

近50年来河南省气温和降水时空变化特征分析

史佳良, 王秀茹, 李淑芳, 李宁

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

摘要:在全球变暖大背景下,对河南省近50年来气温和降水的时空变化与突变特征进行了分析研究。基于河南省17个气象站1965—2014年的日平均气温和逐日降水资料,采用气候倾向率法、累积距平法、Mann-Kendall秩相关检验、Morlet小波分析、Kriging空间插值等方法,分析研究了河南省近50年来的气温和降水量时空变化特征。河南省近50年来平均气温总体呈增暖趋势,气候倾向率为 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($p < 0.01$),春季升温最快,秋冬次之,夏季气温趋势反而略有下降,年均气温在80—90年代有短暂下降,90年代后开始变暖;河南省降水量整体略呈增加趋势,但变化趋势不明显,气候倾向率为 $2.8\text{mm}/10\text{a}$ ($p > 0.05$),夏季降水量增加较快,春秋降雨量略有减少。近50a来年降雨量经历了增—减—增—减的变化,60年代到80年代增加,80年代到90年代中旬减少,90年代到21世纪初再次增加,2003年至今持续减少。河南省气温存在27年的强显著周期,此外还有15年的周期变化;而降水量则存在12年的显著周期,此外还有5年和30年的周期。空间分布上,气温有东南高西北低的特点,且中部升温更快;降水量则南多北少,南部有减少趋势,中部、东部有增多趋势。

关键词:降水量;气温;空间插值;河南省

中图分类号:P468

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0151-06

Variation Characteristics of Air Temperature and Precipitation in He'nan Province in Recent 50 Years

SHI Jiali, WANG Xiuru, LI Shufang, LI Ning

(School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Under the background of global warming, the temporal and spatial variation of air temperature and precipitation in He'nan Province in recent 50 years were analyzed. Based on the daily average air temperature and daily precipitation data observed at 17 meteorological stations covering He'nan Province, the characteristics of climate changes from 1965 to 2014 were analyzed with the methods of climate tendency rate, cumulative anomaly method, Mann-Kendall test, Morlet wavelets analysis method and Kriging interpolation and so on. The results show that the average air temperature of He'nan Province showed the upward trend in recent 50 years, of which the climate tendency rate is $0.19^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ ($p < 0.01$). As for the seasonal temperatures, the temperature in summer was the only one that showed a declining trend, the others showed increasing trends, and the tendency rate in spring was the highest. The decade change of temperature showed that the average temperature during 1980 to 1990 dropped a little, and then it started to go up; the annual precipitation showed an overall upward trend, but the trend was not significant, it increased by $2.8\text{mm}/\text{decade}$ ($p > 0.05$), the summer precipitation increased faster, the spring and autumn precipitation decreased a little. Over the past 50 years, the precipitation was rising from 1960s to 1980s, and then declining from 1980s to the middle 1990s, after that it went up again until the 21st century, and since 2003 the precipitation has continued to decrease. The result of Morlet wavelets analysis showed that the temperature of He'nan Province fluctuated significantly with the 27-year interval, and the other 15-year interval can also be seen; the precipitation fluctuated with the 12-year interval, accompanied by other 5-year and 30-year intervals. As for spatial distribution, the temperature of southeastern He'nan Province was higher than that of the north-

western area, and the central region has been warming faster; the precipitation in the south was richer than that in the north, but it also has a decreasing trend in the south, the precipitation in the central and eastern region showed an upward trend.

Keywords: precipitation; air temperature; Kriging interpolation; He'nan Province

气候问题是全人类共同面对的问题,气候变化趋势与影响也是当今多个学科关注的焦点。气温与降水量是主要的气候因子,研究其时空变化特征有着重要的意义。IPCC 第五次评估报告中也指出,1880—2012 年全球平均温度已升高 0.85°C ;过去 30 a 内,每 10 a 地表温度的增暖幅度高于 1850 年以来的任何时期^[1]。1998—2012 年,全球地表平均气温上升速度为 $0.05^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,低于 1951 年来 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的平均升温^[2]。而中国地区气温也存在持续变暖的趋势^[3-5],降水量变化则具有明显的地域性差异^[6],近 50 a 来华北降水呈减少趋势,尤其是 20 世纪 70 年代以来华北地区降水减少更加明显^[7]。

河南省是我国粮食主产地,近年来对河南省气候变化的研究也在广泛开展,李树岩等基于 CI 指数对河南近 40 a 的干旱特征进行了统计分析^[8];常军等分析了近 50 a 来河南省区域年最高、最低气温及日较差的时空变化特征^[9]。李嵩恂等对河南省春季和秋季降水量的时空变化特征进行了研究,阐述了河南省降水量分布空间特征明显^[10];吴作明等研究了河南省降雨侵蚀力时空变异特征,认为其没有明显的年际周期性规律^[11];赵路伟等则得到河南省近 54 a 来降水量在波动中略微有减少的趋势,中东部降水增加,西北和豫南地区降水明显减少^[12]。

本文通过对均匀分布在河南省内的 17 个气象站 1965—2014 年的日平均气温和日降水量数据为基础,选取气候倾向率法、Mann-Kendall 突变检验法、累积距平法、Morlet 小波分析与 ArcGIS 克里格空间插值法,研究河南省 1965—2014 年气温、降水的时间维度趋势变化与空间维度分布变化,重点研究其趋势性、突变性、周期性与分布性的变化规律,进一步完善对河南省乃至中原地区气候变化的研究,更加了解河南省多年气候变化,尤其是气温与降水量的时空变化特征,利于全面了解该地区的水文及生态,对当地农业发展有一定的指导意义。

1 材料与研究方法

1.1 数据来源

本文数据来源于国家气象中心提供的中国地面气候资料日值数据集,挑选河南省内拥有完整时间序

列气象资料的 17 个站点,选取 1965 年 1 月 1 日到 2014 年 12 月 31 日的日平均气温与日降水量数据,缺测值由临近点空间插值,采用算数平均法补齐。通过累计偏差法对 17 个站点气温、降雨资料进行一致性检验,置信度为 95%。

1.2 研究方法

1.2.1 气候倾向率法 利用 R 语言建立气候变量 y 与时间 t 之间的一元线性回归模型,模型式中回归系数 b 用最小二乘法估计, $b \times 10$ 即气候倾向率,单位为 $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 或 $\text{mm}/10\text{ a}$,在 R 语言中可直接由线性拟合命令(lm)得到,再由方差分析命令(anova)得到 F 检验的 p 值,用于判断气候倾向率的显著性水平。

1.2.2 Mann-Kendall 检验与累积距平法

(1) Mann-Kendall 检验法在时间序列数据趋势检验中使用广泛,属于非参数检验方法,不需要数据遵从一定分布,不受少数极端或异常气候值干扰,检验范围较宽、定量化程度高,尤其在水文和气象领域的趋势分析和突变性检验中广泛应用,详细步骤如 Yue 等所述^[13]。

(2) 累积距平法能够更加直观准确地判断年际变化阶段,在气候分析中应用广泛^[14]。

1.2.3 Morlet 小波分析法 在对气象、水文等时间序列数据的基本刻画中,常常需要揭示其多时间尺度的特征^[15],小波分析具有多分辨率功能,可深刻阐述时间序列时间尺度特征与突变性和趋势性。目前小波分析有很多小波函数可以选用,而 Morlet 小波更是被广泛应用在气象、水文领域。本文采用 Morlet 小波分析法对河南省近 50 a 年均气温和年降水量的变化周期、突变点位置与位相结构进行研究,详细步骤见有关文献^[16-17]。

1.2.4 克里格(Kriging)空间插值法 空间插值法常用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面,可对研究区内未知点数据进行预测^[18]。而在对于气象数据插值的对比中,彭彬等认为普通克里格插值法要优于反距离权重法(IDW)和样条插值法(Spline)^[19]。本文采用 ArcGIS 空间分析工具中的 Kriging 插值法对河南省近 50 a 来气温、降水的空间变化趋势进行研究。

2 结果与分析

2.1 气温与降水历年变化特征分析

近50 a来河南省平均气温为14.56℃,在1974年的13.59℃到2013年的16.01℃之间变化,气候倾向率0.19℃/10 a($p < 0.01$),高于全球近50 a的0.13℃/10 a的变暖趋势,略低于中国增暖速率0.22℃/10 a。由多项式拟合^[17]曲线(图1)看出,年均气温在80—90年代有

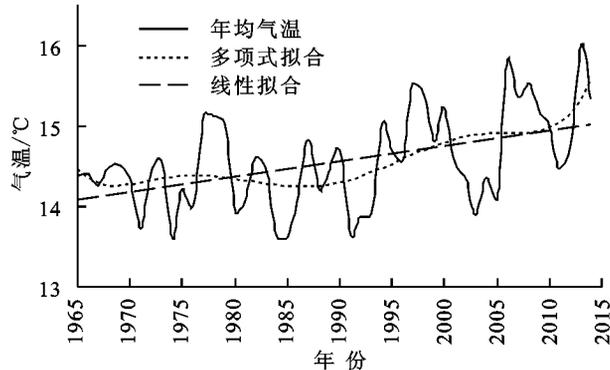


图1 河南省历年气温及分季降水量变化

近50 a来河南省平均年降水量为735.94 mm,在1966年的477.85 mm到2003年的1 063.05 mm之间波动,略有上升,气候倾向率2.86 mm/10 a($p > 0.05$),高于全国降水量变化趋势。由图1可看出,年降水量经历了增—减—增—减的变化,在80—90年代有下降趋势,到21世纪初波动回升,2003年之后有下降趋势。同时可以看出年降水量与夏季降水量呈高度相关,利用R语言做年降水量与夏季降水量的线性相关分析,二者的Pearson相关系数为0.751 ($p < 0.01$),为强相关,从图中多项式拟合曲线也可看出二者的变化趋势高度相同,可

下降趋势,而后恢复到平均增速,波动上升。四季气候倾向率见表1。春季(3—5月)气温增速最快,为0.35℃/10 a,秋季(9—11月)和冬季(12—2月)分别为0.26℃/10 a和0.25℃/10 a,夏季(5—8月)气温反而略呈下降趋势,为-0.11℃/10 a。由表1可看出局部气温变化波动较大,如1995—2004年四个季节的气温倾向率绝对值均超过1℃/10 a,远超过50 a总体变化值。

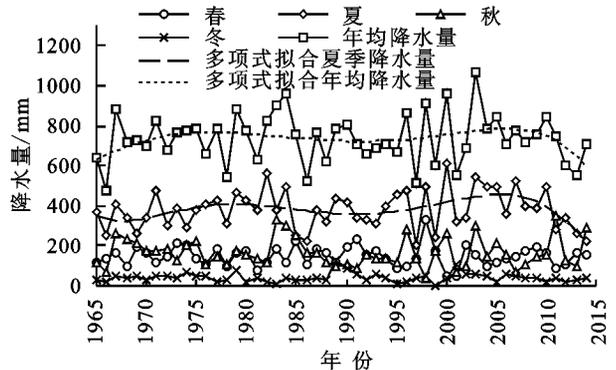


表1 河南省历年分季气温、降水气候倾向率

季节	1965—1974年	1975—1984年	1985—1994年	1995—2004年	2005—2014年	1965—2014年
春	0.22/75.7	0.06/-0.24	0.67/-10.6	1.27/-7.91	0.24/3.02	0.35/1.49
夏	-1.3/16.67	-0.9/109	-0.39/101	-1.7/82.66	0.87/-258.49	-0.11/6.21
秋	-1.66/35.71	-0.89/132.4	-0.12/-78.28	-1.62/23.97	0.36/81.17	0.26/-1.87
冬	0.86/22.56	-0.54/-19.57	1.22/17.02	-1.75/56.68	0/-11.18	0.25/0.01
全年	-0.47/150.65	-0.57/221.59	0.33/28.84	-0.95/155.4	0.37/-185.49	0.19/2.86

注:表格内前者为气温倾向率,后者为降水倾向率,单位分别为℃/10 a和mm/10 a。

2.2 气温与降水突变性分析

年均气温的Mann-Kendall突变性检验结果(图2A)显示,UF曲线在60—90年代趋势基本平稳,呈波动状态,在1997—2000年与UB曲线相交,交点位于1.96的95%信度区间内,说明M-K分析1997年为突变年,并在此后呈上升趋势,到2008年超过置信水平,变暖趋势更为显著。而由累积距平分析则看出(图2C)气温累积距平大体上经历了先减后增的过程,1965—1993年呈略有下降趋势,1994—2014年呈明显的上升趋势,1990—2014

见河南省历年年降水量的多少主要由夏季降水量所决定。由表1可得,河南省四季降水量变化均较小,气候倾向率值为:春季1.49 mm/10 a,夏季6.21 mm/10 a,秋季-1.87 mm/10 a,冬季0.01 mm/10 a,但年际、年代际降水量波动剧烈,年均最高达到2003年的1 063.05 mm,最低为1966年477.85 mm,相差585.21 mm,年代波动最为剧烈的是1975—1984年的221.59 mm/10 a,其中夏季降水量波动最为剧烈,秋季次之,春冬两季降水量波动较小,尤其需要注意的是近10 a来降水量减幅较大,为-185.49 mm/10 a。

年气温变化的气候倾向率为0.41℃/10 a($p < 0.01$),远超过近50 a的0.19℃/10 a。曲线在1979年和2000年附近有所上升也说明河南省历年气温变化波动较大,且这种波动在90年代及之后更加剧烈。结合M-K法和累积距平法的结果与分析,河南省平均气温在90年代发生了突变,在剧烈波动中加速变暖。

由图2B年降雨量的Mann-Kendall突变检验曲线可以看出,UF曲线在60—80年代呈上升趋势,并在1982年超过置信水平,在80—90年代呈下降趋

势,并在 90 年代末至今又完成了一轮上升再下降的过程。其中 UF 与 UB 相交,发生突变的年份有 1975 年(增多),1986 年(减少),1994 年(增多)。整体的 M-K 趋势分析曲线并没有超过 95% 信度线,说明河南省降水量近 50 a 来变化趋势并不显著,这与张一

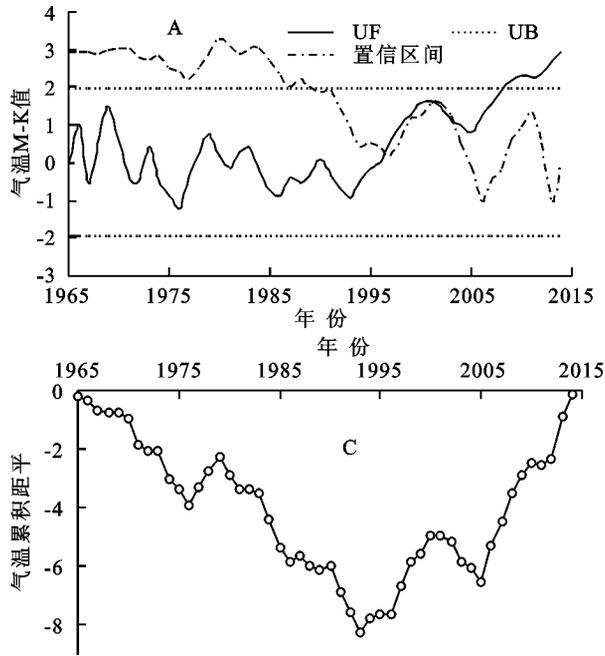
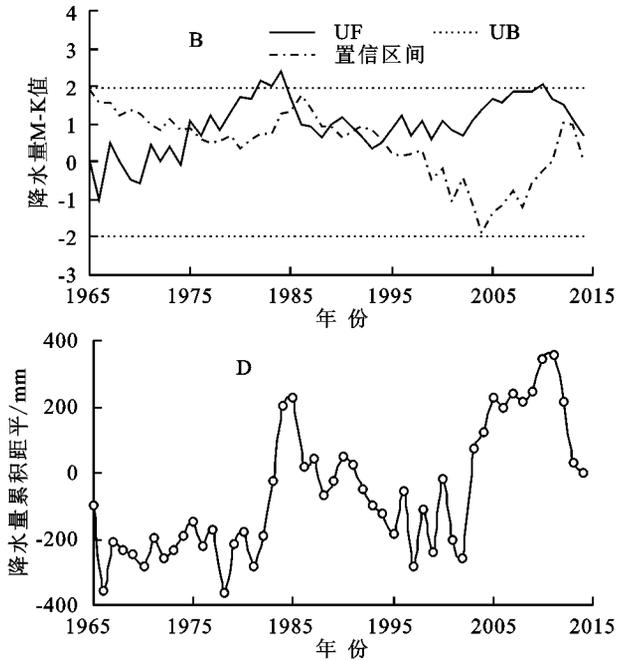


图 2 河南省历年气温及降水量 M-K 突变检验与累积距平值

2.3 气温与降水周期特征分析

图 3 为河南省近 50 a 年均气温与降水量距平序列 Morlet 小波变换实部的时频变化,从图中可得河南省近 50 a 年均气温与降水量的变化周期、突变点位置与位相结构变化。实线为正值,表明气温或降水量值偏高;虚线为负值,表明气温或降水量值偏低。由图 3A 可看出,年均气温 26~30 a 的时间尺度变化明显,中心时间尺度在 27 a 附近,为第一主周期,震荡中心在 1990 年,正负位相以 10 a 左右为周期交替出现;13~16 a 的周期变化也较为明显,中心尺度为 14 a,正负位相以 7 a 为周期交替出现;其余周期表现则较弱。同时,对年均气温距平序列 Morlet 小波变换的模平方进行时频分布处理,可得平均气温突变点中心位置为 1990 年,结合上文 M-K 突变检测与累积距平分析结果,认同河南省年均气温在 90 年代发生突变的判断。图 3B 显示年降水量 10~14 a 的时间尺度变化最为显著,中心时间尺度在 12 a 附近,第一主周期,震荡中心在 1987 年,正负相位以 4 a 为周期交替出现,这一结论与孙卫国等^[21]的研究结果类似;另外 3~6 a 的周期也较为明显,中心时间尺度为 5 a,震荡中心有两个,分别为 1965 年和 1998 年,正负位相 3 a 交替出现,此周期说明河南省降水局部波动剧烈,增减变化快;另外从图中还能看出 30~32 a 的周期变化,

驰^[20]等的结论相似。而由图 2D 降水量累积距平分析看出,在 1982 年、2003 年降水量发生了由少到多的突变,在 1986 年、2011 年发生了由多到少的突变。整个降水量累积距平曲线并没有像气温那样明显的变化趋势,但波动值较大。



此周期较为平均,贯穿始终;其余周期表现则较弱。对年降水量距平序列 Morlet 小波变换的模平方进行时频分布处理,可得年降水量突变点中心位置为多个,1966 年、1986 年、2000 年、2011 年左右,可与上文累积距平分析和 M-K 突变检测所得结果互相参考。

2.4 气温与降水空间变化分析

本文对河南省近 50 a 年均气温和年降水量进行克里格空间插值,得到其空间分布变化见图 4。由图 4A 可看出河南省气温空间分布具有西北低东南高的特征,结合河南省地形因素,即西部、西北部分属伏牛山、太行山地区,气温较东南平原而言,平均相差 1.16℃。尤其是豫西地区,最低年均气温为栾川 12.29℃,这也符合栾川地区海拔较高、森林覆盖率较大的推断。而河南省东部中部平原地区,气温空间分布则由北到南逐渐变暖,14.5℃等温线向北弯曲包含郑州、开封等地,说明其年均气温也高于同纬度的平原地区。由图 4B 可以看出,近 50 a 河南省全部地区平均气温均有所增长,且中部平原不同等温线上的地区,其由南到北增速也较为均匀,说明气温变暖是一个整体的趋势,而不是局部的波动,这也符合全球变暖的大趋势。图中显示河南省升温最快的是以郑州、开封、新乡为中心的中部地区,其中变暖最快的是郑州,达到 0.379℃/10 a,远超过全省 0.19℃/10 a 的平均水平,这或许与该地区城市化发

展速度高于河南省其他地区有关^[22]。而变暖较慢的是豫西地区,其中年均气温增幅最小的是卢氏,气候倾向率仅有 0.083 C/10 a。

河南省年降水量的空间分布则基本呈现南高北低的趋势(图 4C),地区降水分布不均匀,南部最高的信阳(1 094. 21 mm)比北部最低的安阳(542. 85 mm)高出 551. 36 mm。而年降水量的变化趋势则刚

好与之相反,反而是南部年降水量最多的地区近 50 年来降水量呈现出减少的趋势,信阳的气候倾向率达到了 -13. 62 mm/10 a;而中部、东部平原地区的年降水量则增幅最大,最高达到西华的 20. 97 mm/10 a。由图 4D 中也可看出,河南省年降水量变化幅度也较为剧烈,所测 17 个站点中就有 11 个站点的降水量气候倾向率绝对值大于全省平均值 2. 86 mm/10 a。

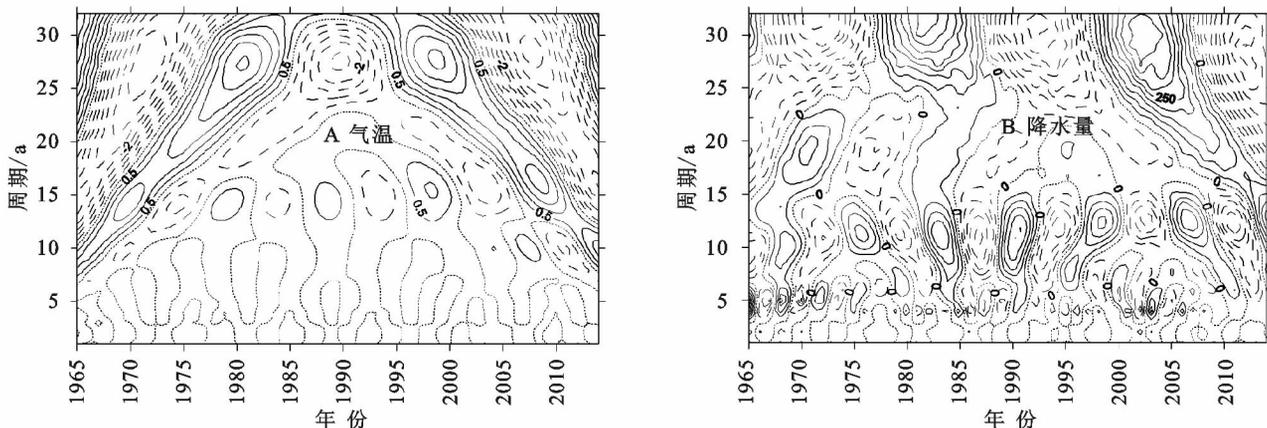


图 3 河南省历年气温及降水量 Morlet 小波分析实部时频分布图

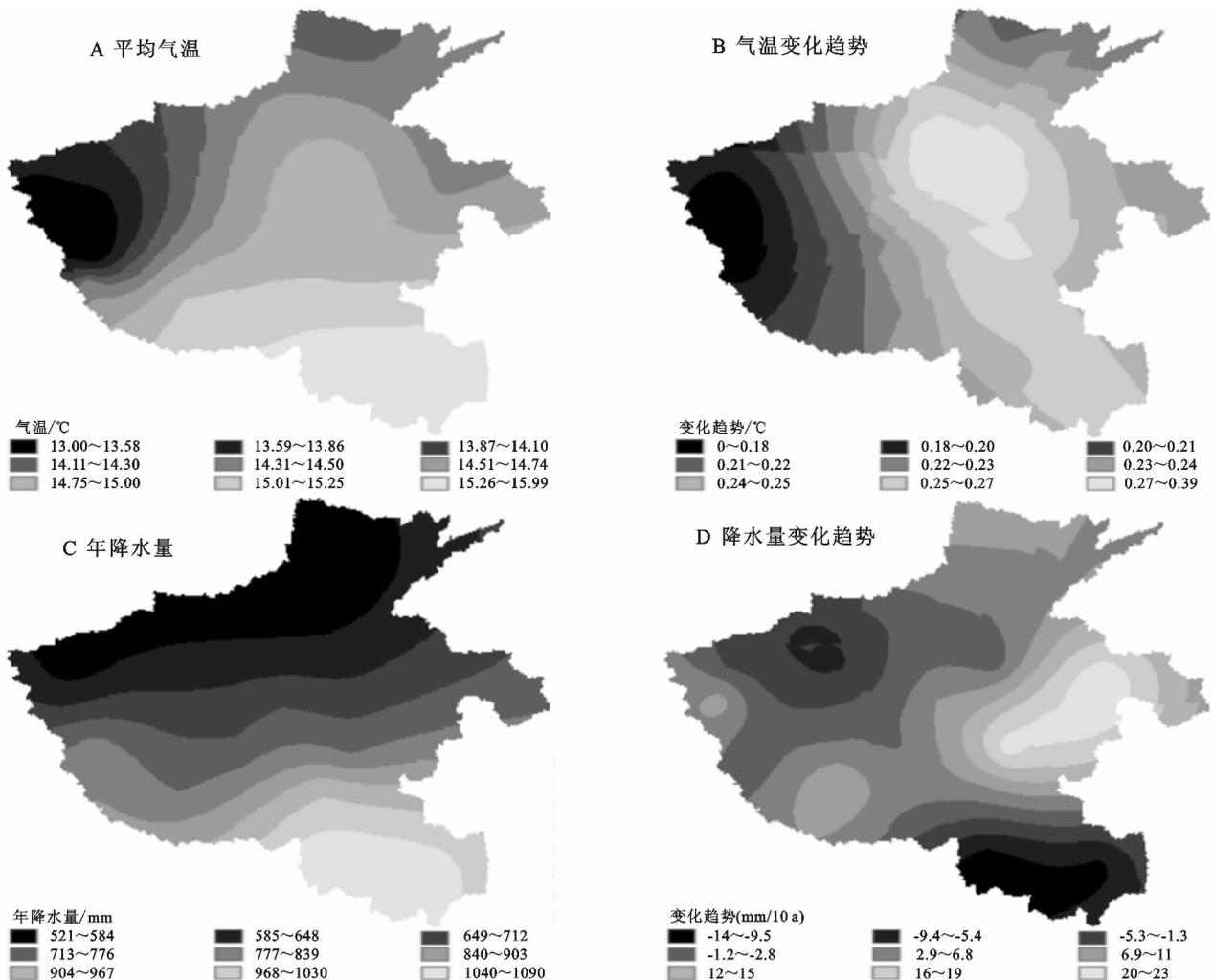


图 4 河南省气温、降水量及其变化趋势空间分布

3 结论

(1) 河南省近 50 a 气温有显著的上升趋势,其气候倾向率为 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ($p < 0.01$),同时气温变化局部波动较大。从季节上看,春季气温增速最快,秋冬季次之,夏季气温反而有下降趋势。从年代上看,只有 80—90 年代气温增速有过放缓的趋势,其余时段气温则保持波动上升趋势。

(2) 河南省近 50 a 降水量整体变化幅度不大,气候倾向率为 $2.86\text{ mm}/10\text{ a}$ ($p > 0.05$),但年降水量变化波动剧烈。从季节上看,年降水量与夏季降水量呈高度相关,其余三个季节的降水量波动平缓。从年代上看,河南省近 50 a 降水量经历了增—减—增—减的变化过程,1965—1975 年增多,1975—1990 年减少,1990—2005 年增多,2005 年至今持续减少。

(3) 河南省近 50 a 气温与降水量的突变性分析,则主要由 Mann-Kendall 突变检验法和累积距平法完成,Morlet 小波分析也可作为参考。气温发生突变的时间,由 M-K 法定位在 1997 年,累积距平法定位在 1993 年,小波分析定位在 1990 年,所以可确定河南省近 50 a 气温突变发生的时间为 20 世纪 90 年代;降水量的突变点由 M-K 法定位在 1975 年、1986 年、1994 年,累积距平法定位在 1982 年、2003 年,小波分析则定位在 1966 年、1986 年、2000 年、2011 年,但由于河南省年降水量变化趋势较小,且波动剧烈,三种方法并没有得出一个准确的统一的发生突变的时间点或时间段。

(4) 由 Morlet 小波分析结果可见,河南省气温变化有着 27 a 左右的第一周期,除此之外,也有 14 a 左右的变化周期;降水量的变化则有着 12 a 左右的第一周期,与其他 5 a 和 31 a 的变化周期。

(5) 本文用 ArcGIS 克里格空间插值法对河南省气温、降水量空间特征进行了分析。河南省气温呈西北低东南高的分布,中部地区平均气温向较高方向倾斜,同时中部地区气温增速最快,豫西地区增速最慢;降水量则呈由南到北逐渐减少的空间分布,南北降水量相差较大,而空间变化趋势则与降水量分布相反,南部明显减少,中部、东部明显增多。

参考文献:

[1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis; Summary for Policymakers. [R/OL]. [2013. 10. 28]. http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_SPM_Approved27_Sep2013.pdf.

[2] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013,

35(5):1068-1076.

[3] 王澄海,李健,许晓光. 中国近 50 年气温变化准 3 年周期的普遍性及气温未来的可能变化趋势[J]. 高原气象, 2012,31(1):126-136.

[4] 姚宜斌,雷祥旭,张良,等. 青藏高原地区 1979~2014 年大气可降水量和地表温度时空变化特征分析[J]. 科学通报, 2016(13):1462-1477.

[5] 袁再健,沈彦俊,褚英敏,等. 海河流域近 40 年来降水和气温变化趋势及其空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2009,16(3):24-26.

[6] 任国玉,柳艳菊,孙秀宝,等. 中国大陆降水时空变异规律. III:趋势变化原因[J]. 水科学进展, 2016,27(3):327-348.

[7] 郝立生,丁一汇. 华北降水变化研究进展[J]. 地理科学进展, 2012,31(5):593-601.

[8] 李树岩,刘荣花,师丽魁,等. 基于 CI 指数的河南省近 40 a 干旱特征分析[J]. 干旱气象, 2009,27(2):97-102.

[9] 常军,王纪军,潘攀,等. 近 50 年来河南最高最低气温的非对称性变化特征[J]. 中国农业气象, 2011,32(1):1-5.

[10] 李嵩陶,肖辉,周筠珺,等. 河南省春季和秋季降水时空变化的特征研究[J]. 气候与环境研究, 2012(6):884-896.

[11] 吴明作,何瑞珍,安树青,等. 河南省降雨侵蚀力时空变异特征[J]. 中国水土保持科学, 2012,10(3):22-28.

[12] 赵路伟,徐刚. 河南省 1961—2014 年气温和降水量的时空变化特征[J]. 南水北调与水利科技, 2016(3):17-23+54.

[13] Yue S, Pilon P, Cavadias G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series[J]. Journal of Hydrology, 2002,259(1):254-271.

[14] 贺伟,布仁仓,熊在平,等. 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势[J]. 生态学报, 2013,33(2):519-531.

[15] 刘世薇,周华荣,梁雪琼,等. 艾比湖流域降水与径流变化特征分析[J]. 水土保持学报, 2011,25(5):21-25.

[16] 水文小波分析[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.

[17] Yi H, Shu H. The improvement of the Morlet wavelet for multi-period analysis of climate data[J]. Comptes Rendus Geoscience, 2012,344(10):483-497.

[18] 姚雪玲,傅伯杰,吕一河,等. 基于 GIS 和统计模型的黄土丘陵沟壑区土壤水分插值方法[J]. 水土保持学报, 2013,27(6):93-102.

[19] 彭彬,周艳莲,高苹,居为民. 气温插值中不同空间插值方法的适用性分析:以江苏省为例[J]. 地球信息科学学报, 2011,13(4):539-548.

[20] 张一驰,吴凯,于静洁,等. 华北地区 1951—2009 年气温、降水变化特征[J]. 自然资源学报, 2011,26(11):1930-1941.

[21] 孙卫国,程炳岩. 湖南省近 50 年来旱涝变化的多时间多尺度分析[J]. 南京气象学院学报, 2000,23(2):251-255.

[22] 周雅清,任国玉. 华北地面气温变化趋势中城市化影响的识别[C]//中国气象学会 2007 年年会气候变化分会场论文集. 广州:气象出版社, 2007.