

王迎春,肖天贵,纳丽,等.宁夏降水变化及其对青藏高原加热场的响应[J].干旱气象,2015,33(4):574-580, [WANG Yingchun, XIAO Tianguai, NA Li, et al. Variation Characteristics of Precipitation in Ningxia and It's Response to Heating Field over Tibetan Plateau[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(4):574-580], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0574

宁夏降水变化及其对青藏高原加热场的响应

王迎春¹,肖天贵¹,纳丽²,朱晓炜³

(1.成都信息工程大学大气科学学院,四川 成都 610225;2.宁夏回族自治区银川市气象局,宁夏 银川 750002;3.宁夏回族自治区气候中心,宁夏 银川 750002)

摘要:基于1961~2012年宁夏各站逐月降水资料,通过趋势分析和EOF方法,对不同季节降水的时空变化规律进行分析得出,近52 a来,宁夏降水整体呈下降趋势,且下降幅度由北向南明显增大;在季节分布上,春、夏、秋季的降水量均呈减少趋势,尤其秋季降水减少趋势最显著,冬季降水呈现上升趋势,变化幅度也是由北向南逐渐增大。结合高原加热场资料,通过SVD方法,寻找高原加热场对宁夏月降水的高影响时期,发现6月降水与前期11月至次年1月的加热场呈负相关,11月降水与前期11月至次年1月的加热场呈正相关;4~5月加热场对后期7、8月的降水有显著影响,前者为正相关,后者为负相关。重新构建新的左右向量,进一步找出不同影响时期的敏感区域,发现在加热场对宁夏降水的高影响时期内,敏感区域不同。其中,银川市和海原、同心、中宁交界处及隆德县3个区域为前期加热场对宁夏6月降水的高敏感区;7月敏感区域位于中部干旱带,尤其是海原、中卫附近;8月敏感区域在引黄灌区和隆德附近;11月敏感区域在南部山区附近。

关键词:降水;EOF;SVD;高原加热场

文章编号:1006-7639(2015)-04-0574-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0574

中图分类号:P426.6;P434

文献标识码:A

引言

宁夏位于西北地区东部,受西南季风、青藏高原、东南季风、西风环流等系统影响,气候背景复杂多变。很多学者针对宁夏降水开展了大量的相关研究。陈晓光等^[1-2]采用宁夏24个气象台站从建站到2000年的观测资料,对降水的年代际和年际变化进行统计分析,指出宁夏年降水量增减幅度不大,但年代际变化比较明显。郑广芬等^[3]研究了宁夏不同季节降水量对中国区域气候变化的响应,发现对中国区域降水量响应最显著的是春季,其次是冬季和秋季,夏季无明显响应。21世纪以来,宁夏降水是否出现新的变化特征,目前还没有后续的相关研究。大量研究表明,宁夏的水汽通道主要来自西南方向^[4-5],青藏高原位于水汽通道的关键位置,其动力和热力作用对宁夏降水有明显影响,尤其是热力

作用对区域降水有先兆性指示,利用青藏高原加热场可以建立影响西北地区降水的一个重要预测指标。吴统文等^[6]探讨了青藏高原地面热状况与高原北侧干湿状况的联系,指出青藏高原的热力作用是西北干旱的重要成因之一;李栋梁等^[7-8]对青藏高原地面加热场强度的基本气候特征及异常变化趋势做了分析,结合高原地面加热场强度异常对北半球大气环流和中国气候异常的影响进行了统计诊断研究,同时也发现了8月青藏高原地面加热场强度与次年西北地区降水有很好的正相关;王新增等^[9]通过对青藏高原加热场与我国夏季降水的相关性分析发现,高原加热场与我国夏季降水呈明显的负相关关系,对春季降水影响较小;朱乾根等^[10]利用NOAA的OLR资料,研究了OLR与冬/夏500 hPa高度场及夏季降水的关系,发现高原冬季OLR的分布型与冬季冷空气的路径、强度和范围有密切关系;

收稿日期:2014-06-23;改回日期:2014-11-06

基金项目:科技部社会公益性行业(气象)专项(GYHY201306027)、宁夏重点实验室开放基金"青藏高原加热场对宁夏降水的影响"和宁夏回族自治区自然科学基金(NZ12281)共同资助

作者简介:王迎春(1967-),女,工程师,主要从事气象业务和雷电监测预警以及防雷技术服务管理工作。E-mail:nxqxwyc@163.com

通讯作者:朱晓炜。E-mail:zhxw1029@163.com

朱炳瑗等^[11]发现前一年8月500 hPa高度场与高原加热场对次年甘肃省春末夏初的降水有很好的指示性;宋敏红等^[12]利用NECP资料对高原地面热源强度进行了研究,指出可利用早春高原地面热源强度作夏季西北及长江中、下游的短期气候预测;陈少勇^[13-14]等分析了青藏高原OLR异常与西北气温和秋季降水的关系。以上研究充分表明,利用青藏高原加热场作为短期气候预测的指标是切实可行的。然而,已有研究多是从全国或者西北地区较大范围研究高原加热场的影响作用,可从宏观上掌握系统的影响作用,但局部的特征变化会被平滑滤去。为全面掌握宁夏降水的变化特征,提高局部区域应对气候变化的能力,本文以宁夏回族自治区为研究区域,利用宁夏各站点较新的降水观测资料和青藏高原加热场资料,分析宁夏降水变化规律。在此基础上,通过SVD方法寻找宁夏降水对高原加热场响应的高影响时期和高敏感区域,为短期气候预测业务提供一种新的预测手段。

1 资料和方法

1.1 资料及处理

选取宁夏20个常规气象站1961~2012年逐月降水资料。考虑到降水区域的非均衡性,把宁夏划分为3个区,北部引黄灌区(惠农、平罗、陶乐、贺兰、银川、永宁、灵武、吴忠、青铜峡、中卫、中宁),中部干旱带(盐池、韦州、同心、兴仁、海原)和南部山区(西吉、固原、隆德、泾源)。季节划分按照通常标准,3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12月至次年2月为冬季。

青藏高原加热场资料是采用李栋梁等^[7]提出的青藏高原热源表征方法,利用青藏高原1958~2012年60个站地—气温差计算的高原地面加热场强度,经EOF分解,选取信息载荷量最大的玉树和日喀则作为代表站,计算2站地面加热场强度的月平均距平指数,代表青藏高原加热场强度。计算公式如下:

$$\Delta(B-H)_p = A + B(T_s - T_a)_R + C(T_s - T_a)_Y - M \quad (1)$$

式(1)中, $\Delta(B-H)_p$ 为高原地面加热场强度距平指数, $(T_s - T_a)_R$ 和 $(T_s - T_a)_Y$ 分别为日喀则和玉树月平均地面(0 cm)温度与百叶窗温度之差, M 为日喀则和玉树2站地面加热场强度气候平均值, A 、 B 、 C 为系数。

1.2 方法

1.2.1 经验正交分解(EOF)

经验正交分解(Empirical Orthogonal Function, EOF)可以把原变量场分解为正交函数的线性组合,构成为数很少互不相关的典型模态代替原始变量场(每个典型模态都含有尽量多的原始场信息)。具有以下突出优点:(1)没有固定的函数,不需要以某种特殊函数为基函数;(2)能在有限区域对不规则分布的站点进行分解;(3)展开时,收敛速度快,易于将变量场的信息集中在几个模态上;(4)分离出的空间结构具有一定的物理意义。EOF已成为气候科学研究中分析变量场特征的主要工具。本文利用1961~2012年宁夏各站的降水序列资料,将各站的年、季降水量分别作为原始场,分离出宁夏年及各季的降水分布模态。

1.2.2 奇异值分解(SVD)

奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)主要用于分析2个气象要素场序列之间的时空关系,从中分离出多个相互独立的耦合模态,这种耦合的分布型能最大限度地解释2场的交叉协方差。其参数包括左右场的同性及异性相关系数。同性相关系数是指左场距平序列与左场模态时间系数的相关性,同性相关性越高说明该模态时间系数越能代表距平序列;异性相关系数是指左场(右场)距平序列与右场(左场)模态时间系数之间的相关系数,其值的大小反映了左场(右场)距平序列与右场(左场)模态时间系数的相关程度。SVD是一种基于数学统计的方法,在左右场的配置时自由度比较大,可以选择时间序列的场,也可以选择空间序列的场。

考虑到青藏高原加热场对宁夏降水的影响是通过全球大气环流缓慢作用产生的,在过程中往往会产生时间的滞后。因此,把高原加热场资料进行扩展,即由前一年的加热场和当年的加热场组成一个新的向量场,其中1~12月表示前一年的月份,13~24月为当年的月份,即 $X(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_{24}(t))$ 。利用1960~2011年青藏高原逐月加热场数据构成左向量场,宁夏1961~2011年逐月的降水量构成右向量场,即 $R(t) = (R_1(t), R_2(t), \dots, R_{12}(t))$,将上述左右场进行SVD分析,找出前期加热场对宁夏降水的高影响期。加热场是降水的影响因子,降水场是响应结果,分析时选取加热场的同性相关系数和降水场的异性相关系数。同性相关关系表示加热场时间变化与时间系数的相关性大小,异性相关关系表示不同月份的降水受加热场影响的程度。

为了进一步研究高原加热场对宁夏月降水不同分布模态的影响,在上述基础上,利用加热场的时间序列和高影响时期各地的降水序列重新构建新的左、右向量,找出不同影响时期的敏感区域。其中,左向量的建立同上,即 $X(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_{24}(t))$; 右向量为空间向量场,即 $R(t) = (R_1(t), R_2(t), \dots, R_{20}(t))$, 1~20 代表宁夏 20 个观测站, R 代表各站月降水。

2 宁夏降水变化规律

2.1 降水的时间变化特征

1961~2012 年全区平均年降水量为 278.4

mm,其中引黄灌区为 186.4 mm,中部干旱带为 304.6 mm,南部山区为 499.8 mm。全区年平均降水量呈显著波动下降趋势,下降速率为 $-8.045 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。其中,南部山区降低幅度最大,为 $-18.93 \text{ mm}/10 \text{ a}$,北部引黄灌区和中部干旱带下降趋势显著,但幅度相对较小,分别为 -2.58 、 $-10.93 \text{ mm}/10 \text{ a}$ (图 1)。可见,宁夏降水空间分布不均匀,降水量由南向北逐渐递减;年降水量的变化趋势相同,但不同区域变化幅度有差异。

从季节上来看,宁夏降水量的年内分布也极不均衡(图 2)。夏季降水量最大,为 158.1 mm,秋季次之,为 66.5 mm,冬季最小,仅为 5.6 mm,各季降

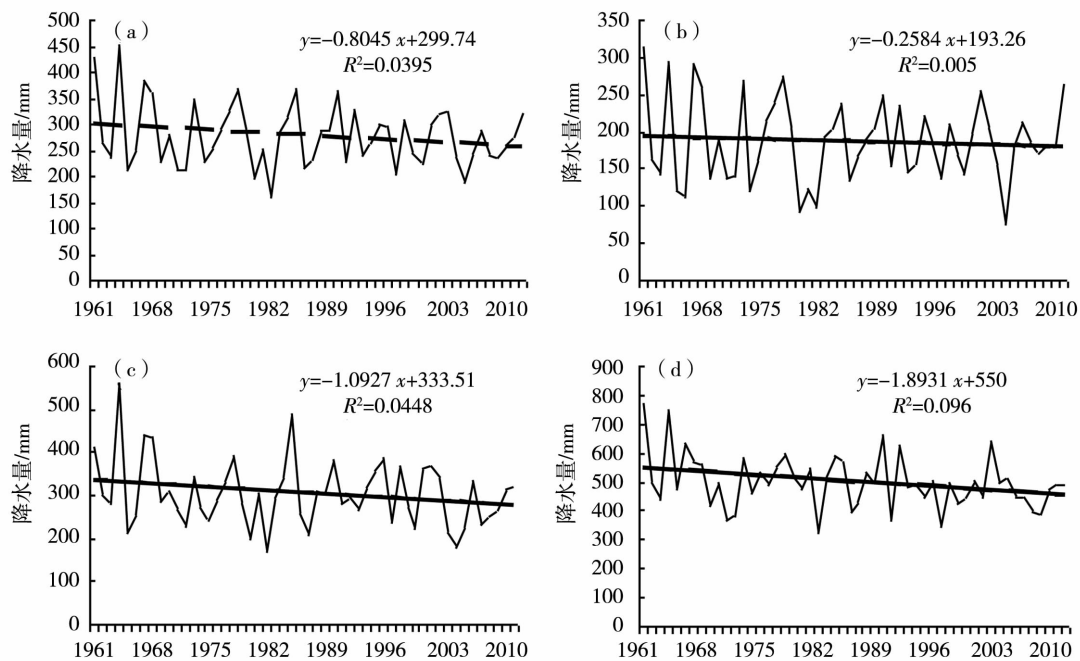


图 1 1961~2012 年宁夏全区(a)、引黄灌区(b)、中部干旱带(c)、南部山区(d)降水量的年变化

Fig. 1 Annual changes of precipitation in the whole area(a), irrigation area(b), middle arid area(c) and southern mountain area(d) of Ningxia

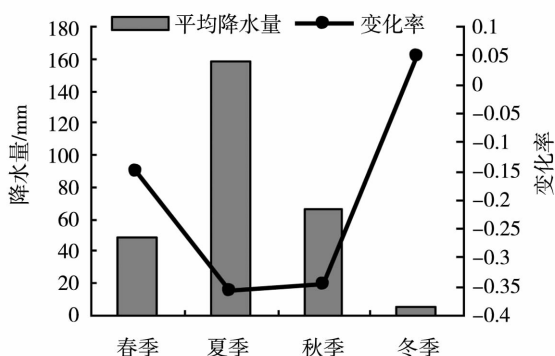


图 2 宁夏降水量的季节分布特征

Fig. 2 The seasonal distribution of precipitation in Ningxia

水量的空间分布特征与年降水量类似,也是自南向北逐渐递减。另外,各季降水量的变化趋势不尽相同,夏、秋、春季降水量整体均呈逐年下降趋势,且秋季降水下降幅度最明显,而冬季呈上升趋势(图略)。同时,各季降水量变化幅度由南向北逐渐减小,南部山区最大,北部引黄灌区最小,这与年降水变化幅度的空间分布特征相同(图略)。

2.2 降水的空间分布特征

宁夏年降水量前 3 个模态的贡献率分别为 65.21%, 8.97%, 7.28%。第一模态为全区一致性,降水较异常的区域主要集中在银川、永宁、青铜峡、中

宁、同心;第二模态呈南北相异,正相位异常中心位于石嘴山、平罗、贺兰,负异常中心位于泾源、隆德;

第三模态自北向南呈现正负正的模态,青铜峡以北、固原地区为正相位,其他地区为负相位(图3)。

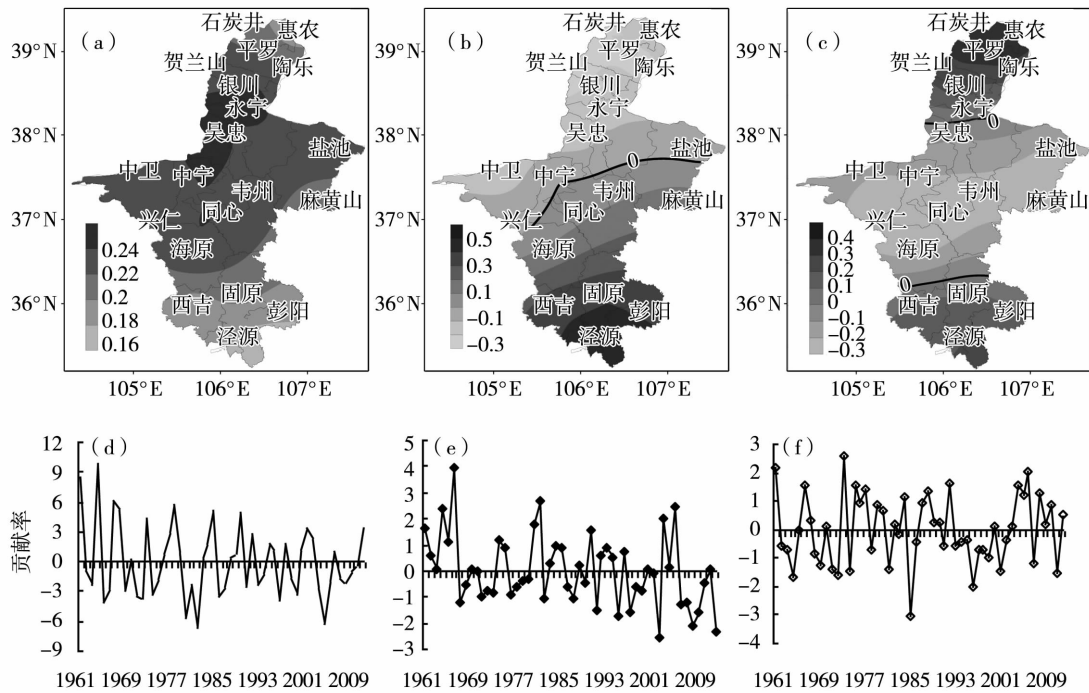


图3 宁夏年降水量的第一(a)、第二(b)、第三(c)分布模态及其对应的第一(d)、第二(e)、第三(f)时间系数

Fig. 3 Distribution the first (a), second (b), third (c) modes of annual precipitation and the first (d), second (e), third (f) corresponding time coefficients in Ningxia

春季(图略),宁夏降水前3个模态的贡献率分别为74.44%,10.24%,2.91%,共计87.59%。第一模态为全区一致性,异常地区主要位于盐池、麻黄山、韦州、吴忠等地;第二模态呈南北异相,盐池以北为正相位,以南为负相位,且银川和同心南部为异常中心;第三模态由南向北呈现负正负分布模态,吴忠以北大部地区为负相位,中部干旱带为正相位,南部山区为负相位,中宁、中卫、同心、隆德等地出现异常的可能性较大。

夏季(图略),宁夏降水前3个模态的贡献率分别为57.77%,11.51%,8.36%,共计77.63%。第一模态为全区一致性,易发生异常的地区主要集中在银川、永宁、灵武、青铜峡、中宁、中卫及贺兰山;第二模态呈现南北相异,引黄灌区呈现负相位,中部干旱带和南部山区呈现正相位,其中石嘴山降水容易出现异常;第三模态自北向南呈现正负正的分布模态,永宁以北和南部山区都为正相位,其他地区为负相位。其中海原、中宁、同心交界处及盐池为降水较易出现异常的地区。

秋季(图略),宁夏降水前3个模态的贡献率分

别61.47%,17.89%,6.46%,共计85.82%。第一模态易出现降水异常的区域主要是中宁、青铜峡、吴忠;第二模态呈现南北反相位,韦州以北为正相位,以南为负相位,易出现异常降水的区域是石炭井、大武口;第三模态自北向南呈现负正负的分布特征,银川以北、海原以南为负相位,其他地区为正相位。

冬季(图略),宁夏降水的前3个模态的贡献率分别为66.1%,11.72%,6.1%,共计83.92%。第一模态表现为全区一致型,呈现出“中东部高、两头低”的形态,最大值分布于青铜峡至盐池一带,最小值分布在西吉至隆德一带。第二模态呈现南北反相位,韦州以北为负相位,以南为正相位;第三模态自北向南呈现正负正的相位,永宁以北和海原以南大部地区为正相位,其他地区为负相位。

3 降水对青藏高原加热场的响应

3.1 青藏高原加热场与宁夏各月降水的高影响时期
借鉴赵永晶等^[15]的研究方法分析青藏高原加热场和宁夏各站月降水的时滞和空间耦合的关系。青藏高原加热场和宁夏各月降水量经SVD分解后,

前 2 对分布型分别解释了总方差的 40.86% 和 17.25%, 占总方差的 58.11%, 其余空间分布型所占比重远小于前 2 个分布型, 因此只考虑分解计算的前 2 个特征量结果。前 2 个模态的奇异向量之间的相关系数分别为 0.66, 0.56, 均通过 0.001 的显著性检验, 表明 2 场之间有很好的耦合关系。

图 4 是高原加热场与宁夏各月降水 SVD 分析的第一、第二模态。可以看出, 相关系数呈现波动性变化, 说明加热场对不同时期降水的影响有差异。第一模态上一年 11 月至当年 1 月的同性相关系数超过 0.6, 第二模态 4~5 月的同性相关系数超过 0.6。说明第一模态的时间系数主要代表了上一年 11 月至当年 1 月的加热场变化, 第二模态的时间系数主要代表了 4 月和 5 月的加热场变化。同时, 从降水距平场的第一模态异性相关系数看出, 6 月降水

和上一年 11 月至当年 1 月的前期加热场呈负相关, 11 月降水和上一年 11 月至当年 1 月的加热场呈正相关; 降水距平场第二模态的异性相关系数显示, 4~5 月的加热场对后期 7、8 月的降水有影响, 前者为正相关, 后者为负相关。可见, 宁夏 6~8、11 月的降水受前期的加热场影响较明显。

3.2 前期加热场对宁夏月降水的高影响区域

前期青藏高原加热场和宁夏 6 月降水量经 SVD 分解可知, 第一空间分布型解释了总方差的 79.42%, 协方差贡献足够大, 模态的时间相关系数达到了 0.53。因此这里主要讨论第一空间分布型。

图 5 是高原加热场和宁夏 6、7、8、11 月降水 SVD 分析的第一模态(加热场向量)的同性相关系数。由图 5a 可以看出, 上一年 11 月至当年 1 月加热的同性相关系数超过 -0.6, 说明第一模态可以

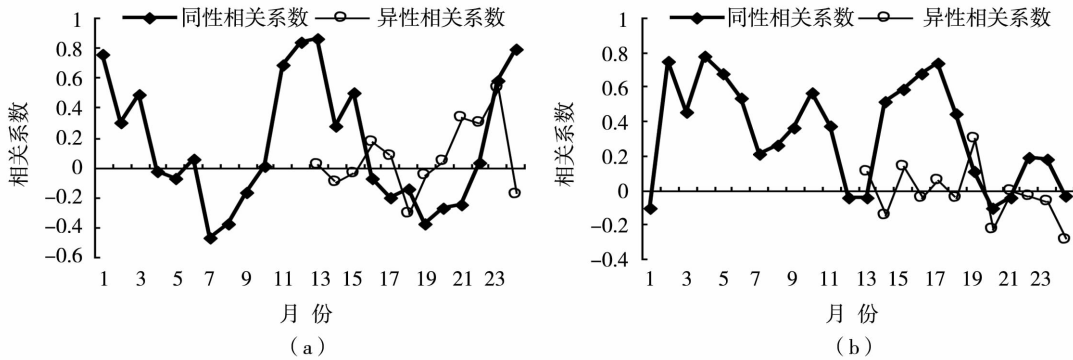


图 4 加热场(粗实线)与宁夏各月降水(细实线)的 SVD 分析第一模态(a)和第二模态(b)

Fig. 4 The first (a) and second (b) modes of monthly precipitation (thick lines) and heating field (thin lines) by SVD

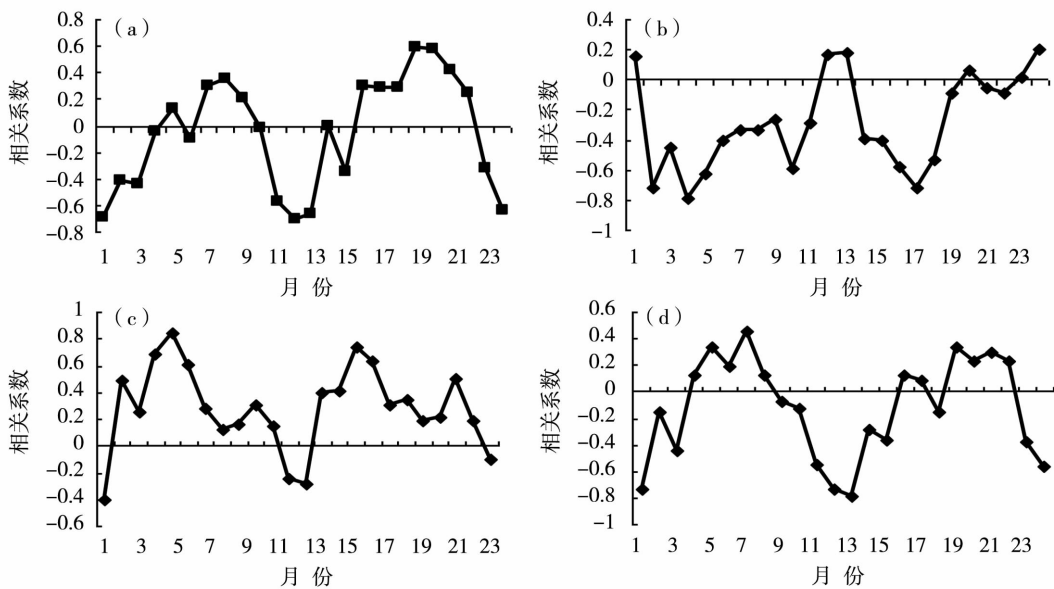


图 5 高原加热场和宁夏 6(a)、7(b)、8(c)、11(d)月降水 SVD 分析的第一模态(加热场向量)

Fig. 5 The first modes of precipitation in June (a), July (b), August (c), November (d) and heating field over Tibet Plateau by SVD (heating field vector)

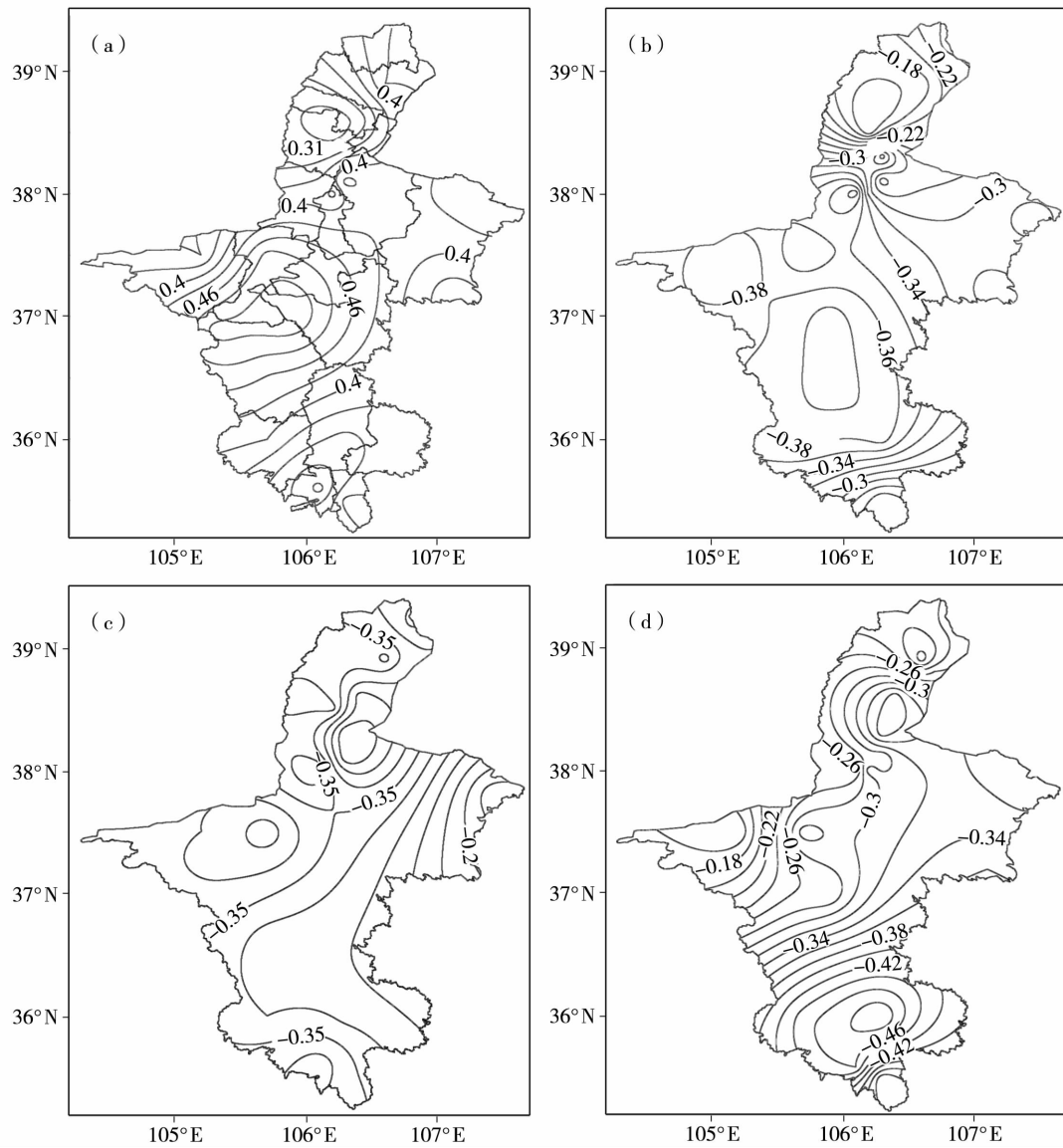


图6 高原加热场和宁夏6(a)、7(b)、8(c)、11(d)月降水SVD分析的第一模态(降水分布型)
 Fig.6 The first modes of precipitation in June (a), July (b), August (c), November (d)
 and heating field over Tibet Plateau by SVD (precipitation vector)

表征该时期加热场的变化,且与6月宁夏降水呈反相关,即上一年11月至当年1月加热场偏低时,后期6月宁夏降水偏多。由图6a可知,宁夏前期加热场和6月降水之间为负相关。其中北部、中部和南部各有1个降水极值中心,分别位于银川市和海原、同心、中宁交界处及隆德县。

宁夏7月降水与前期4~5月的高原加热场相关性较好,当加热场偏低时,宁夏降水偏少,中部干旱带偏少较明显,尤其是海原、中卫(图5b、图6b);8月降水与前期4~5月加热场呈负相关,高相关区在引黄灌区和隆德附近(图5c、图6c);11月降水与上一年11月至当年1月加热场相关性较高,高敏感区域主要在南部山区(图5d、图6d)。

4 结论

(1)1961~2012年,宁夏平均年降水量呈波动下降趋势,整体下降速率为 $-8.045\text{ mm}/10\text{ a}$ 。其中,南部山区下降幅度最明显,为 $-18.93\text{ mm}/10\text{ a}$,北部引黄灌区下降幅度最小,仅为 $2.58\text{ mm}/10\text{ a}$;在季节上,春、夏、秋季降水均呈下降趋势,尤其是秋季的下降速率最快,而冬季呈上升趋势,但其变化幅度的空间分布各季节相同,均表现为由南向北逐渐减少的特征。

(2)宁夏年降水量主要呈现3种分布模态,第一模态为全区一致型,贡献率为65.21%;第二模态为南北相异型,贡献率为8.97%;第三模态为南北

与中间相异型,贡献率为 7.28%。各季节降水的分布模态与年降水的一致,只是在贡献率上稍有区别。

(3)通过 SVD 分析发现,上一年 11 月至当年 1 月的前期加热场和 6 月降水呈负相关,而与 11 月降水呈正相关;4~5 月加热场对后期 7、8 月的降水有影响,前者为正相关,后者为负相关。可见,6、7、8、11 月为前期高原加热场对宁夏降水的高影响时段。

(4)高原加热场对宁夏 6 月降水的高影响区为银川市和海原、同心、中宁交界处及隆德县;7 月的高影响区在中部干旱带,尤其是海原、中卫;8 月降水与前期 4~5 月的加热场呈负相关,高相关区在引黄灌区和隆德附近;11 月降水与上一年 11 月至当年 1 月加热场相关性较高,高敏感区域主要在南部山区。

参考文献:

- [1] 陈晓光,苏占胜,郑广芬,等.宁夏气候变化的事实分析[J].干旱区资源与环境,2005,19(6):43-47.
- [2] 陈晓光,苏占胜,陈晓娟,等.全球气候变暖与宁夏气候变化及其影响[J].宁夏工程技术,2005,4(4):301-304.
- [3] 郑广芬,陈晓光,孙银川,等.气温、降水、蒸发的变化及其对气候变暖的响应[J].气象科学,2006,26(4):412-421.
- [4] 姚俊强,杨青.近 10a 我国大气水汽研究趋势及进展[J].干旱气象,2011,29(2):151-155.

- [5] 陈豫英,陈楠,谭志强,等.2012 年 6 月 26-29 日宁夏强降水成因[J].干旱气象,2014,32(4):599-607.
- [6] 吴统文,钱正安.青藏高原北侧地区干湿年夏季垂直环流差异的对比分析及青藏高原的热力影响[J].气象学报,1996,54(5):558-567.
- [7] 李栋梁,季国良,吕兰芝.青藏高原地面加热场强度对北半球大气环流和中国天气气候异常的影响研究[J].中国科学 D 辑,2001,31,312-319.
- [8] 李栋梁,陈丽萍.青藏高原地面加热场强度与东亚环流及西北初夏旱的关系[J].应用气象学报,1990,1(4):383-391.
- [9] 王新增.青藏高原加热场对中国夏季降水的影响[J].河南气象,1999,3:7-10.
- [10] 朱乾根,盛春岩,陈敏,等.青藏高原冬季 OLR 年际变化特征及其与我国夏季降水的联系[J].高原气象,2000,19(1):75-83.
- [11] 朱炳媛,李栋梁.500hPa 高度场、海温、高原加热场与甘肃省春末夏初降水的关系[J].气象,1994,18(5):32-35.
- [12] 宋敏红,吴统文,钱正安.高原地区 NECP 热通量再分析资料的检验及在夏季降水预测中的应用[J].高原气象,2000,19(4):467-475.
- [13] 陈少勇,王劲松,邢晓宾,等.青藏高原 OLR 异常与中国西北干旱区气温的关系[J].干旱气象,2011,29(3):276-283.
- [14] 陈少勇,乔立,林纾,等.中国西部 OLR 与秋季降水的关系[J].干旱气象,2011,29(1):1-10.
- [15] 赵永晶,钱永甫.全球海温异常对中国降水异常的影响[J].热带气象学报,2009,25(5):561-571.

Variation Characteristics of Precipitation in Ningxia and It's Response to Heating Field over Tibetan Plateau

WANG Yingchun¹, XIAO Tianguai¹, NA Li², ZHU Xiaowei³

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Yinchuan Meteorological Bureau of Ningxia, Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Climate Centre, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Based on the monthly precipitation data from 20 meteorological stations in Ningxia during 1961-2012, the temporal and spatial variation characteristics of precipitation in four seasons were analyzed by using trend analysis and EOF methods, firstly. Combined the heating field data over Tibetan Plateau, the responses of monthly precipitation to heating field over Tibetan Plateau were researched by SVD method. The results showed that the annual precipitation in Ningxia during 1961-2012 presented a declining trend on the whole, especially it was obvious in southern mountainous region. The precipitations in spring, summer and autumn decreased from 1961 to 1982, especially the declining rate was the fastest in autumn, while it increased in winter, and the change degree gradually increased from south to north. In addition, the correlation between the heating field from last November to January over Tibetan Plateau and precipitation in June in Ningxia was negative, while it was positive with precipitation in November. The influence of heating fields from April to May on precipitation in July and August was significant, the former was positive correlation, while the latter was negative correlation. During the influence of heating field over Tibetan Plateau on precipitation in Ningxia, the sensitive areas were different. The highly sensitive areas in June located in Yinchuan, Longde and the border of Haiyuan, Tongxin, Zhongning, and in the middle arid area in July, especially in Haiyan and Zhongwei, in irrigation area and Longde in August, and the southern mountainous region in November.

Key words: precipitation; EOF; SVD; heating field over Tibetan Plateau