

黄河中游“三花间”区气候变化特征

王记芳¹ 程炳岩² 朱业玉¹ 李 荣³

(1. 河南省气候中心, 郑州 450003; 2. 重庆市气候中心; 3. 河南省郑州市气象局)

提 要: 利用黄河中游地区三门峡至花园口区间(简称“三花间”区)21个气象站1955—2006年的气温和降水量资料,采用滑动平均、趋势分析、小波变换和Mann-Kendall等方法,探讨了黄河“三花间”区气温和降水量的年际和年代际变化特征。结果表明:(1)近50多年来“三花间”区年平均气温的年代际变化为1950年代后期至1980年代为偏冷期,1990年代之后气温明显升高,冷暖转折的突变点在1994年,2001年以来是近50多年来最暖的时期;年及冬、春、秋三季平均气温均呈上升趋势,尤以冬季增温开始最早,增温最明显。(2)降水量的年代际变化为1950年代后期至1960年代、2001年之后为多雨期,1970年代至1990年代为少雨期,其中以1990年代降水最少;各季降水量除冬季外均呈减少趋势,以夏季减少最明显。(3)黄河“三花间”区气候总体向暖干化方向发展,但2003年之后进入了多雨期,未来几年气候存在着向暖湿化变化的可能性。

关键词: 气温 降水 年际变化 年代际趋势

Characteristics of Climate Change in “Sanhuajian” Area in the Middle Reaches of Yellow River

Wang Jifang¹ Cheng Bingyan² Zhu Yeyu¹ Li Rong³

(1. Climate Center of Henan Province, Zhengzhou 450003;
2. Climate Center of Chongqing; 3. Zhengzhou Meteorological Observatory)

Abstract: By adopting the methods of moving average, trend analysis, wavelet transform and Mann-Kendall method, the characteristics of inter-annual and inter-decadal changes of precipitation and temperature in the area from Sanmenxia to Huayuankou (hereafter abbreviated to “Sanhuajian” area) in the middle reaches of Yellow River are analyzed with precipitation and temperature data of 21 weather stations in this area from 1955 to 2006. The results are

本文得到河南省气象科学技术研究项目“气候变化对黄河中游三花间水资源影响研究”(z200607)、河南省科技攻关计划项目“气候变化和旱涝异常对河南水资源的影响”(072102320006)共同资助

收稿日期: 2008年3月4日; 修定稿日期: 2008年9月26日

as follows: Firstly, the inter-decadal change of average temperature is getting warm in the recent 50 more years, the late 1950s to 1980s is a cold period, whereas after 1990s is a warm period, the transition from cold to warm occurred in 1994. The period from 2001 to now is the warmest; The annual and seasonal mean temperatures in winter, spring and autumn all show the trend of increasing, and occurrence of warming begins especially early and remarkably in winter. Secondly, The inter-decadal change of precipitation is that the late 1950s to 1960s and the years after 2001 are rainy periods, whereas 1970s to 1990s is a less rain period, and particularly, the precipitation in 1990s is the least; Seasonal precipitations all show the trend of decreasing except winter, and it decreases especially remarkably in summer. Thirdly, the main trend of climate change in “Sanhuajian” area is becoming warm and dry, but the fact that more precipitation appears after 2003 may indicates the possibility of warming and humidifying in the coming years.

Key Words: temperature precipitation inter-annual change inter-decadal trend

引 言

自 1980 年代以来,气候变化成为全球关注的热点问题,许多气候学家对此做了不少研究。世界政府间气候变化专门委员会 IPCC 第四次气候变化评估报告指出,随着大气中 CO_2 浓度的明显增大,在过去的 100 年中全球平均气温升高了 0.74°C ^[1]。中国近百年的温度变化趋势与北半球大致相似^[2],中国年平均气温升高了 $0.5\sim 0.8^\circ\text{C}$,近 50 年变暖尤其明显^[1]。丁一汇^[3]和陈隆勋^[4-5]等曾分别研究了 1860—1989 年和 1921—2002 年中国的气候变化,结果表明,全国平均温度变暖,具有明显的区域性,其中北方大部地区变暖,增温最明显的季节是冬季,年降水量以 $12.7\text{mm}/10\text{a}$ 的倾向率递减。玉苏甫·阿布都拉^[6]和傅玮东^[7]等研究发现,近 40 多年来新疆部分地区年平均气温呈上升趋势,降水量总体呈增多趋势。刘敏^[8]等认为辽宁铁岭市近 45 年气候变化特点为温度呈上升、降水略减少的趋势。向辽元^[9]等发现近 55 年来中国大陆地区变冷区域显著缩小,变冷区域的变冷趋势明显减弱,年平均气温在 1980 年代中后期至 1990 年代前期发生了

突变,同一区域气温发生突变时,冬季气温突变时间较其它季节均偏早。王建兵^[10]等研究也发现,甘肃西南部地区年平均气温在 1990 年代初有暖突变。

全球变暖给中国大范围气候带来了明显的影响,而地处中纬度的黄河流域也对此十分敏感。自 1980 年代以来,黄河流域的干旱化趋势十分明显,黄河下游频繁出现断流。黄河中游地区三门峡至花园口区间(以下简称“三花间”区)处于黄河中游的最下游,位于暖温带半湿润、半干旱气候区,属黄河流域降水量较为丰沛的地区,是黄河中游的重要水源区。因此,分析该地区的气候变化特征,对于流域区间的综合治理和水资源的合理开发利用,制订水资源规划乃至遏制水资源短缺和改善生态环境等都有着非常重要的意义。

1 资料与方法

“三花间”区位于 $33^\circ 47' \sim 36^\circ 10' \text{N}$ 、 $111^\circ 02' \sim 113^\circ 39' \text{E}$ 之间,包括山东南南部和河南西部的部分地区,流域面积 4.16 万平方公里。选用区间代表性较好、且资料序列较长的 21 个气象站(其中山西 6 个,河南 15 个)1955—2006 年的气温、降水量资料,采用

常规统计方法、5年滑动平均、趋势分析、小波变换和 Mann-Kendall 等方法对年及四季平均气温、降水量的变化规律进行了分析。季节划分标准为,冬季12月至次年2月、春季3—5月、夏季6—8月、秋季9—11月。

趋势分析是利用计算的气象要素的时间序列,以时间(t)为自变量,要素 y 为因变量,建立一元回归方程: $y(t)=a+bt$,其中 $b \times 10$ 为变化倾向率, b 值的符号反映上升或下降的变化趋势;多年平均值使用1955—2006年平均,30年平均使用WTO规定的1971—2000年的标准气候值。

小波分析亦称多分辨率分析^[11],被认为是傅里叶分析方法的突破性进展。小波变换实际上是将一个一维信号在时间和频率两个方向上展开,这样就可以对系统的时频结构进行细致的分析,提取有价值的信息。它不仅能反映出信号在时频域上的总体特征,还能提供局部化的信息,既可给出信号变化的时间尺度,也可以显示出信号变化的具体位置,还具有对突变点的诊断能力,因此,近年来小波分析在气候变化分析和气候预测方面得到了广泛应用^[12-14]。

2 气温变化特征

2.1 年平均气温

近50余年来黄河“三花间”区年平均气温线性上升趋势明显(图1),变化倾向率为 $0.18^{\circ}\text{C}/10$ 年。从图1、表1可以看出:“三花间”区年平均气温具有明显的冷暖阶段性转折变化,在较长时间尺度上,利用 Mann-Kendall 法检测出的冷暖转折突变点在1994年,1994年以前为偏冷阶段,1994年之后气温明显偏高(1994年通过 $\alpha=0.05$ 的暖突变)。在相对较短时间尺度上,年平均气温变化经历了两个偏冷阶段和两个偏暖阶段,两个偏冷阶段分别出现在1955—1958年、

1967—1993年;两个偏暖阶段分别出现在1959—1966年、1994年至今。可见“三花间”区年平均气温的阶段变化具有多层次性。就年代变化统计而言,1950年代后期至1980年代变化比较平缓,比多年平均值偏低,其中1950年代后期为最冷时段;1990年代以后气温明显升高,其中2001年以来为最暖时段。最暖年为1999年和2006年(14.1°C),最冷年为1956年(11.7°C)。

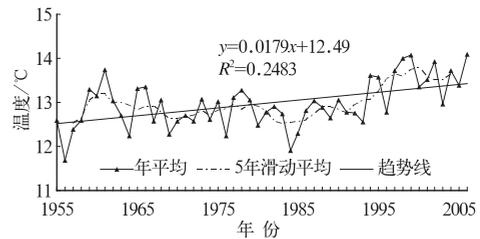


图1 1955—2006年“三花间”年平均气温变化图($^{\circ}\text{C}$)

为了进一步探讨近50余年来黄河“三花间”区年平均气温的多时间尺度变化特征,对年平均气温的时间序列进行了小波变换分析(图2)。图中负值中心表示冷中心,正值中心表示暖中心,零值线表示冷暖的转折点,也称突变点。由图可见,1955—2006年,黄河“三花间”区年平均气温各种时间尺度的周期性振动在时间域中的分布存在明显差异,2~3年的周期振动在时间域中对应的突变点比较多,最强的暖中心位于1960年代初;4~5年的周期振动出现了6个冷暖交替的时期,5个冷暖交替突变点的具体位置分别在1959年附近、1968年附近、1974年附近、1980年附近和1994年附近,与此相对应的是1959年以前、1968—1974年和1980—1994年的年平均气温偏低期,1959—1968年、1974—1979年和1994年以后的年平均气温偏高期;5~10年的周期振动在时域中的表现为4个冷暖交替的时期,3个冷暖交替突变点的具体位置分别在1961年附近、1970年附近

和 1994 年附近,与此对应的是 1961 年以前和 1970—1994 年的偏冷期,1961—1970 年和 1994 年以后的偏暖期;对于 10 年以上各种时间尺度的周期振动在整个时间域中均表现为由偏冷向偏暖阶段的变化,只是冷暖转折突变点的位置不同,先后出现在 1983—1993 年间,如对于 15 年左右的周期振动,冷暖转折点在 1990 年前后,表现为 1990 年以前的偏冷期和 1990 年以后的偏暖期。值得

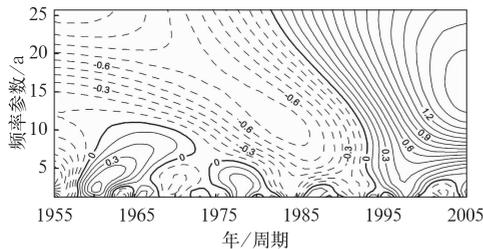


图 2 “三花间”年平均气温距平小波变换(间隔 0.1)

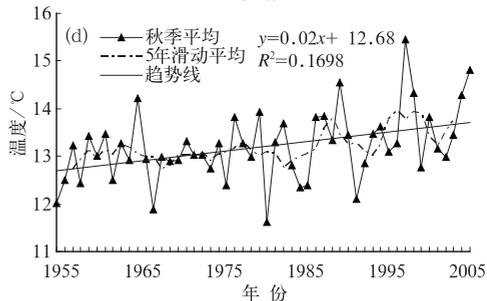
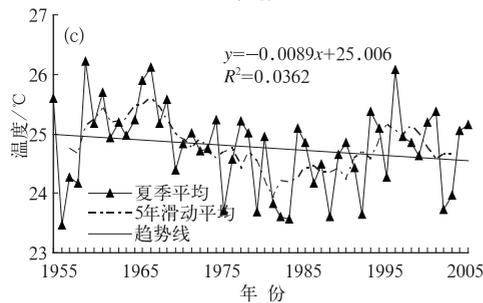
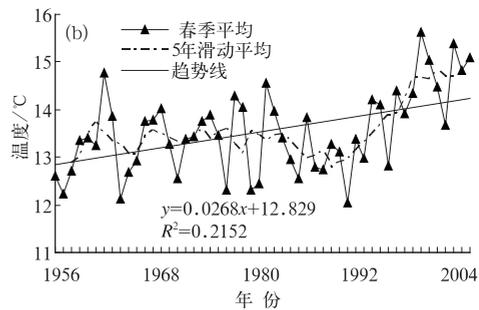
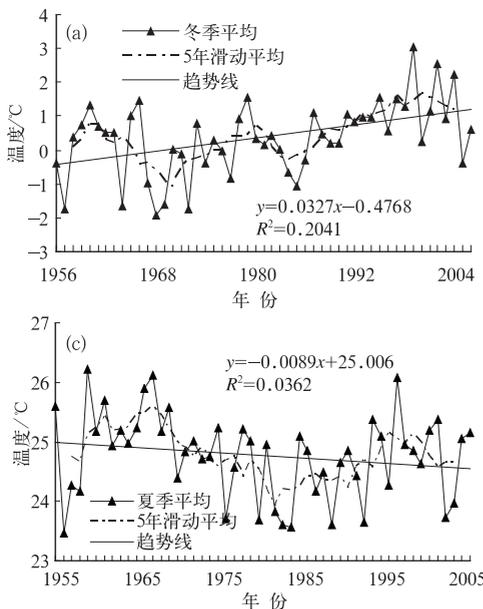


图 3 1955—2006 年“三花间”季平均气温变化图(°C)

春季气温也具有明显的增暖趋势,增温率为 $0.27^{\circ}\text{C}/10$ 年,增温幅度仅次于冬季。春季气温总体上也经历了偏冷与偏暖两个阶段的变化,1993 年之前的偏冷阶段内平均气温略低于

注意的是,对于整个频率域中各种时间尺度的周期振动,在时间域中 2005 年后均表现为偏暖期,因此,黄河“三花间”区年平均气温在 2005 年以后继续增暖的可能性较大。

2.2 季平均气温

近 50 余年黄河“三花间”区冬季增温剧烈(图 3),增温率高达 $0.33^{\circ}\text{C}/10$ 年,为全年增幅最大的季节。冬季气温变化总体上看经历了偏冷和偏暖两个阶段,1986 年之前的偏冷阶段温度偏低 0.5°C ,其中 1960 年代温度偏低 0.6°C ,是近 50 多年来最冷的时期,冬季气温最低值出现在 1968 年(-1.9°C);1986 年之后的偏暖阶段温度偏高 0.7°C ,尤其在 1990 年代之后增温幅度较大,目前仍保持在较高水平,冬季气温的最高值出现在 1999 年(3.0°C)。

多年平均值,其中 1950 年代后期为最冷时段,1960 至 1980 年代变化不大,春季气温最低值出现在 1991 年(12.0°C);1993 年之后的偏暖阶段增温明显,目前仍处于上升阶段,2001 年以来为

近 50 余年来最暖时段,春季气温的最高值出现在 2000 年(15.6℃)。

夏季气温略有下降,但趋势不明显,降温率仅为 0.09℃/10 年。夏季气温总体上经历了偏暖—偏冷—偏暖的阶段性交替变化,1959—1969 年、1994 年以来为两个相对偏暖阶段,1970—1993 年则为相对偏冷阶段。夏季气温的最高值出现在 1959 年(26.2℃),最低值出现在 1956 年(23.5℃)。

秋季升温缓慢,增温率仅为 0.2℃/10 年,是升温最小的季节。秋季气温 1986 年之前变化比较平缓,为偏冷期,1986 年之后为偏暖期。从年代变化来看,1950 年代后期至 1960 年代偏低,其中 1950 年代后期为最冷时段;1970 至 1980 年代正常;1990 年代之后偏高,其中 2001 年以来为最暖时段。秋季气温的最高值出现在 1998 年(15.4℃),最低值出现在 1981 年(11.6℃)。

表 1 不同年代年及四季平均气温及与多年平均值的距平(℃)

时段	年		冬季		春季		夏季		秋季	
	气温	距平								
1955—1960 年	12.6	-0.4	0.1	-0.3	12.9	-0.6	24.8	0	12.8	-0.4
1960 年代	12.9	-0.1	-0.2	-0.6	13.4	-0.1	25.3	0.5	13	-0.2
1970 年代	12.8	-0.2	0.1	-0.3	13.3	-0.2	24.7	-0.1	13.2	0
1980 年代	12.7	-0.3	0.1	-0.3	13.3	-0.2	24.3	-0.5	13.2	0
1990 年代	13.3	0.3	1.2	0.8	13.8	0.3	24.8	0	13.4	0.2
2001—2006 年	13.6	0.6	1.2	0.8	14.7	1.2	24.7	-0.1	13.7	0.5

从以上分析可知,近 50 余年来,黄河中游“三花间”区年及冬、春、秋季气温均呈现上升趋势(相关系数均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),其中冬季增暖最明显,春季次之,秋季增温缓慢,而夏季气温呈微弱的下降趋势。就年代变化而言,年及冬、春、秋季气温均是从 1990 年代起明显升高,但升温的具体时间有所不同,其中冬季和秋季气温是从 1987 年开始明显升高,而年及春季气温是从 1994 年开始明显升高。进入 21 世纪以来,黄河中游“三花间”气温继续升高,除冬季气温与 1990 年代持平,夏季略偏低外,年、春季和秋季的平均气温均比 1990 年代明显升高,是近 50 多年来最高的,这说明 2001—2006 年是近 50 多年来黄河中游“三花间”区最暖的时期。

3 降水变化特征

3.1 年降水量

1955—2006 年黄河“三花间”区年降水量呈明显减少趋势,递减率为 14.24mm/10a。降水量的年际变化特点为 1956—1964

年、2003 年之后为偏多期,1965—2002 年为偏少期;年代际变化为 1950 年代后期至 1960 年代、2001—2006 年为多雨期,其中 1950 年代后期是降水最丰沛的时期;1970 年代至 1990 年代为少雨期,其中 1990 年代是降水量最少的时期。年降水量的最多值出现在 2003 年(947.1mm),最少值出现在 1997 年(356.5mm)(图 4、表 2)。

对黄河中游“三花间”区年平均降水量距平百分率的时间序列进行小波变换(图 5),图中负值中心表示干中心,正值中心表示湿中心,零值线表示干湿的转折点,也称突变点。由图 5 可见,黄河中游“三花间”区年平均降水量变化,存在着 2~3 年的周期性振动,且 1990 年以前以 2~3 年的周期振动为主,干湿的突变点比较多,1990 年以后以 6 年左右的周期振动较为明显;4~7 年时间尺度的周期振动在时间域中表现为 5 个干湿阶段交替,干湿交替突变点的具体位置分别在 1964 年附近、1980 年附近、1988 年附近和 2001 年附近,与此相对应的是 1964 年以前、

1980—1988 年和 2001 年以后的偏湿期, 1964—1980 年和 1988—2001 年的偏干期; 10~15 年时间尺度的周期振动在时间域中则出现了 3 个干湿阶段交替, 干湿交替点的具体位置分别在 1965 年附近和 2000 年附近, 与此相对应的是 1965 年以前和 2000 年以后的偏湿期、1965~2000 年的偏干期; 15 年以上各种时间尺度的周期振动在时间域中均表现为偏湿向偏干阶段的转换, 但转折点的时间位置不同, 大致出现在 1973—1979 年间, 如 20 年时间尺度的周期振动, 在时间域中表现为 1975 年以前的偏湿期和 1975 年以

后的偏干期。由于 2000 年以后, 15 年以下各种时间尺度的降水量周期振动均处于降水偏多的时期, 黄河中游“三花间”区降水量在 2006 年以后继续增加的可能性较大。

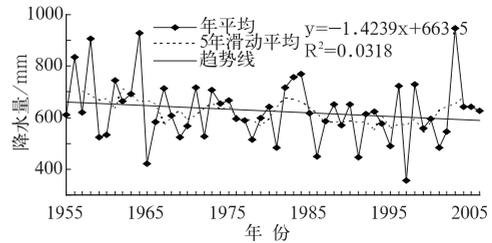


图 4 1955—2006 年“三花间”年降水量变化图(mm)

表 2 不同年代年及四季降水量及与多年平均值的距平(mm)

时段	年		冬季		春季		夏季		秋季	
	降水量	距平								
1955—1960 年	672.5	46.7	30.6	3.2	114.1	-2	424.8	94	106.5	-45.2
1960 年代	644.4	18.6	20.5	-6.9	131	14.9	301	-29.8	191.9	40.2
1970 年代	621.3	-4.5	313.6	108.4	-7.7	333.5	2.7	148.5	-3.2	
1980 年代	625.2	-0.6	30.8	3.4	118.6	2.5	321.6	-9.2	153.7	2
1990 年代	571.1	-54.7	18.8	-8.6	118	1.9	307	-23.8	127.5	-24.2
2001—2006 年	647.4	21.6	39.2	11.8	98.9	-17.2	336.6	5.8	172.3	20.6

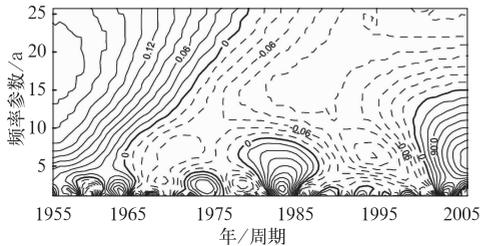


图 5 “三花间”年降水量距平百分率小波变换(间隔 0.2)

3.2 季降水量

黄河中游“三花间”区冬季降水略有增加, 但趋势不明显(图 6), 冬季平均降水量递增率仅为 1.43mm/10a。冬季降水总量较少, 对全年降水变化趋势影响不大。冬季降水量的年代际变化为 1960 年代和 1990 年代偏少, 其中 1990 年代是降水量最少的时期; 其余年代偏多, 其中 2001—2006 年为降水量

最多的时期。冬季降水的最多年为 1990 年(96.3mm), 最少年为 1963 年(3.5mm)。

春季降水略有减少, 递减率为 2.94mm/10a。春季降水量的年代际变化为 1960 年代、1980 年代和 1990 年代偏多, 其中 1960 年代是近 50 余年来降水最多的时期; 其余年代偏少, 其中 2001—2006 年是春季降水量最少的时期。春季降水的最多值为 1964 年(260.8mm), 最少值为 2001 年(34.9mm)。

夏季降水减少趋势明显, 递减率为 10.82mm/10a。本区降水主要集中在夏季, 夏季降水减少在年降水减少中贡献最大。夏季降水的阶段性变化特点是: 1950 年代后期、1970 年代后期至 1980 年代前期降水偏多, 1950 年代末至 1970 年代前期、1980 年代中期至本世纪初偏少, 2003 年之后又偏多。就年代际变化而言, 1960 年代、1980 年代和

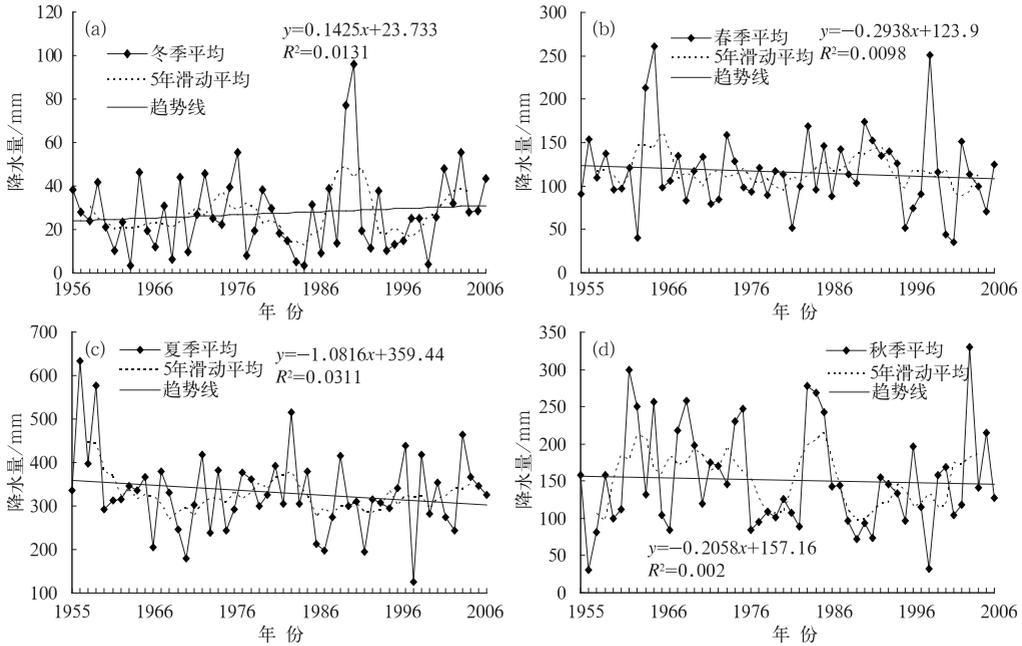


图 6 1955—2006 年“三花间”季降水量变化(mm)

1990 年代偏少,其中 1960 年代是最干旱少雨的时期;其余年代降水偏多,其中 1950 年代后期是降水最充沛的时期。夏季降水的最大值为 1956 年(633.0mm),最小值为 1997 年(124.7mm)。

秋季降水略有减少,递减率仅为 2.06 mm/10a。秋季降水的年代际变化特点是:1950 年代后期、1970 年代和 1990 年代偏少,其中 1950 年代后期是降水量最少的时期;其余年代偏多,其中 1960 年代是降水量最多的时期。秋季降水的最大值为 2003 年(329.4 mm),最小值为 1956 年(30.4mm)。

综合上述:近 50 余年来,黄河中游“三花间”降水量呈明显减少趋势,其中夏季减少幅度最大,春、秋季较小,而冬季降水则略有增加。进入新世纪以来,区间降水进入了相对偏多的时期,2001—2006 年,降水量比严重干旱少雨的 1990 年代大幅增加,比 1960 年代至 1980 年代均偏多,成为仅次于 1950 年代后期的第二个多雨期。冬、夏、秋三季降

水均比 1990 年代明显增多,其中冬季降水是近 50 余年来最多时期,而春季降水则明显减少,是近 50 余年来最少时期。引起近年来区间降水量明显增多的原因是极其复杂的,还有待于进一步深入研究。

4 小结

(1) 近 50 余年来,黄河中游“三花间”区年平均气温的阶段变化特点为 1955—1958 年、1967—1993 年为偏冷期,1959—1966 年和 1994 年至今为偏暖期,冷暖转折的突变点在 1994 年;年代际变化特点为 1950 年代后期至 1980 年代为偏冷期,1990 年代之后气温明显升高,2001 年以来是近 50 多年来最暖的时期;年及冬、春、秋三季平均气温均呈上升趋势,尤其冬季增温开始最早,增温最明显,春季次之,秋季增温缓慢。

(2) 近 50 余年来,黄河中游“三花间”区年降水量的阶段性变化特点为 1956—1964

年、2003 年至今为偏多期,1965—2002 年为偏少期;各季降水量除冬季外均呈减少趋势,以夏季减少最明显;不同年代年降水量以 1950 年代后期最多,1990 年代最少,进入新世纪以来年及冬、夏、秋季降水量均比 1990 年代明显增加,成为仅次于 1950 年代后期的第二个多雨期,其中冬季降水量为近 50 余年来最多时期,而春季降水量为近 50 余年来最少时期。

(3) 近 50 余年来,黄河“三花间”区气候总体向暖干化方向发展,但 2003 年之后进入了降水量偏多的时期,未来几年区间气候暖湿化方向的可能性比较大,引起近年来气候变湿的原因还有待于进一步深入研究。

参考文献

- [1] 赵宗慈,王绍武,罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3): 183-184.
- [2] 林学椿,于淑秋,唐国利. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学,1995,19(5):525-534.
- [3] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来温度变化[J]. 气象,1994,20(12):19-26.
- [4] 陈隆勋,朱文琴,王文,等. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报,1998,56(3):257-271.
- [5] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报,2004,62(5): 634-646.
- [6] 玉苏甫·阿布都拉,马宏武,买买提·阿布都拉,等. 和田河流域气候变化特征分析[J]. 气象,2006,32(4):97-100.
- [7] 傅玮东,姚艳丽,李迎春. 新疆吉木萨尔县 45 年气候变化特征分析[J]. 气象,2007,33(6):96-101.
- [8] 刘敏,张耀存,周昕,等. 铁岭市近 45 年气候变化特征分析[J]. 气象,2006,32(5):99-104.
- [9] 向辽元,陈星. 近 55 年中国大陆气温突变的区域特征和季节特征[J]. 气象,2006,32(6):44-47.
- [10] 王建兵,王振国,汪治桂. 甘南地区近 40 年气温变化特征[J]. 气象,2007,33(1):112-117.
- [11] 林振山,邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京:气象出版社,1999:1-20.
- [12] 邓自旺,林振山,周晓兰. 西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析[J]. 高原气象,1997,16(1):81-93.
- [13] 程炳岩,王记芳,孙卫国. 河南省月平均气温变化的时频分析[J]. 气象科技,2004,32(增刊):1-4.
- [14] 程炳岩,孙卫国. 厄尔尼诺事件对河南省降水的可能影响[J]. 灾害学,2002,17(2):22-27.