

西北与华北地区现代降水变化趋势的对比

王涛^{1,2,3}, 罗艳¹, 钟亦鸣¹, 甄文芳¹

(1.安徽省公共气象服务中心,安徽 合肥 230031;2.国家气候中心气候研究开放实验室,北京 100081;
3.中国地质大学(武汉)环境学院,湖北 武汉 430074)

摘要:利用研究区内国家级气象站观测资料,分析1951~2013年降水变化趋势。其结果表明:西北与华北地区年均降水呈“东多西少”的空间格局;西北地区降水呈明显增加趋势,以青海及新疆西部较为显著,华北地区降水呈减少趋势,两地区降水趋势增加与减少的变化在104°E附近地区过渡;西北地区降水增加趋势起始于1980年代中期,华北地区降水减少趋势起始于1980年代初期;两地区降水变化“反(错)位相”特征在降水量累计距平百分比指标上表现明显。采用REOF方法,结合地理位置和地形等因素,西北与华北地区可分为6个降水子区域,各子区域及其之间的降水变化更详细体现出“反(错)位相”特征的情况,这种特征可能受到近几十年亚洲季风变化的影响。

关键词:降水趋势;西北与华北地区;反(错)位相;子区域;亚洲季风

中图分类号:P416.2;P467;P942 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2017)01-0056-08

大气降水是表征陆地气候干湿程度的重要变量,也是地表和地下水资源变化的主要控制因子,在陆地水循环、生态系统和自然环境的形成、演化中起到至关重要的作用^[1-5]。因此区域水循环、水资源、水灾害以及气候变化的影响研究中,大气降水的变化得到了充分关注^[6-11]。

我国西北与华北地区因为距离海洋的远近、深入内陆程度等的差异,分别受到盛行西风环流和亚洲季风环流的影响,形成性质不同的环境干燥大陆性和湿润季风气候区域^[12]。相关研究已获得不少认识,施雅风等学者提出我国西北地区气候转型问题,认为以新疆为代表的西北地区气候正由暖干型向暖湿型转化,表现为地面气温继续升高、大气降水开始明显增加、地表径流和湖泊水位普遍上升^[13-17];且西北地区东、西部降水也存在较大差异^[18-19]。而在华北地区,气象工作者们发现华北降水存在着显著的季节变化、年际变化和年代际变化特征,并表现出明显下降趋势^[20-23]。综上所述,我国西北与华北地区降水变化上呈现“反(错)位相”,但有关于此的研究讨论较少见文。因此,本文采用更新到2013年的地面观测站降水资料,分析西北与华北地区降水变化趋势,探讨近60年间的这种“反

(错)位相”特征及其可能原因。

1 研究资料

本文基于中国气候区划图^[24],各省近几十年降水变化^[25-29]及参考行政区划,选定西北与华北地区包括山东、河北、河南、山西、北京、天津、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆在内的11个省(直辖市)。降水数据采用《中国地面气候资料年值数据集》的站点记录值,数据集由各省上报的全国地面月报信息化文件根据《全国地面气候资料(1961~1990)统计方法》及《地面气象观测规范》有关规定,进行整编统计而得,经过较严格的质量控制和检查,质量良好,数据记录起始时间多集中在1950年代。在不影响区域整体变化分析的基础上,剔除了一些记录数据年限较短和缺测记录较多的站点,选用站点(共计207个)的空间分布如图1所示,分析我国西北与华北地区近60a(1951~2013年)降水变化的趋势情况。

2 降水概况

计算各站点近60a的年均降水量,利用Kriging插值方法^[30],得到西北与华北地区年均降水量空间分布

收稿日期:2016-04-10

基金项目:安徽省气象局硕博工作启动经费项目(RC201607)

作者简介:王涛(1984-),男,江苏徐州人,博士,主要从事气候系统与全球变化的研究。E-mail:4341250@qq.com

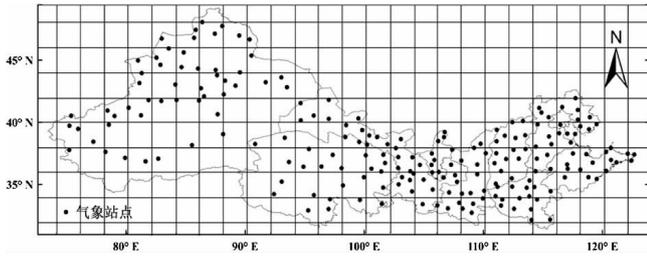


图1 选用气象站点的空间分布

Fig.1 Distribution of the meteorology stations in the northwest and north China

(见图2),可见:西北与华北地区年均降水量呈东南—西北走向分布,沿此走向降水量成逐渐减少态势。最大值区域出现在山东东南部、河南南部、陕西南部地区,年均降水量在800~1000mm;沿着向西、向北的方向逐渐减少,最小值区域出现在青海西北部、甘肃西部和新疆东南部地区,年均降水量低于50mm(吐鲁番年均降水量仅有15.8mm),再向新疆西部、北部地区年均降水量又呈增加趋势。

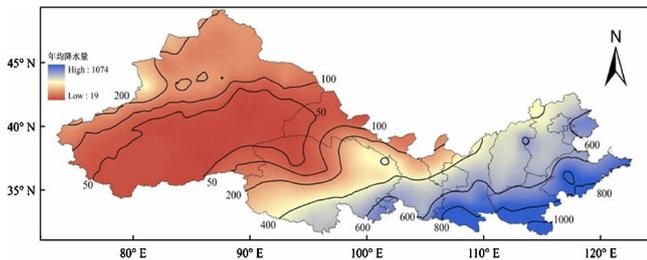


图2 西北与华北地区年均降水量空间分布(mm)

Fig.2 Spatial distribution of the annual precipitation in the northwest and north China

3 降水变化的空间特点

对所选站点年降水量进行趋势分析,趋势系数有95个站点为正值,其中超过0.05显著性水平的站点有39个;有112个站点为负值,超过0.05显著性水平的站点有13个。年降水量趋势变化(见图3)显示,正趋

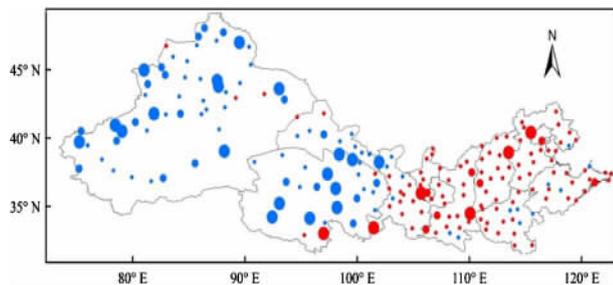


图3 气象站点年降水量趋势变化(蓝色:正趋势;红色:负趋势;中圆:显著性水平超过0.05;大圆:显著性水平超过0.01)

Fig.3 The trend of the annual precipitation variation

势主要分布在甘肃中西部、青海和新疆地区,增加趋势显著的站点主要在青海和新疆地区;负趋势主要分布在104°E以东的地区,但减少趋势显著的站点相对较少。正趋势分布为主地区,存在若干负趋势变化站点;负趋势分布为主地区,同样存在若干正趋势变化站点,其可能原因是:气象站点局地独特气候的原因或某些站点起始时间较晚,没有记录到前期的降水量变化。

进一步计算显著性站点的年降水量的回归系数,在全部趋势系数超过0.05显著性水平的站点中,青海托托河站点增加速率最大,为48.3mm/10a,玛多站点次之;山西五台山站点减少速率最大,为-79.45mm/10a(可能有迁站因素),陕西华山站点次之。

4 降水变化的时间特点

建立西北与华北地区内的平均降水量距平百分率时间序列,序列时段为1951~2013年,降水量距平是相对于1971~2000年30年的平均值的差值。计算方法采用Jones等^[31]提出的计算区域平均气候时间序列的方法,即把西北与华北整个地区按经纬度划分网格,尺寸为2°×2°(图1所示),将每个网格内所有站点的降水量距平百分率做算数平均,得到各网格的降水量距平百分率,再应用面积加权法计算所有网格的平均值,无资料的网格不参与计算,这样得到区域平均降水变化的时间序列。采用Mann-Kendall方法^[32]检验区域平均降水时间序列变化趋势的显著性。

4.1 西北地区

西北地区年降水量距平百分率时间序列(见图4)显示,年降水变化波动上升,线性增加趋势约为14%,增加速率达到2.99%/10a,通过了信度为95%的显著性水平检验。5年滑动平均上,西北降水变化成两阶

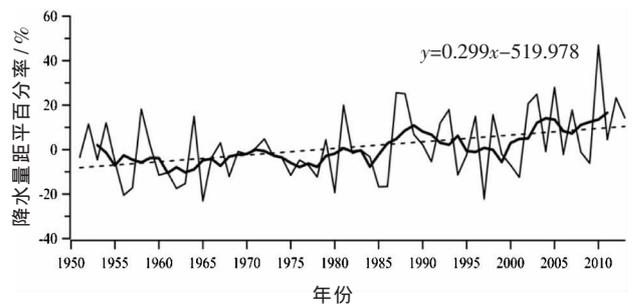


图4 1951~2013年西北地区年降水量距平百分率(黑实线是5年滑动平均线)

Fig.4 Change in the annual precipitation percentage anomaly in the northwest China

段,在1980年代中期之前西北降水量低于多年平均值(降水量距平百分率负值为主);1980年代中期之后,西北降水量开始高于多年平均值(降水量距平百分率正值为主),尤其是21世纪后,多数年份的降水量更明显偏高于多年平均值,为1951年以来最为湿润的时段,2010年的降水量达到时段内的最高值,其异常偏高,与新疆、青海地区大多数站点记录的降水量多于或明显多于多年平均值有关,一些站点记录较多年平均值甚至偏多1倍以上;1965年和1997年的降水量为低值,这两年西北地区大多数站点记录的降水量少于或明显少于多年平均值。

西北地区年降水量距平百分率时间序列的特征是,1951~1966年、1967~1985年、1986~2013年的三个时段,降水量年际相对变化成大—小—大变化的规律,即降水的年际相对变异性在1956~1966年期间较高、1967~1985年期间较低、1986~2013年期间又升高。在降水年际相对变化较高的1956~1966年和1986~2013年期间,降水量也偏多;而在降水年际相对变化较低的1967~1985年期间,降水量则偏少。这说明在降水量接近常年或偏少的时期,降水的年际稳定性或持续性比较好,期间暴雨或极端降水事件也较少;而较大降水年际变化时期,暴雨或极端降水事件相对较多,降水年际相对变化与暴雨或极端强降水事件有关。

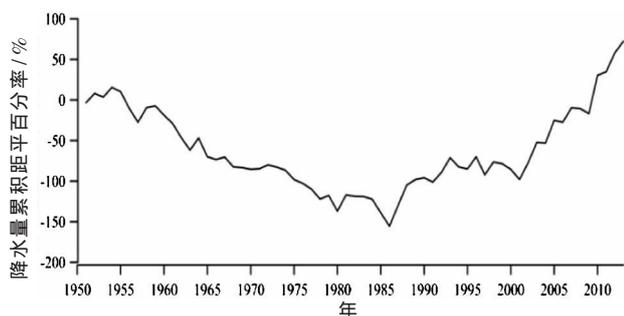


图5 1951~2013年西北地区年降水量累积距平百分率

Fig.5 Change in the annual precipitation cumulative percentage anomaly in the northwest China

西北地区降水量累积距平百分率序列(见图5)表明,1951~1986年期间,西北地区降水处于逐渐减少的过程中;1986年之后,西北地区降水开始持续增加。

4.2 华北地区

华北地区年降水量距平百分率时间序列(见图6)显示,年降水变化波动减少,线性减少趋势约为10%,减少的速率达到 $-1.97\%/10a$ 。5年滑动平均上,1950年代、1960年代华北降水量在多年平均值之上,是1951

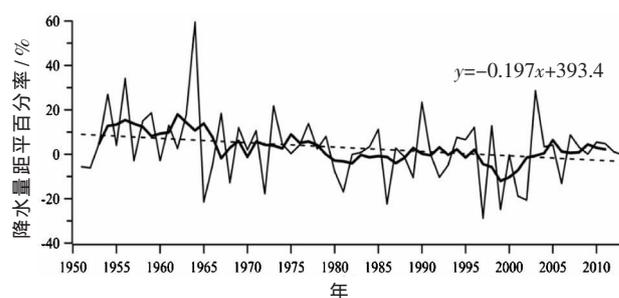


图6 1951~2013年华北地区年降水量距平百分率
(黑实线是5年滑动平均线)

Fig.6 Change in the annual precipitation percentage anomaly in the north China

年以来降水量最多的时段;1970年代平均降水量略高于多年平均值,1970年代以前华北地区降水比较充沛;1980年代平均降水量略低于多年平均值;1990年代中前期平均降水量与多年平均值基本一致;1990年代后期至2000年代前几年平均降水量减少到最低水平,是1951年以来降水量最少的时段;之后华北地区降水量有所回升。1964年的降水量异常偏高,该年华北地区内大多数气象站点的记录值都明显高于多年平均值;1965年和1997年的降水量也为低值,这两年华北地区大多数站点记录的降水量少于或明显少于多年平均值。

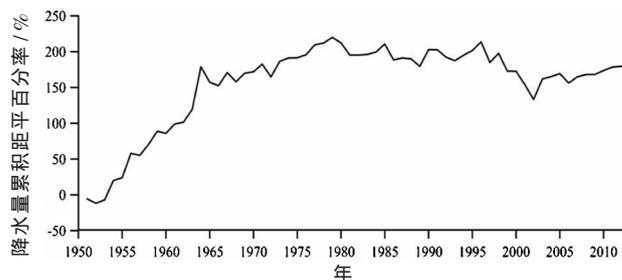


图7 1951~2013年华北地区年降水量累积距平百分率

Fig.7 Change in the annual precipitation cumulative percentage anomaly in the north China

华北地区降水量累积距平百分率序列(见图7),1951~1979年期间,华北地区降水处于增加过程中,显示地区内环境偏湿;1979~1996年期间,华北地区降水变化较为平稳;1996~2002年期间,降水减少;2002年之后,华北地区降水开始有所回升。

5 降水变化子区域划分

为加深对西北与华北地区降水的全面认识,对降水分区是了解降水空间分布特征的有效方法,在分区

表1 旋转前、后11个主分量对年降水量的方差贡献率(%)

Table1 The contribution rate of the first eleven load vector variance of the precipitation using method of a REOF in the northwest and north China

	主分量 1	主分量 2	主分量 3	主分量 4	主分量 5	主分量 6
旋转前	19.084	10.931	7.323	6.226	4.753	3.771
旋转后	10.257	8.24	6.315	6.167	5.558	5.487
	主分量 7	主分量 8	主分量 9	主分量 10	主分量 11	累计贡献
旋转前	3.493	3.129	2.812	2.476	2.401	66.4
旋转后	4.295	4.003	3.824	3.418	2.496	60.06

的基础上分析各子区域降水随时间的变化规律, 能够将降水的区域性特征比较客观、直观地表现出来。

根据研究区内 207 个气象观测站 1960~2010 年降水资料, 利用旋转正交分解法(EOF)对区域内降水进行了分区^[33]。选用前 11 个主分量进行最大方差旋转, 表 1 给出 11 个主分量旋转前和旋转后对降水量场总方差的贡献率。

根据旋转主因子分析原理, 主因子高荷载的地理分布是分区的重要依据, 选择 0.25 作为分区的阈值, 综合前 11 个主分量的分布, 把研究区年降水分为 6 个子区域(图 8 所示), 分别为:

I 区: 北疆地区, 由于青藏高原和天山的阻挡, 主要受盛行西风带的影响, 水汽来源及降水的影响系统明显不同于其他西北地区。

II 区: 南疆地区, 南疆地处敏感的沙漠盆地, 下垫面植被状况差, 降水特少并且变率大。

III 区: 河西走廊地区, 河西走廊区西南有祁连山, 西北有塔克拉玛干沙漠, 降水少, 气候干燥。

IV 区: 青海地区, 青藏高原是东亚天气系统的滋生地, 受到高原积雪和热力状况等的影响, 高原降水也明显不同于其他区域。

V 区: 西北东部及华北北部地区, 该区降水受到亚洲夏季风影响, 但处于季风影响末端范围, 年均降水在 600mm 之下, 降水异常与夏季风强度和位置有关。

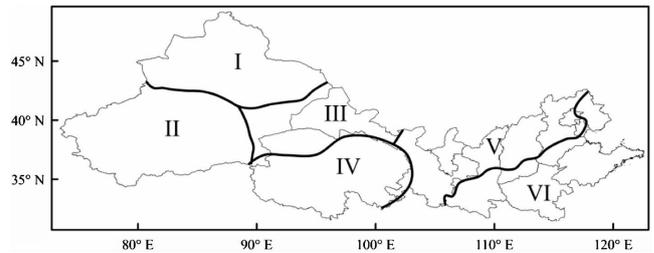


图 8 我国北方地区年降水的 REOF 分区

Fig.8 Division of the annual precipitation variation in the northwest and north China

VI 区: 陕西南部及华北南部地区, 该区降水受夏季季风影响较强, 年均降水在 600mm 之上。

北疆地区, 1951~2013 年间降水呈现线性增加趋势(见图 9a), 增加速率 2.6%/10a; 5 年滑动平均显示, 1950 年代降水偏多, 1960 年代至 1980 年代中期降水

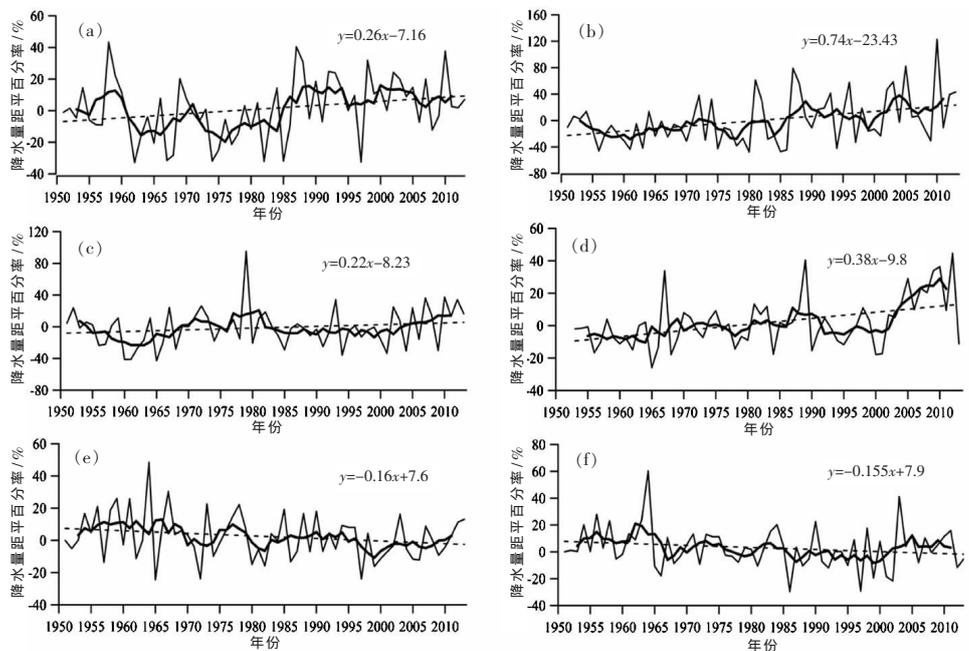


图 9 西北与华北地区各子区域降水量距平百分率变化(1951~2013 年)

(a: 北疆地区; b: 南疆地区; c: 河西走廊地区; d: 青海地区; e: 西北东部及华北北部地区; f: 陕西南部及华北南部地区)

Fig.9 Changes in the annual precipitation percentage anomaly in the six sub-regions

偏少,1980年代末期以后又进入降水偏多的时期。

南疆地区,1951~2013年间降水呈现线性增加趋势(见图9b),增加速率7.4%/10a,是增加速率最快的地区,这可能与南疆地区年降水量偏少,某一年降水异常值会得出较大降水距平有关;5年滑动平均显示:南疆地区在1980年代中期之前降水偏少,在1980年代中期以后降水开始偏多。

河西走廊地区,1951~2013年间降水呈现线性增加趋势(见图9c),增加速率2.2%/10a;5年滑动平均显示,1950年代、1960年代降水偏少,1970年代降水偏多,1980年代、1990年代降水略微偏少,2000年以后降水开始增加。

青海地区,1951~2013年间降水呈现线性增加趋势(见图9d),增加速率3.8%/10a;5年滑动平均显示,1950年代至1960年代中后期降水偏少,1970年代、1980年代降水略微偏多,1990年代降水偏少,2000年之后降水开始明显增加。

西北东部及华北北部地区,1951~2013年间降水呈现线性减少趋势(见图9e),增加速率-1.6%/10a;5年滑动平均显示,1950年代至1970年代降水偏多,1980年代中期降水偏少,1980年代中期至1990年代中期降水略微偏多,之后又进入降水偏少时期。

陕西南部及华北南部地区,1951~2013年间降水呈现线性减少趋势(见图9f),增加速率-1.5%/10a;5年滑动平均显示,1950年代至1980年代中期降水偏多,1980年代中期至2000年降水偏少,2000年之后降水开始回升增多。

趋势系数(见表2)显示,北疆、南疆和青海地区近60a的降水显著增加;河西走廊地区降水增加趋势没有达到显著性水平;西北东部及华北北部、陕西南部及华北南部地区的降水减少趋势也没有达到显著性水平,这应与进入2000年后华北地区降水开

表2 西北与华北地区各子区域年降水的趋势系数

Table2 The trend coefficients of the annual precipitation in the six sub-regions

	I区	II区	III区	IV区	V区	VI区
年	0.254*	0.374**	0.168	0.434**	-0.206	-0.183

*显著性水平 $\alpha=0.05$; **显著性水平 $\alpha=0.01$

始回升有关。

各子区域的降水量累计距平百分率(见图10)显示:

北疆、南疆地区(见图10a,图10b)降水在1987年之前处于减少过程中,1987年之后降水则转变为增加趋势;河西走廊地区(见图10c)降水波动变化,1970年之前降水减少,1970~1983年间降水增加,1983~2001年间降水减少,2001年之后降水增加;青海地区(见图10d)降水在1953~1981年间减少,1981~1989年间降水增加,1989~2001年间降水又减少,2001年

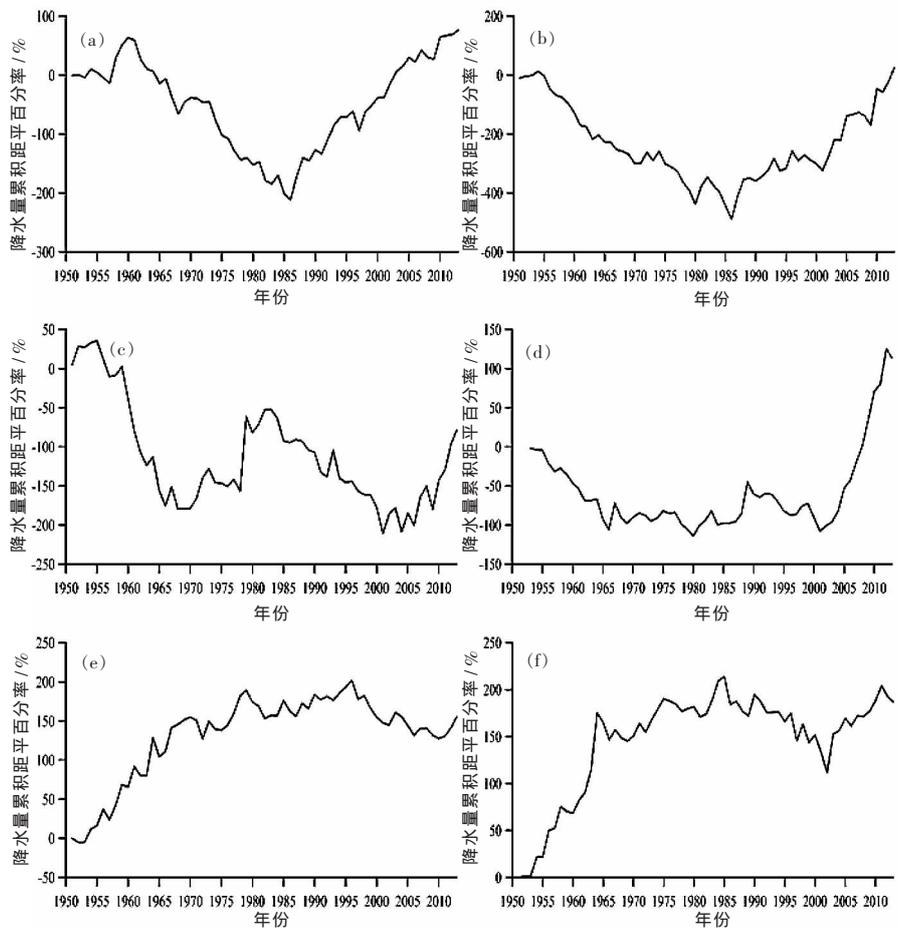


图10 1951~2013年各子区域年降水量累积距平百分率 (a:北疆地区;b:南疆地区;c:河西走廊地区;d:青海地区; e:西北东部及华北北部地区;f:陕西南部及华北南部地区)

Fig.10 Changes in the annual precipitation cumulative percentage anomaly in the six sub-regions

之后降水开始迅速增加;西北东部及华北北部地区(见图 10e)降水在 1996 年之前增加,1996 年之后降水减少;陕西南部及华北南部地区(见图 10f)1985 年之前降水增加,1985~2002 年降水减少,2002 年之后降水又增加。

西北与华北地区降水量累计距平百分率呈现明显相反的变化(见图 5,图 7),与线性变化趋势一致,表现出降水变化“反(错)位相”的特征。由降水各子区域的降水量累积距平百分率的变化(见图 10)及其之间的相关性(见表 3),得出北疆、南疆、河西走廊、青海地区的降水与西北东部及华北北部、陕西南部及华北南部地区的降水成反相关变化,更详细体现出西北与华北地区降水变化“反(错)位相”特征的空间分布。

表3 各子区域降水量累积距平百分率相关系数

Table3 Correlation coefficients of the annual precipitation cumulative percentage anomaly in the six sub-regions

	I 区	II 区	III 区	IV 区	V 区	VI 区
I 区	1					
II 区	0.86**	1				
III 区	0.02	0.407**	1			
IV 区	0.626**	0.778**	0.275*	1		
V 区	-0.526**	-0.757**	-0.686**	-0.353**	1	
VI 区	-0.452**	-0.647**	-0.643**	-0.14	0.901**	1

* 显著性水平 $\alpha=0.05$; ** 显著性水平 $\alpha=0.01$

6 结果与讨论

(1)近 60 年来,西北与华北地区年均降水量以华北东南部、陕西南部最多;新疆东南部、甘肃西部、青海西部最少,呈“东多西少”分布格局。

(2)1980 年代中期起,西北地区(尤其青海与新疆西部)降水明显增加;1980 年代初期,华北地区降水开始减少;两地区呈“反(错)位相”特征,其变化过渡地区在 104°E 附近。西北地区降水偏多时期也是降水年际相对变化较大时期,“反(错)位相”特征在降水量累积距平上表现明显。

(3)受地形、地理位置等影响,西北与华北地区可分为北疆、南疆、河西走廊、青海地区的降水增加区域及西北东部及华北北部、陕西南部及华北南部地区的降水减少区域;更细致表现降水“反(错)位相”特征。

我国位于著名的东亚季风区,季风系统直接控制降水空间和时间分布特征^[34-35]。当东亚夏季风环流偏强(弱)时,盛行在我国东部的西南气流偏强(弱),推进到

更偏北位置(滞留在南方),伴随着异常南(北)风盛行在东部,常常造成东部季风雨带位置偏北(南)^[36-37]。近几十年,亚洲夏季风标准化指数^[38]、香港站大气降水 $\delta^{18}\text{O}$ 记录、洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 变化都显示亚洲夏季风长期减弱的趋势^[39],导致我国华北地区降水减少。而 1980 年代中期之后,印度季风有显著增强的趋势^[40],印度洋东部海域暖池的暖湿水汽可经由阿拉伯海,翻越昆仑山脉和帕米尔高原到达我国西北地区,也由孟加拉湾,穿越雅鲁藏布大峡谷到达青海地区^[41];增强的印度季风可将更多的水汽输送到我国西北地区,导致我国西北地区降水增加。因此,亚洲季风内部印度季风和东亚季风的位相关系应是近几十年我国西北与华北地区降水“反(错)位相”变化特征的原因之一。

亚欧大陆中纬度地区受到亚洲季风环流和盛行西风环流系统的影响^[12],这也是我国高空主要的大气环流系统格局。在全球变暖的近 60a 的年代际尺度上,盛行西风影响区域和亚洲季风影响区域降水/湿度变化上“反(错)位相”的特征在全新世以来千年尺度同样存在^[42]。在百年至千年时间段内,在我国西部内陆干旱区的树木年轮,东部季风影响区的部分树木年轮、历史文献记录是能够反映区域内降水/湿度变化的可信代用资料,未来进一步讨论盛行西风影响区和亚洲季风影响区百年至千年间的降水/湿度演变,可增加对我国这两大气候区域内气候变化空间格局的认识了解。

参考文献:

- [1] 张建云,章四龙. 气候变化或异常对水文极端事件的影响[J]. 水科学进展, 2000,11(增刊):98-103. (ZHANG Jianyun, ZHANG Silong. The impact of climate or exception to hydrological extreme events [J]. Advance in Water Science, 2000,11(Suppl 1):98-103. (in Chinese))
- [2] 夏军,谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学, 2002,24(3):1-7. (XIA Jun, TAN Ge. Hydrological science towards global change: progress and challenge [J]. Resources Science, 2002,24(3):1-7. (in Chinese))
- [3] 刘昌明. 黄河流域水循环演变若干问题的研究[J]. 水科学进展, 2004,15(5):608-614. (LIU Changming. Study of some problems in water cycle changes of the Yellow River basin [J]. Advance in Water Science, 2004,15(5):608-614. (in Chinese))
- [4] 刘春霖. 气候变化对陆地水循环影响研究的问题 [J]. 地球科学进展, 2004,19(1):115-119. (LIU Chunzhen. The issues in the impact study of climate change on the terrestrial hydrological cycle[J]. Advance in Earth Science, 2004,19(1):115-119. (in Chinese))
- [5] 符淙斌,马柱国. 全球变化与区域干旱化[J]. 大气科学, 2008,32(4): 751-760. (FU Congbin, MA Zhuguo. Global change and regional aridification [J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2008,32

- (4):751-760. (in Chinese))
- [6] 黄荣辉,周连童. 我国重大气候灾害特征形成机理和预测研究[J]. 自然灾害学报, 2002,11(1):1-9. (HUANG Ronghui, ZHOU Liantong. Research on the characteristics, formation mechanism and prediction of severe climate disasters in China [J]. Journal of Natural Disaster, 2002,11(1):1-9. (in Chinese))
- [7] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003,23(2):152-164. (SHI Yafeng, SHEN Yongping, LI Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm wet in north-west China [J]. Quaternary Sciences, 2003,23(2):152-164. (in Chinese))
- [8] TRENBERTH K E, DAI A, RASMUSSEN R M, et al. The changing character of precipitation [J]. Bull Amer Meteor Soc, 2003,84: 1205-1217.
- [9] 符淙斌,安芷生,郭维栋. 我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究: I: 主要研究成果[J]. 地球科学进展, 2005,20(11):1157-1167. (FU Congbin, AN Zhisheng, GUO Weidong. Evolution of life-supporting environment in our nation and the predictive study of aridification in northern China: I: main scientific issues and achievements [J]. Advances in Earth Science, 2005,20(11):1157-1167. (in Chinese))
- [10] IPCC. Climate change 2013: The physical basis[C]//Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [11] 姚惠明,吴永祥,关铁生. 中国降水演变趋势诊断及新事实[J]. 水科学进展, 2013,24(1):1-10. (YAO Huiming, WU Yongxiang, GUAN Tiesheng. Diagnose of precipitation evolution trend in China and new facts[J]. Advance in Water Science, 2013,24(1):1-10. (in Chinese))
- [12] 于革,王苏民. 欧亚大陆湖泊记录和两万年来大气环流变化[J]. 第四纪研究, 1998,(4):360-367. (YU Ge, WANG Sumin. Eurasian lake-level records and changes in patterns of atmospheric circulations during the last 20000 years [J]. Quaternary Sciences, 1998,(4):360-367. (in Chinese))
- [13] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002,24(3):219-226. (SHI Yafeng, SHEN Yongping, HU Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002,24(3):219-226. (in Chinese))
- [14] 李栋梁,魏丽,蔡英,等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003,25(2):135-142. (LI Dongliang, WEI Li, CAI Ying, et al. The present facts and the future tendency of the climate change in northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003,25(2):135-142. (in Chinese))
- [15] 宋连春,张存杰. 20世纪西北地区降水量变化特征 [J]. 冰川冻土, 2003,25(2):143-148. (SONG Lianchun, ZHANG Cunjie. Changing feature of precipitation over northwest China during the 20th century [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003,25(2):143-148. (in Chinese))
- [16] 胡汝骥,樊自立,王亚俊,等. 近 50a 新疆气候变化对环境影响评估[J]. 干旱区地理, 2001,24(2):97-103. (HU Ruji, FAN Zili, WANG Yajun, et al. Assessment about the impact of climate change on environment in Xinjiang since recent 50 years [J]. Arid Land Geography, 2001,24(2):97-103. (in Chinese))
- [17] 胡汝骥,马虹,樊自立,等. 近期新疆湖泊变化所示的气候趋势[J]. 干旱区资源与环境, 2002,16(1):20-27. (HU Ruji, MA Hong, FAN Zili, et al. The climate trend demonstrated by changes of the lakes in Xinjiang since recent years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2002,16(1):20-27. (in Chinese))
- [18] 马柱国,符淙斌. 1951~2004年中国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报, 2006,51(20):2429-2439. (MA Zhuguo, FU Congbin. Some evidence of drying trend over northern China from 1951 to 2004 [J]. Chinese Science Bulletin, 2006,51(20):2429-2439. (in Chinese))
- [19] 马柱国,黄刚,甘文强,等. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征[J]. 大气科学, 2005,29(5):671-681. (MA Zhuguo, HUANG Gang, GAN Wenqiang et al. Multi-scale temporal characteristics of the dryness/wetness over northern China during the last century[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005,29(5):671-681. (in Chinese))
- [20] 任国玉,吴虹,陈正洪. 中国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000,11(3):322-330. (REN Guoyu, WU Hong, CHEN Zhenghong. Spatial patterns of change trend in rainfall of China[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2000,11(3):322-330. (in Chinese))
- [21] 王绍武. 现代气候学研究进展 [M]. 北京: 气象出版社, 2001. (WANG Shaowu. Advances of Research in Modern Climate [M]. Beijing: Chinese Meteorological Press, 2001. (in Chinese))
- [22] 陈烈庭. 华北地区夏季降水年际和年代际变化的地域性特征[J]. 高原气象, 1999,18(4):477-485. (CHEN Lieting. Regional features of interannual and interdecadal variations in summer precipitation anomalies over north China [J]. Plateau Meteorology, 1999,18(4): 477-485. (in Chinese))
- [23] 杨修群,谢倩,朱益民,等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J]. 地球物理学报, 2005,48(4):789-797. (YANG Xiuqun, XIE Qian, ZHU Yimin, et al. Decadal-to-interdecadal variability of precipitation in north China and associated atmospheric and oceanic anomaly patterns [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005,48(4):789-797. (in Chinese))
- [24] 丁一汇,王绍武,郑景云,等. 中国气候[M]. 北京: 科学出版社, 2013. (DING Yihui, WANG Shaowu, ZHENG Jinyun, et al. Chinese Climate [M]. Beijing: China Science Press, 2013. (in Chinese))
- [25] 张国宏,郭慕萍,赵海英. 近 45 年山西省降水变化特征[J]. 干旱区研究, 2008,25(6):858-862. (ZHANG Guohong, GUO Muping, ZHAO Haiying. Study on the change of precipitation in Shanxi Province since recent 45 years [J]. Arid Zone Research, 2008,25(6):858-862. (in Chinese))
- [26] 向亮,郝立生,安月改,等. 51a 河北省降水时空分布及变化特征[J]. 干旱区地理, 2014,37(1):56-65. (XIANG Liang, HAO Lisheng, AN Yuegai, et al. Time-spatial distribution and variational characteristics of rainfall in Hebei province in 51 years [J]. Arid Land

- Geography, 2014,37(1):56–65. (in Chinese))
- [27] 孙卫国,程炳岩. 河南省近50年来旱涝变化的多时间尺度分析[J]. 南京气象学报, 2000,23(2):251–255. (SUN Weigu, CHENG Bingyan. Multiple time scale analysis of drought and flood variations in Henan during the last 50 years [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000,23(2):251–255. (in Chinese))
- [28] 董旭光,顾宗伟,孟祥新,等. 山东省近50年来降水事件变化特征[J]. 地理学报, 2014,69(5):661–671. (DONG Xuguang, GU Zongwei, MENG Xiangxin, et al. Change features of precipitation events in Shandong province from 1961 to 2010 [J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(5):661–671. (in Chinese))
- [29] 段丽瑶,杨艳娟,李明财. 近50年环渤海地区夏季降水时空变化特征[J]. 高原气象, 2013,31(1):243–249. (DUAN Liyao, YANG Yanjuan, LI Mingcai. Spatial-temporal changes of summer precipitation in the Bohai rim in recent 50 years [J]. Plateau Meteorology, 2013,31(1):243–249. (in Chinese))
- [30] 汤国安,杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006. (TONG Guoan, YANG Xi. ArcGIS Geographic Information System Spatial Analysis Experiment Tutorial [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese))
- [31] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations [J]. Int J Climatol, 1996,16:361–377.
- [32] Von Storch, H., F. W. Zwiers. Statistical Analysis in Climate Research [M]. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [33] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999. (WEI Gengying. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology [M]. Beijing: Meteorology Press, 1999. (in Chinese))
- [34] 周淑珍. 气象学与气候学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. (ZHOU Shuzhen. Meteorology and Climatology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2005. (in Chinese))
- [35] 任美镛. 中国自然地理纲要 [M]. 北京: 商务印书馆, 1982. (REN Meie. Outline of Physical Geography in China [M]. Beijing: Commercial Press, 1982. (in Chinese))
- [36] ZHAO Ping, YANG Song, Yu Rucong. Long-term changes in rainfall over eastern China and large-scale atmospheric circulation associated with recent global warming [J]. Journal of Climate, 2010,23:1544–1562.
- [37] ZHAO Ping, ZHOU Zijiang. An east Asian subtropical summer monsoon index and its relationship to summer rainfall in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2009,23:18–28.
- [38] 李建平, 曾庆存. 一个新的季风指数及其年际变化和雨量的关系[J]. 气候与环境研究, 2005,10(3):351–365. (LI Jianping, ZENG Qincun. A new monsoon index, its inter-annual variability and relation with monsoon precipitation [J]. Climatic and Environmental Research, 2005,10(3):351–365. (in Chinese))
- [39] 王涛,郭媛,钟亦鸣,等. 近50a来我国不同地质载体的 $\delta^{18}O$ 变化分析[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2015,7(6):557–566. (WANG Tao, GUO Yuan, ZHONG Yiming, et al. Variations of $\delta^{18}O$ from different geological isotopic carrier in the past 50 years in China [J]. Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science), 2015,7(6):557–566. (in Chinese))
- [40] 白庆梅. 亚洲干旱/半干旱区近几十年来气候变化 [D]. 兰州: 兰州大学, 2010. (BAI Qingmei. Region Change of Asian Arid and Semiarid Area in Recent Years [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010. (in Chinese))
- [41] Staubwasse, M., Weiss, M. Holocene climate and cultural evolution in late prehistoric-early historic west Asia [J]. Quaternary Research, 2006,66:372–387.
- [42] Fahu Chen, Zicheng Yu, Meilin Yang, et al. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history [J]. Quaternary Science Reviews, 2008,27:351–356.

Comparison of Recent Precipitation Tendency between Northwest and North China

WANG Tao^{1,2,3}, LUO Yan¹, ZHONG Yiming¹, ZHEN Wenfang¹

(1. Anhui Public Meteorological Service Center, Hefei 230031, China;

2. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081, China;

3. Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, Chinese University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Applying precipitation data from the meteorology stations during 1951–2013, the recent precipitation tendency between the Northwest and North China were analyzed. The conclusions are as follows: The spatial distribution of the annual precipitation is that the quantity is greater in the east than that in the west. The precipitation tendency is increasing obviously in the Northwest China, especially in Qinghai and Xinjiang, and the tendency is decreasing in the North China, the borderline between increasing and decreasing is nearby $104^{\circ}E$. The increasing tendency in the Northwest China started in the mid-1980s and the decreasing tendency in the North China started in the early 1980s. The anti-of-phase characteristics are also obviously by precipitation cumulative percentage anomaly. The whole area (Northwest and North China) is divided into six sub-regions related to different terrain, geographical position and circulation system, which can help to deeply understand the anti-of-phase characteristics in the Northwest and North China.

Key words: precipitation tendency; Northwest and North China; anti-of-phase; sub-region; Asian monsoon