

宋文玲,顾薇,柳艳菊,等. 2013. 黄河中游夏季降水异常的先兆特征和预测方法. 气象,39(9):1204-1209.

黄河中游夏季降水异常的先兆特征 和预测方法^{* 1}

宋文玲 顾 薇 柳艳菊 刘长征

国家气候中心,北京 100081

提 要: 本文利用黄河中游 61 站降水资料,分析了其变化规律和同期及前期环境场特征,并建立了夏季降水预测模型。研究发现:黄河中游夏季降水具有显著的年际变化特征,显著周期在 3 年左右;黄河中游夏季降水主要受到同期东亚高空急流、西太平洋副热带高压(以下简称副高)以及贝加尔湖附近低槽的影响,当急流和副高偏强(弱)偏北(南)、贝加尔湖附近高度场偏低(高)时,黄河中游降水偏多(少)。另外,前期秋季南方涛动指数、北非副热带高压(20°W~60°E)、南海副热带高压(100°~120°E)、北半球副高强度及北半球极涡强度发生异常时,对夏季环流产生影响,从而影响黄河中游夏季降水,据此,建立预测模型。评估发现该模型具有较强的预测能力,可用于黄河中游夏季降水的定量预测。

关键词: 黄河中游, 夏季降水, 特征分析, 预测模型

中图分类号: P456.461 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.09.017

Characteristics of Anomalous Sign and Prediction of Summer Precipitation in the Middle Reaches of Yellow River

SONG Wenling GU Wei LIU Yanju LIU Changzheng

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Using 61 station precipitation data in the middle reaches of Yellow River, characteristics and ambient field of summer precipitation in the middle reaches of the Yellow River are analyzed and one prediction model is established in this paper. The research result reveals that summer precipitation in the middle reaches of Yellow River is mainly affected by the East Asian jet stream, the West Pacific subtropical high and the low trough in the vicinity of Lake Baikal. That is, when the East Asian jet stream and the West Pacific subtropical high are stronger, lying more northward, and the Baikal trough is deeper, more rains fall in this region, and vice versa. Besides, the autumn Southern Oscillation, the North African subtropical high, the South China Sea subtropical high, the Northern Hemisphere subtropical high and the Northern Hemisphere polar vortex can all exert an impact on the summer circulation and precipitation in the middle reaches of Yellow River. Therefore, a forecast model for summer precipitation in the middle reaches of the Yellow River is established by using the above factors. Assessment shows that this model has good prediction ability and can be used for quantitative prediction of summer precipitation in the middle reaches of Yellow River.

Key words: the middle reaches of Yellow River, summer precipitation, characteristic analysis, prediction method

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006038-03)和短期气候预测国家级创新团队科研专项共同资助
2012 年 12 月 13 日收稿; 2013 年 5 月 31 日收修定稿
第一作者:宋文玲,主要从事短期气候预测研究. Email:songwl@cma.gov.cn

引言

黄河位于我国中北部,是我国第二大河,更是我国西北、华北地区的重要水源。而黄河中下游地区人口密集、农业发达,粮食生产在全国经济布局中占有重要的地位。黄河中下游地区降水主要集中在夏季,干旱和洪涝都严重影响着沿黄地区的经济发展、生态环境和社会稳定。因此,对黄河流域夏季降水旱涝规律的研究是一项非常有意义的工作。近年来,气候变化导致极端灾害性天气、气候事件频发,黄河始终面临着“两面作战”的艰巨任务:既要防汛,又要防旱;既要防洪水,又要防泥沙;既要保堤外安全,又要保堤内安全。可见,只有提前做好流域沿线的灾害性天气、气候和水情的预测,才能将汛期的洪涝、干旱等引发的负面效应减到最低。近年来对黄河流域降水分析有些研究,李周等(2008)指出,在20世纪70年代末期到80年代初期,黄河中下游地区降水分布不均匀,旱涝交替出现;80年代中期到90年代初期,黄河中下游地区降水量变化较为稳定,旱涝程度都比较轻;90年代中后期以来,整个地区未出现较明显的旱涝年,降水变化较为稳定,有弱的旱涝交替变化。张善强(2011)指出,20世纪90年代以前,黄河流域夏季旱涝变化为9~11和2~3年周期,20世纪90年代后周期变化不明显。对导致黄河流域夏季旱涝的气候物理因素分析表明,东亚高度场负距平异常直接造成中国黄河流域的夏季偏旱,而亚洲高度距平场东高西低的配置造成中国黄河流域偏涝;夏季南亚季风、东亚季风在中国黄河流域的辐合是流域降水偏多的关键。王春学等(2012)也指出,黄河流域夏季降水存在显著的2~3年周期。在准3年周期上黄河流域夏季降水对前冬青藏高原东部积雪日数有很好的响应,当前冬高原积雪日数以正(负)异常为主时,接下来的夏季黄河流域降水偏少(多)。这种响应存在年代际变化。在准2年周期上黄河流域夏季降水对前冬西太平洋暖池 SST 有很好的响应,当前冬西太平洋暖池 SST 偏高(低)时,接下来的夏季黄河流域降水表现为东多(少)西少(多)型。这一响应同样存在年代际变化。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。王善华等(1993)研究了黄河中游降水与太平洋海温及南方涛动的关系。本文将重点对黄河中游汛期降水进行分析,找出近

期变化规律及降水异常的先兆特征,通过前期异常信号给出黄河中游汛期降水定性预测,最后,建立黄河中游汛期降水定量统计预测模型,并对该模型的预测能力进行评估。

1 资料和方法

采用中国气象局国家气象信息中心 1961—2010 年中国 756 站月降水量资料和国家气候中心 74 项环流特征量资料及 NCEP 再分析大气环流资料,包括 1951—2012 年位势高度和 U 、 V 风,其水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Kalnay et al., 1996)。

对 1961—2010 年中国 756 站月降水量资料提取分布在黄河中游地区 ($33^{\circ} \sim 42^{\circ} \text{N}$ 、 $103^{\circ} \sim 113^{\circ} \text{E}$) 的站点共有 86 个(图 1),但考虑到其中有 25 个站点在夏季(6—8 月)存在缺测值,因此选择其余无缺测的 61 个站点(图 1)来代表黄河中游地区。

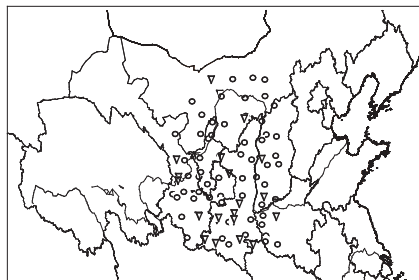


图1 黄河中游地区的站点分布
(图中圆形表示 1961—2010 年间夏季
无缺测值的站点,三角形表示期间
夏季存在缺测值的站点)

Fig. 1 Stations in the middle reaches
of the Yellow River
(The circles indicate the stations without
defaults, and the triangles indicate the
stations with defaults during 1961—2010)

本文主要采用多元回归的方法选取预报因子,并建立预测模型,此外,还包括相关、检验和合成分析方法等。

2 黄河中游夏季降水的周期特征

用黄河中游地区 61 个站点夏季降水的平均值代表黄河中游夏季平均降水量,时间序列为 1961—2010 年。该区域夏季平均降水量为 239 mm,在 1961—2010 年间最大值为 305 mm(1979 年),最小

值为 167 mm(1974 和 1991 年)。

对黄河中游夏季降水的功率谱分析(图 2a)显示,该区域夏季降水具有显著的年际变化特征,显著周期为准 3 年。这与以往的研究较为一致(徐国昌

等,1982;彭梅香等, 2003;郝志新等, 2007;王霞等,2009;王春学等,2012)。从黄河中游夏季降水的小波功率谱(图 2b)则可以看出,降水准 3 年周期的变化存在明显的年代际特征,准 3 年周期在 20 世纪

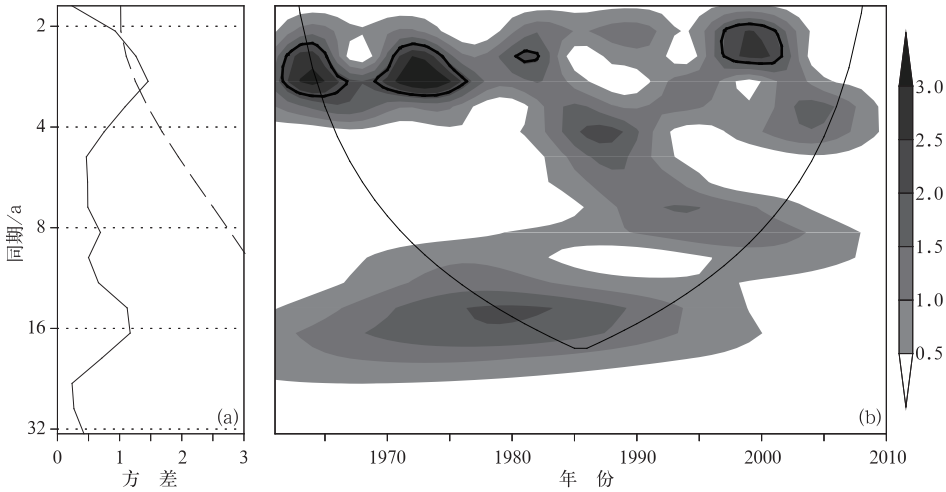


图 2 黄河中游夏季降水的(a)功率谱分析(虚线表示通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验),(b)小波功率谱
(图中黑色实线表示通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,弧线外侧表示受边界效应影响较大的区域)

Fig. 2 The power spectrum (a) and the wavelet spectrum (b) of the summer precipitation over the middle reaches of the Yellow River

[The dashed line in (a) and the black contours in (b) indicate passing through the test at $\alpha=0.05$ significance level and the regions outside of the black arcs on either end in (b) indicate the “cone of influence”, where edge effects become important]

60 年代至 80 年代中期和 90 年代中后期最为显著,在其他时段则并不显著。此外,功率谱分析(图 2a)还显示,该区域降水周期为 16 年左右的年代际变化也较为突出,小波分析(图 2b)则显示,该周期的变化在 2000 年以前较为明显,之后则大大减弱。

3 影响黄河中游夏季降水的同期关键环流要素

本节选取了对流层不同层具有代表性的气象要素与黄河中游夏季降水的时间序列做回归分析(图 3),以考察与黄河中游夏季降水年际变化相联系的大气环流变化特征。

图 3a、3b 和 3c 分别为根据降水回归的夏季 200 hPa 水平风场、500 hPa 位势高度场和 850 hPa 风场。200 hPa 纬向风场(图 3a)显示,在东亚地区约 35°N 以北出现显著的正中心,以南出现显著负中心,表现出东亚高空急流偏强偏北的异常形势。在 500 hPa 高度场(图 3b)上,东亚东部 30°N 附近出现一个显著的正高度距平中心,说明副高也具有

偏北偏强的异常特征,同时,在贝加尔湖附近出现显著的负高度距平中心。相应的,在 850 hPa 风场上(图 3c),贝加尔湖附近出现一个异常气旋式环流,东亚东部则为一个异常的反气旋式环流,黄河中游地区受到该气旋南部异常西北风和反气旋西部异常西南风的共同影响,从而产生气流的辐合形势,降水容易偏多。

从对大气环流形势的分析可见,黄河中游夏季降水主要受到东亚高空急流、西太平洋副高以及贝加尔湖附近低槽的影响。当急流和副高偏强偏北、贝加尔湖附近高度场偏低时,黄河中游降水偏多;反之,当急流和副高偏弱偏南、贝加尔湖附近高度场偏高时,黄河中游降水偏少。

4 影响黄河中游夏季降水的前期因子及预测模型的建立

4.1 因子分析与模型建立

黄河中游夏季降水量序列中降水量偏多 20%

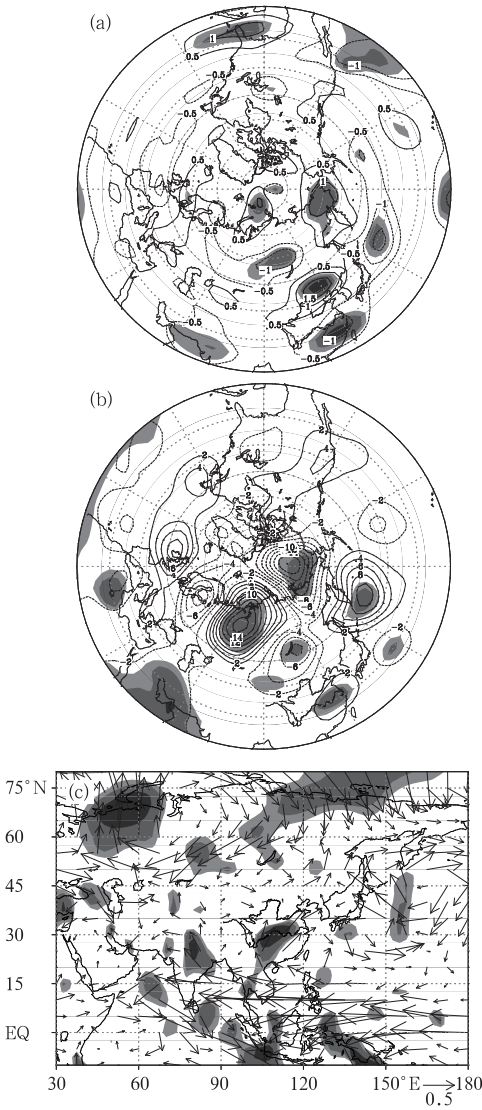


图 3 根据黄河中游夏季降水回归的夏季 (a)200 hPa 纬向水平风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (b)500 hPa 位势高度场(单位:dagpm)和 (c)850 hPa 水平风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (图中深、中、浅色阴影分别表示通过 0.01、0.05 和 0.10 显著性水平检验)

Fig. 3 The summer (a) 200 hPa zonal horizontal wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (b) 500 hPa geopotential height (unit: dagpm) and (c) 850 hPa horizontal wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) regressed on the precipitation over the middle reaches of the Yellow River (Light, middle and dark shadings indicate passing through the test at 0.10, 0.05 and 0.01 significance level)

以上的年份有:1961、1964、1979、1981、1988、1996 和 2003 年,偏少 20% 以下的年份有:1965、1969、1972、1974、1991、1997 和 1999 年,通过合成分析得到,黄河中游夏季降水偏多年其前期冬季 500 hPa

高度距平场和海温距平场与偏少年存在显著差异(图略),夏季降水偏多年冬季 500 hPa 高度距平合成场上,在中低纬存在明显的正距平分布,欧亚中高纬呈西高东低的分布,太平洋海温距平合成场则在赤道东太平洋区为正距平分布,北太平洋为负距平分布;而偏少年 500 hPa 高度距平合成场上则在中低纬存在明显的负距平分布,欧亚中高纬环流呈纬向型分布,太平洋海温距平合成场则在赤道东太平洋区为负距平分布,北太平洋为正距平分布。为了进一步考察前期影响的可信度,我们对黄河中游夏季降水偏多年前期冬季 500 hPa 高度距平场与偏少年前期冬季 500 hPa 高度距平场做差值图(图 4a)和黄河中游夏季降水偏多年前期冬季太平洋海温距平场与偏少年前期太平洋海温距平场做差值图(图 4b),并作 T 检验,可以更清楚地看到:在图 4a 高度距平差值图中,在低纬地区,存在明显的正距平带,且多数地区通过 0.10 以上的显著性水平检验,尤其在太平洋中东部至大西洋中西部地区通过 0.05 的显著性水平检验,其中部分地区通过 0.01 的显著性水平检验,在中高纬太平洋—北美—大西洋一带存在明显的负正负的波列,中心通过 0.01 的显著性水平检验,表明偏多年和偏少年冬季环流差异明显,当从太平洋中低纬—太平洋中高纬—北美—大西洋—大西洋中低纬一带出现“+、-、+、-、+”的距平分布时,夏季黄河降水易偏多,反之易偏少;在图 4b 海温距平差值图中,在太平洋北部和南部存在显著负距平,在赤道中东部、印度洋南部为显著正距平区,中心通过 0.05 以上显著性水平检验,表明黄河中游夏季降水偏多年和偏少年的前期冬季海温同样存在较大差异,降水偏多时,在北太平洋($30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ 、 $170^{\circ} \text{E} \sim 140^{\circ} \text{W}$)区、南太平洋($25^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{S}$ 、 $150^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{W}$)区域内,呈现显著的负距平,北部中心值小于-1,且多数地区通过 0.05 以上的显著性水平检验,中心通过 0.01 显著性水平检验,在赤道东太平洋中部、北太平洋东部、印度洋北部、西部和中部、大西洋赤道西部等区域,呈现显著的正距平,多数地区通过 0.05 以上的显著性水平检验,中心通过 0.01 显著性水平检验,降水偏少时,则相反。因此,可以根据前期冬季海温分布、副高强弱、中高纬环流型等异常信号对黄河中游夏季降水做出定性趋势预测。也就是说,当冬季太平洋海温分布为北负南正、副高偏强、极涡偏强、欧亚中高纬纬向环流时,黄河中游夏季降水以偏多为主,反之,黄河中游夏季降水以少雨为主。

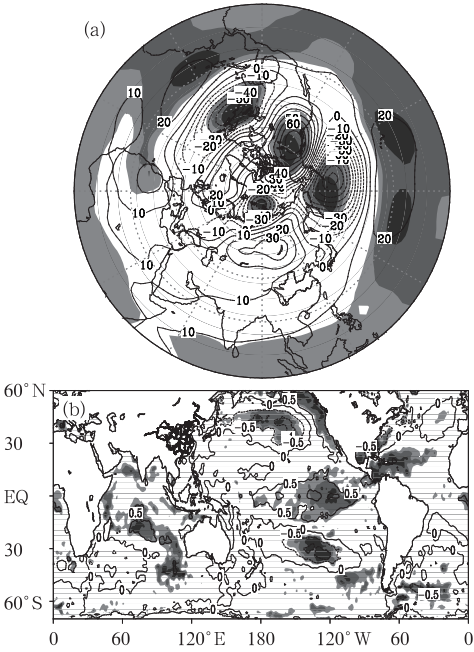


图 4 黄河中游夏季降水偏多年和偏少年其(a)前期冬季 500 hPa 高度和(b)海温距平场的差值场

(图中深、中、浅色阴影分别表示通过 0.01、0.05 和 0.10 显著性水平检验的区域)

Fig. 4 Composite difference of the (a) 500 hPa geopotential height and (b) SSTA during the previous winter for the wet and dry years (Light, middle and dark shadings indicate passing through the test at 0.10, 0.05 and 0.01 significance level)

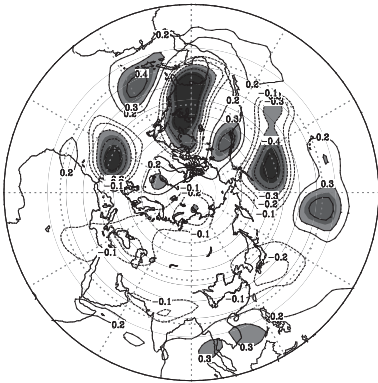


图 5 黄河中游夏季降水与前期 10—11 月高度场相关

(图中深、中、浅色阴影分别表示通过 0.01、0.05 和 0.10 显著性水平检验的区域)

Fig. 5 The correlation coefficients between the 500 hPa height of the previous October to November and the summer precipitation (Light, middle and dark shadings indicate passing through the test at 0.10, 0.05 and 0.01 significance level)

为了更进一步对黄河中游夏季降水做出定量预测,我们利用黄河中游夏季降水 61 个站点 1961—2006 年降水量资料与国家气候中心 74 项环流特征量资料做相关普查,找出前期与黄河中游夏季降水高相关因子,由于在每年做夏季预测时,前期冬季资料不完整,所以只能寻求更早的资料信息,通过分析,我们从前期秋季的 500 hPa 高度场中,找出了一些有物理意义和指示意义的关键区因子,建立预测模型。图 5 给出了黄河中游夏季降水与前期 10—11 月高度场相关,从图中可以看出,在南海副高区(100°~120°E)、太平洋中部副高区、大西洋东部副高区、北非的西部副高区存在显著的正相关,在阿留申地区、北美东部地区、北大西洋东部、北半球极涡区均存在显著的负相关,相关信度超过 0.01,这些区域的异常可以延续到冬季,与黄河中游夏季偏多年冬季环流异常合成图相似程度很高,对夏季预测有一定的指示意义。因此,为方便预测,结合前面的分析,在环流特征指数中挑选了和前期分析有一定关联的且有物理意义的因子,利用多元回归方法建立预测方程。所选取前期 7 个预报因子是:9 月 SOI 指数、10 月南海副高脊线位置指数、10 月北非副高北界位置指数、10 月北半球极涡中心位置指数、11 月北半球副高强度指数、12 月北半球极涡强度指数、2 月北非副热带高压北界位置指数。建立预报方程:

$$Y = 1.923 - 0.328X_1 - 0.072X_2 - 0.339X_3 + 0.004X_4 + 0.277X_5 + 0.084X_6 - 0.63X_7 \quad (1)$$

其中 1961—2006 年为回归模型的建模期,以 2007—2011 年作为预测期对该模型的预测能力进行检验。方程(1)中的确定性系数 R^2 为 0.363,调整后的确定性系数 R^2_{adj} 为 0.229, F 检验值为 3.091,均超过 0.01 的显著性水平检验(即 $P < 0.01$)。

4.2 预测与检验

图 6 给出了 1961—2006 年黄河中游降水距百分率实况值和根据回归模型得到的拟合和预测值。由图可见,实况以及回归的值表现出较为一致的变化。进一步统计发现,其中在 1961—2006 年,两者的相关系数为 0.60,超过 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验。利用此模型对 2007—2011 年进行预测并检验(表 1),从预测值与实况对比来看,除 2009 年外,利用模型预测的降水值与实况多数较一致,在

2007—2011 年,5 年符号一致率为 80%,尤其是 2011 年预测与实况完全一致,另外,在 2007—2011 年,回归值大体上也表现出了较为明显的偏低趋势,与实况较为一致。上述结果较为直观地反映出回归模型的拟合和预测效果较好。利用此模型对 2012 年进行预测,预测黄河中游夏季降水距平百分率较常年同期偏少 10%。2012 年实况也是偏少 10%(表 1),预测与实况完全一致。

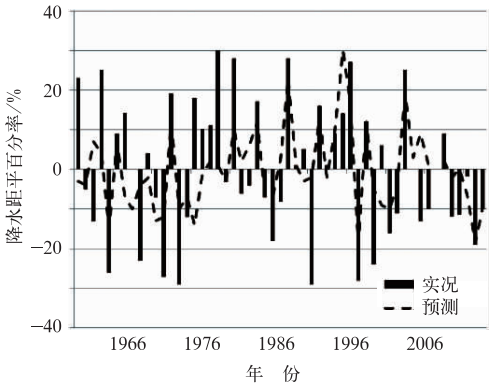


图 6 1961—2012 年黄河中游夏季降水距平百分率实况(实线)和根据回归模型得到的拟合预测值(虚线)序列

Fig. 6 The anomalous percentage of the summer precipitation over the middle reaches of the Yellow River (The bars represent the observation, and the dashed line indicates the prediction)

表 1 利用模型对黄河夏季降水距平百分率的预测及检验

Table 1 The observation and the prediction of the anomalous percentage of summer precipitation over the middle reaches of the Yellow River

| 年 | 实况值/% | 预测值/% |
|------|-------|-------|
| 2007 | 9 | 2 |
| 2008 | —12 | —2 |
| 2009 | —11 | 0 |
| 2010 | —2 | —7 |
| 2011 | —19 | —19 |
| 2012 | —10 | —10 |

5 结 论

黄河中游夏季降水的功率谱分析表明,该区域具有显著的年际变化特征,显著周期在 3 年左右;黄河中游夏季降水主要受到同期东亚高空急流、西太平洋副高以及贝加尔湖附近低槽的影响,当急流和副高偏强(弱)偏北(南)、贝加尔湖附近高度场偏低(高)时,黄河中游降水偏多(少)。另外,黄河中游夏季降水异常多少年前期冬季的合成环流和海温场均显示有较明显的差异,根据冬季环流可以做出定性预测;同时考虑前期秋季南方涛动指数、北非副高(20°W~60°E)、南海副高(100°~120°E)、北半球副高强度及北半球极涡强度发生异常时对夏季环流产生影响,从而影响黄河中游夏季降水,据此建立预测模型。评估发现该模型具有较强的预测能力,可用于黄河中游夏季降水的定量预测。

参考文献

郝志新,郑景云,葛全胜. 2007. 黄河中下游地区降水变化的周期分析. 地理学报, 62(5): 537-544.

李周,郑世林,高媛媛,等. 2008. 黄河中下游夏季降水时空分布及演变特征. 气象与环境学报, 38(suppl): 104-107.

彭梅香,谢莉,陈静,等. 2003. 黄河中游泾渭洛河近 50 年降水分布特征及其变化特点分析. 陕西气象, (1): 19-23.

王澄海,耿立成. 2012. 奇异谱分析-最大熵结合最优子集回归方法在中国夏季降水预测中的应用. 气象, 38(1): 41-55.

王春学,李栋梁. 2012. 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. 大气科学, 36(4): 823-834.

王善华,钞焕玲. 1993. 黄河中游降水与太平洋海温,南方涛动的关联. 气象科学, (1): 47-55.

王霞,夏自强,李捷,等. 2009. 黄河中游降水量特征及变化趋势分析. 人民黄河, (4): 48-49.

徐国昌,董安祥. 1982. 我国西部降水量的准三年周期. 高原气象, 1(2): 11-17.

张善强. 2011. 黄河流域夏季旱涝变化及气候物理因素的影响. 气象与环境学报, 27(3): 40-44.