the Western Pacific subtropical high in January, central intensity index of the polar vortex in the Northern Hemisphere and intensity index of the East Asia deep trough in May. The forecast model exhibited a quite high accuracy in the predicted precipitation during the flood period from 2000 to 2014, and the evolution tendency of the predicted precipitation was very consistent with the observed. The relative error between the predicted precipitation and the observed in 12 years was within plus or minus 15%, the rate of precipitation anomalies with the same sign was 10/15, and the RMSE was 15%. As a result, this model could be used to predict the precipitation in the east of Northwest China during the flood period, and the forecast capability would also be improved.

Key words: year – to – year increment method; east of Northwest China; prediction of precipitation during the flood period

+++++
(上接第 385 页)

Simulation of Temperature and Precipitation in China in the Last 30 Years by Using the RegCM4

GONG Chongshui¹, DUAN Haixia¹, LI Yaohui¹,

WANG Chenghai², REN Yulong¹

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Key Laboratory of Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China;

2. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By using the Regional Climate Model (RegCM4), the temperature and precipitation were simulated and analyzed in the last 30 years (from January 1983 to December 2012) in China. The comparison of the simulated and observed values show that the model could well reproduce the spatial characteristics of temperature and precipitation in the last 30 years in China, and it could also well reproduce the banded pattern of temperature and precipitation. However, the simulated temperatures were lower than the observations, and simulation error was relatively lower in the northeast China and higher in surrounding regions of the Qinghai – Tibet Plateau. The simulated precipitations were higher than observations, and simulation error was smaller in central and southern China, and relatively bigger in the east region of the Qinghai – Tibet Plateau and Sichuan as well as Yunnan regions. Root mean square error (RMSE) of temperature was higher in north and lower in south, and the RMSE of precipitation was completely opposite in spatial distribution. The RegCM4 model results could better reproduce the temperature rise in the last 30 years, and temperature simulation results were better in winter than those in other seasons, the simulated summer precipitation was significantly higher than observations. Simultaneously, RegCM4 not only can provide high spatial resolution climate data, but also it can provide effective climatic data in spars regions such as the Tibetan Plateau.

Key words: RegCM4; climate simulation; simulation effect verification