DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2016.03.004
赵路伟, 徐刚. 河南省 1961 年– 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, 14(3): 17-23, 54. ZHAO Lu-Wei, XU Gang. Temporal-spatial variation characteristics of temperature and precipitation in Henan Province from 1961 to 2014[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 17-23, 54. (in Chinese)

河南省 1961 年– 2014 年气温和降水量的时空变化特征

赵路伟, 徐 刚

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘要: 通过线性倾向率法、累积距平法、M-K 检验法, 对河南省近 54 年的气温和降水的年变化和季节变化进行分析, 结果表明: 河南省近 54 年气温上升趋势显著, 平均幅度为 0.18 ℃/(10a); 春秋冬增温明显, 夏季气温略有下降; 气温在 1993 年– 1994 发生由低到高的突变; 豫东和豫中平原区增温的速率大于豫西山地丘陵区。近 54 年降水量在波动中略微有减少的趋势, 平均降幅为– 7.62 mm/(10a); 春秋降水量呈减少的趋势, 夏冬呈增加的趋势; 降水量在 2011 年– 2012 年发生由少到多的突变; 中东部平原地区降水增加的趋势明显; 豫西北和豫南山区及南阳西部, 降水呈明显的减少趋势。

关键词: 气温; 降水量; M-K 检验; IDW 插值; 时空变化; 变化特征; 河南省

中图分类号: TV213 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2016)03-0017-07

Temporal-spatial variation characteristics of temperature and precipitation in Henan Province from 1961 to 2014

ZHAO Lu-wei, XU Gang

(School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The annual and seasonal changes of the temperature and precipitation in Henan Province from 1961 to 2014 were analyzed using the linear regression method, cumulative anomaly method, and M-K test method. The results indicated that, in recent 54 years, the annual mean temperature rose significantly, increasing by 0.18 ℃/(10a); except in summer, the seasonal mean temperatures of the rest seasons showed increasing trends; and an abrupt change from low to high occurred in 1993-1994. The plain regions had warmed at a faster rate than the hilly area. The annual precipitation showed a subtle decreasing trend in recent 54 years, decreasing by – 7.26 mm/(10a); the decreasing season was spring and autumn and the increasing season was summer and winter, and the abrupt change of precipitation occurred in 2011-2012. The precipitation increased significantly in the eastern plain area and decreased significantly in the area of mountain in the northwest and south as well as the west of Nanyang.

Key words: temperature; precipitation; M-K test; inverse distance weighting tension; temporal-spatial variation; variation characteristics; Henan Province

收稿日期: 2015-12-16 修回日期: 2016-04-07 网络出版时间: 2016-05-05
网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160505.1100.006.html
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41372177)
Fund: National Natural Science Foundation of China (41372177).
作者简介: 赵路伟(1989-), 男, 河南上蔡人, 主要从事城市地貌与灾害地貌方面研究。E-mail: zhaoluwei@swu.cn
通讯作者: 徐 刚(1959-), 男, 四川乐山人, 教授, 主要从事灾害地貌、灾害学方面研究。E-mail: xuliumin@swu.cn

在全球变化的大背景下, 全球变暖和气候异常对人类的生产和生活造成了严重的影响[1-2]。据 IPCC 第五次报告, 1880 年– 2012 年全球平均温度已升温 0.85 ℃, 平均增幅为 0.064 ℃/10a[3]; 研究气候变化迫在眉睫, 而气温和降水作为影响气候变化的两大重要因子, 越来越受到人们的关注[4-6], 认识和把握气温和降水的变化趋势对农业生产和人们的生活有重要的影响。河南省是我国的第一人口大省和重要的粮食基地, 属于亚热带湿润性季风气候到温带半湿润性季风气候的过度地带, 气候复杂多样, 气象灾害频繁发生; 横跨黄淮海平原的大部分, 自南向北跨长江、淮河、黄河、海河四大流域。

在全球气候变暖的大背景下, 年际间的气候波动越来越大, 气候问题日益突出, 有关学者对全国各地的气温和降水的变化趋势展开研究[7-10], 但是有关河南省气候变化的研究较少, 其中王友贺等研究发现河南省 1965 年– 2009 年降水量呈弱上升趋势, 其中冬春弱增加, 夏季显著增加, 秋季显著减少[11]; 焦建丽等认为 1994 年为河南省气温变化的突变点, 其后气温明显上升, 年平均气温气候倾向率为 0.13 ℃/(10a)[12]; 王海军等研究发现华北区的年均气温倾向率为 0.21 ℃/(10a)[13]。

目前河南省气候变化的相关研究只是侧重于某种气象要素的单方面研究, 本文选取河南省 17 个国家基本气象站点 1961 年– 2014 年的月平均气温和月平均降水量数据为基础资料, 对近 54 年河南省气温和降水的变化趋势和突变变化以及时空演变特征进行综合的研究分析, 有助于增强抵御气象灾难的能力, 同时对生态环境保护和农业生产具有重要的指导意义。

1 研究区概况

河南省位于中国中东部、黄河中下游, 介于北纬 31°23′– 36°22′、东经 110°21′– 116°39′之间, 属于亚热带湿润性季风气候到温带半湿润性季风气候的过渡区域, 季风气候显著, 四季分明, 降水多集中于夏秋两季, 气候复杂多样, 旱涝灾害频繁发生; 自南向北地跨长江、淮河、黄河、海河四大流域, 西部为山地丘陵, 东部为平原, 横跨华北和黄淮两大平原, 是我国重要的粮食生产基地。

2 数据来源和研究方法

本研究所需河南省 17 个气象站点 1961 年– 2014 年的月平均气温和月降水量数据来源于国家气象中心, 站点的空间分布见图 1。季节的划分为: 春季为 3 月– 5 月, 夏季为 6 月– 8 月, 秋季为 9 月– 11 月, 冬季为 12 月– 翌年 2 月。首先, 通过处理原始数据得到全省及各站点近 54 年的年度和四季的平均气温及降水量数据, 使用一元线性趋势法[14] 分析河南省年度和四季的平均气温和降水量的年际变化趋势和季节变化趋势, 得到年度和四季均温和降水的气候倾向率; 然后使用累积距平法和 Manr-Kendall 非参数检验法[15] 综合分析年均气温和年降水量的突变情况; 其次使用 ArcGis 9.3 空间分析模块中的反距离权重插值法对各站点年际和季节气温及降水量的气候倾向率进行空间插值[16], 分析气温、降水量年代际和季节变化的空间分布特征; 最后综合分析河南省近 54 年来气温和降水量的时空变化特征。

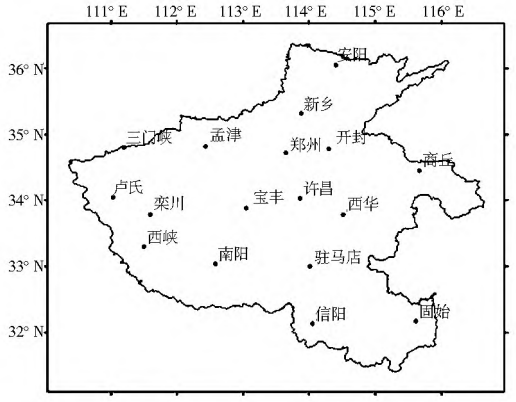

图 1 河南省国家基本气象站点分布

Fig. 1 The spatial distribution of the national meteorological stations in Henan Province

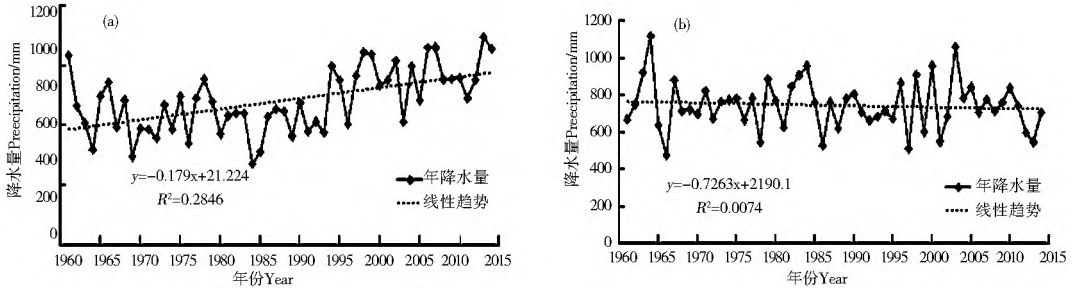

图 2 河南省 1961 年– 2014 年气温(a) 和(b) 降水的年际变化

Fig. 2 Variation of the annual temperature(a) and precipitation(b) in Henan Province from 1961 to 2014

3 结果分析

3.1 气温与降水量的年际变化

通过一元线性趋势法对河南省1961年-2014年的平均气温和降水量的年际变化和季节变化进行一元线性回归分析，结果见表1。

表1 河南省1961年-2014年气温和降水量线性回归方程

Tab.1 The regressive equation of the annual and seasonal temperature and precipitation in Henan Province from 1961 to 2014

季节	多年平均气温线性回归方程	多年降水线性回归方程
年	$Y=0.0179x-21.244$ ($R^2=0.2846$)	$Y=-0.7623x+766.47$ ($R^2=0.0074$)
春	$Y=0.0319x+13.953$ ($R^2=0.2722$)	$Y=-0.5531x+168.55$ ($R^2=0.0220$)
夏	$Y=-0.0025x+26.013$ ($R^2=0.0036$)	$Y=0.3222x+373.76$ ($R^2=0.0028$)
秋	$Y=0.0180x+14.345$ ($R^2=0.1633$)	$Y=-0.5540x+184.85$ ($R^2=0.0142$)
冬	$Y=0.0248x+1.3257$ ($R^2=0.1392$)	$Y=0.0730x+38.855$ ($R^2=0.0026$)

河南省1961年-2014年年平均气温变化在13.36℃~15.48℃之间，整体上呈波动上升趋势，平均增幅为0.18℃/(10a)见图2，与焦建丽等[12]研究结果相似(0.13℃/(10a))，明显低于华北地区的0.21℃/(10a)[17]和全国的0.22℃/(10a)。河南省四季平均气温，除夏季外均呈现上升的趋势，其中春季增温最为显著，增幅为0.32℃/(10a)，明显高于全国水平(0.23℃/(10a))；冬季次之，达到0.25℃/(10a)，明显低于全国冬季水平(0.36℃/(10a))；秋季为0.18℃/(10a)，也低于全国秋季水平(0.19℃/(10a))；其中夏季略呈降温趋势，降幅为-0.025℃/(10a)，与全国夏季增温的趋势相反(0.12℃/(10a))[17]。可见河南省年均温和春秋冬季均温变化趋势与全国均温变化趋势基本相同，除春季均温增温幅度明显高于全国水平，其余三季的增温幅度均小于全国。

河南省1961年-2014年降水量变化在479.02~1 119.96 mm之间，降水量在波动中略微减少，平均降幅为-7.62 mm/(10a)，与全国年降水量波动略有减少的趋势相同[18]。河南省四季降水量呈现不同的变化趋势，整体上春秋减少，夏冬增加。春季降水量呈减少的趋势，平均降幅为-5.53 mm/(10a)；夏季降水量呈现增加的趋势，平均增幅为3.22 mm/(10a)；秋季降水量呈现减少的趋势，平均降幅为-5.54 mm/(10a)；冬季降水量呈现增加的趋势，平均增幅为0.73 mm/(10a)。

因此，河南省1961年-2014年春秋两季气候呈现恶化趋势，变暖变干；而夏冬两季气候增温变湿，更加宜人。

3.2 气温与降水量的不同年代的变化

河南省1961年-2014年平均气温的年际变化呈增温的趋势见表2，不同年代之间存在明显的差异，20世纪90年代之前年均温偏低，之后一直呈显著的上升趋势。不同年代气温的季节性变化有如下特征：四季气温整体上呈增温趋势，其中春季20世纪60-90年代的气温偏低，自2000年以来开始转暖并且增温显著；夏季除20世纪60年代的气温较高外，1970年-2010年间气温偏低，近4年来开始变暖；秋季自20世纪90年代开始转暖，且增温幅度越来越大；冬季气温自20世纪90年代开始转暖，但近4年来又有下降的趋势，但总体上，在20世纪90年代增温最为显著。

表2 河南省年、季节气温距平年代际变化

Tab.2 The decade change of annual, seasonal temperature anomaly in Henan Province (℃)

季节	年份					
	1961年-1970年	1971年-1980年	1981年-1990年	1991年-2000年	2001年-2010年	2011年-2014年
年	-0.19	-0.24	-0.37	0.15	0.42	0.59
春	-0.44	-0.39	-0.38	-0.06	0.81	1.27
夏	0.50	-0.13	-0.49	-0.06	-0.06	0.65
秋	-0.28	-0.12	-0.21	0.03	0.38	0.56
冬	-0.55	-0.30	-0.39	0.71	0.57	-0.12

河南省近54年的降水量在不同年代之间存在明显的差异，见表3，20世纪90年代之前降水量偏多，20世纪90年代降水量偏少，比多年平均值低16.81 mm。春秋两季降水量的年代际变化总体上均呈波动减少的趋势，夏冬两季在2010年之前总体上呈增加的趋势，但在2010年之后的降水量明显减少；其中春季20世纪60年代降水最多，比多年平均值高17.89 mm；夏季2001年-2010年间的降水最多，高出多年平均值52.97 mm；秋季2011年-2014年增幅最大，高出多年平均值45.24 mm；冬季2001年-2010年间的降水最多，比多年平均值高8.59 mm。

表 3 河南省年、季节降水量距平年代际变化

Tab. 3 The decade change of annual, seasonal precipitation anomaly in Henan Provinc mm

季节	年份					
	1961 年– 1970 年	1971 年– 1980 年	1981 年– 1990 年	1991 年– 2000 年	2001 年– 2010 年	2011 年– 2014 年
年	13.71	1.31	14.36	– 16.81	26.18	– 96.90
春	17.89	1.71	– 4.00	4.92	– 9.98	– 26.39
夏	– 24.85	6.03	4.97	3.20	52.97	– 105.80
秋	25.90	– 9.05	8.92	– 18.52	– 25.35	45.24
冬	– 6.15	3.33	4.53	– 6.35	8.59	– 9.87

3.3 河南省年均气温和降水量突变分析

气候突变是指气候从一种稳定态(或稳定持续的变化趋势) 跳跃式地转变到另一种稳定态的现象[19]。为了解河南省近 54 年来气温的变化情况, 利用 Manr-Kendall 检验法对河南省 1961 年– 2014 年的年降水量和年平均温度进行突变检测, 给定显著性水平 $\alpha = 0.05$, 即 $U_{0.05} = \pm 1.96$。见图 3(a), 气温总体上呈现上升趋势, 20 世纪 90 年代以前气温变化不明显, 20 世纪 90 年代之后气温显著增暖, 1993 年以来, 气温持续上升, 特别是 1998 年以来河南省增暖的趋势十分显著, *UF* 和 *UB* 相交于 1993 年– 1994 年。见图 4(a), 累积距平分析结果显示, 1961 年– 2014 年河南省年均温累积距平呈现先下降后上升的趋势, 在 1993 年达到最低值, 1961 年– 1993 年呈现下降趋势, 1993 年– 2014 年呈现上升趋势。综合两种分析结果, 河南省气温可能在 1993 年– 1994 年发生由低温到高温的突变。

对河南省 1961 年– 2014 年的年降水量进行 Manr-Kendall 检测, 见图 3(b), *UF* 与 *UB* 在置信区间内主要有 5 个交点(1966 年, 1991 年– 1992 年, 1994 年– 1995 年, 1997 年, 2011 年– 2012 年), *UF* 值总体上呈现波动下降趋势, 但基本上在 0 等值线以上。累积距平分析显示见图 4(b), 降水量在 1961 年– 2014 年有明显的升降变化, 1961 年– 1964 呈急剧的上升趋势, 1964 年– 1978 呈波动下降趋势, 1978 年– 1985 呈波动上升趋势, 1985 年– 2002 年波动下降, 2002 年下降到最小值, 2002 年– 2011 波动上升, 2011 年– 2014 下降; 1964、1985、2011 年为高值转折年, 1966、1978、1981、1997、1999、2002、2014 年为低值转折年; 综合两种分析结果, 河南省年降水量可能在 2011 年– 2012 年发生由多到少的突变。

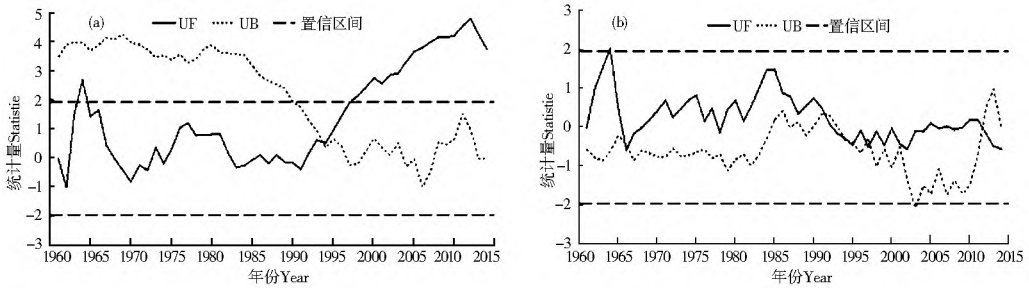

图 3 河南省 1961 年– 2014 年年平均气温(a)和年降水量(b) Manr- Kendall 突变判别曲线

Fig. 3 Manr- Kendall test of annual mean temperature(a) and annual precipitation(b) in Henan Province from 1961 to 2014

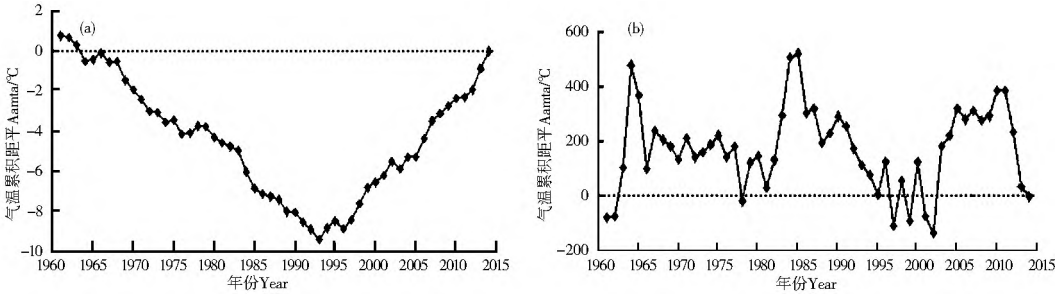

图 4 河南省 1961 年– 2014 年年平均气温(a)和年降水量(b)累积距平值

Fig. 4 Accumulated annual mean temperature(a) and annual precipitation(b) anomaly in Henan Province from 1961 to 2014

3.4 气温和降水量的空间变化

通过一元线性趋势法计算河南省各站点 1961 年– 2014 的气温和降水量的年、季节气候倾向率, 在此基础上利用 Arcgis 9.3 中的 IDW 插值法分别

进行插值,得到河南省气温、降水量多年年际变化和季节变化的空间分布图。

河南省1961年-2014年全省范围内年平均气温均呈增加趋势见图5(a),豫东、豫中平原地区增温的速率明显大于豫西山地丘陵区,其中黄河沿岸的郑州和开封两地增温最为显著,平均达0.28 ℃/(10a),其次是驻马店和周口地区增温也较显著,分别达0.24 ℃/(10a)、0.21 ℃/(10a),豫中的许昌地区和豫西山地增温不显著。1961年-2014年河南省大部分地区的年降水量呈增加的趋势见图5(b),中东部平原增加最为显著,西部山地和南阳盆地的大部分地区降水量也呈明显增加的趋势;北部的安阳、三门峡、新乡的太行山区和南部的信阳西部桐柏山区,降水量呈明显的减少趋势。

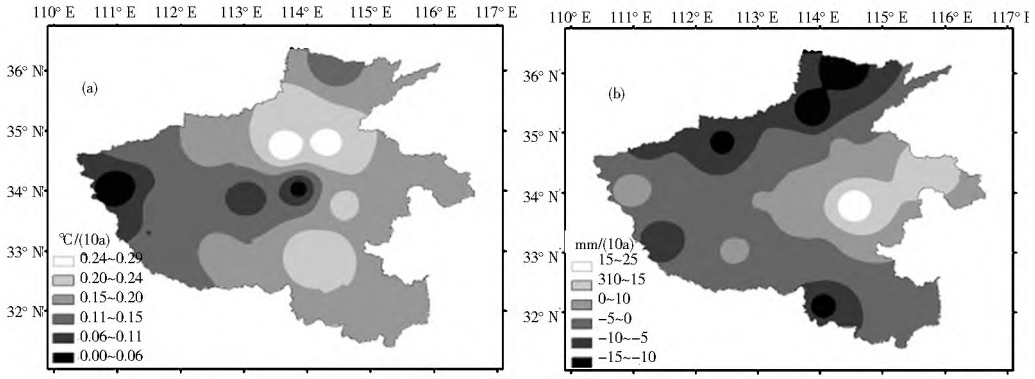

图5 河南省1961年-2014年平均气温(a)和年降水量(b)变化趋势分布

Fig. 5 Distribution of annual climate trend coefficient of temperature(a) and precipitation(b) in Henan Province from 1961 to 2014

1961年-2014年河南省全省范围内春季均温均呈上升趋势见图6(a),增温幅度自南向北呈现"高低高"的相间分布,总体上东部平原地区的增温幅度大于中西部山地丘陵区。1961年-2014年河南省全省范围内春季降水量见图6(b),除安阳地区外,均呈减少的趋势,降幅自北向南逐渐增大,其中南部信阳地区的春季降水降幅最大,平均为-12 mm/(10a)。

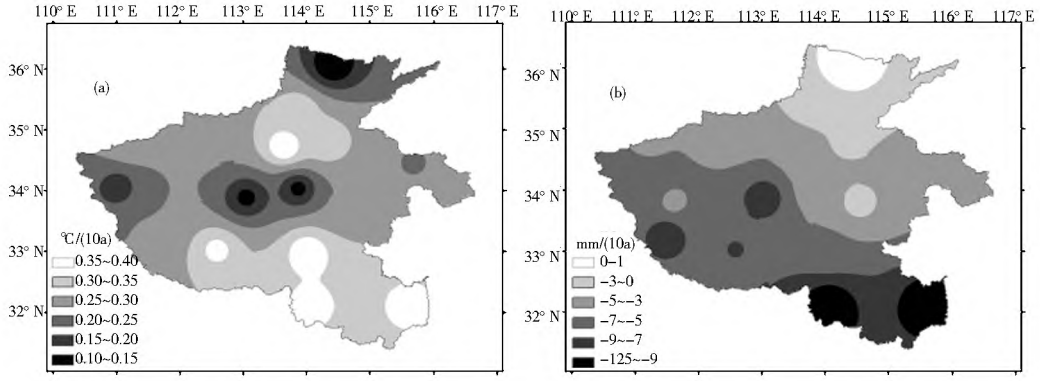

图6 河南省1961年-2014春季平均气温(a)和春季降水量(b)变化趋势分布

Fig. 6 Distribution of spring climate trend coefficient of temperature(a) and precipitation(b) in Henan Province from 1961 to 2014

河南省1961年-2014年夏季平均气温除豫北的安阳、新乡及开封三地外整体上呈下降的趋势见图7(a),平均降幅为-0.1 ℃/(10a);豫西山地气温的降幅明显大于豫东平原,气温降幅整体上呈自东北向东南增加的趋势。其中卢氏的降幅最大为-0.25 ℃/(10a)。河南省1961年-2014年夏季降水量整体上呈增加的趋势见图7(b),黄河以南地区的增加趋势更为明显增加幅度自东南向西北递增,平均增幅为11.69 mm/(10a),仅河南北部的安阳和新乡地区呈下降趋势,幅度分别为-12 mm/(10a)和-8.27 mm/(10a);其中周口地区的西华增幅最大为28.48 mm/(10a)。

河南省1961年-2014年秋季平均气温均呈上升趋势见图8(a),中部平原的上升幅度明显高于豫西山地,其中黄河沿岸的孟津、郑州和开封三站的气温增加趋势最为明显,开封的增温幅度最大为0.317 ℃/(10a),豫西卢氏站的增幅最小为0.006 ℃/(10a)。河南省1961年-2014年秋季降水均呈减少趋势见图8(b),平均降幅为-6.87 mm/(10a),自北向南降幅整体上成增加趋势,豫南降水的降幅显著高于豫北地区,其中豫南山地的减幅最大平均为-14.54 mm/(10a),豫西山地的卢氏和三门峡降幅最小,平均幅度为-1.455 mm/(10a)。

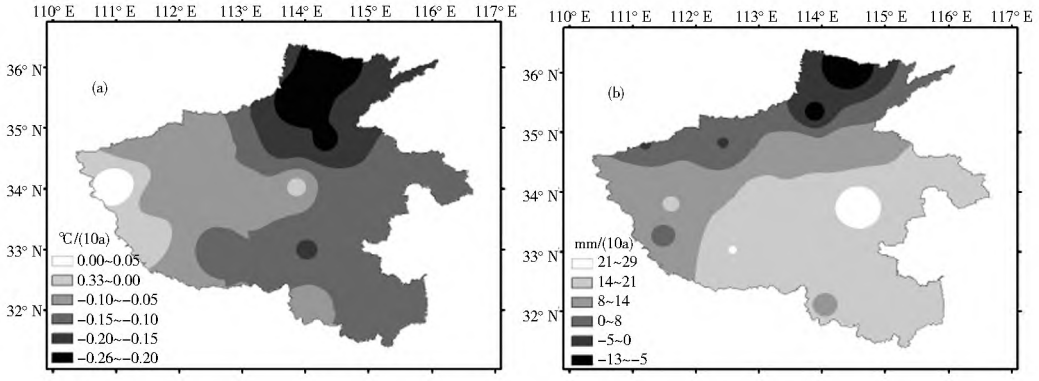

图 7 河南省 1961 年- 2014 夏季平均气温(a)和夏季降水量(b) 变化趋势分布

Fig. 7 Distribution of summer climate trend coefficient of temperature(a) and precipitation(b) in Henan Province from 1961 to 2014

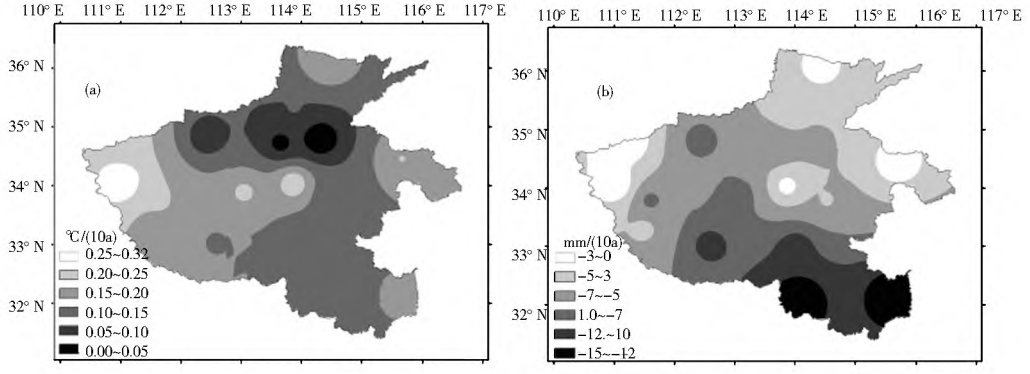

图 8 河南省 1961 年- 2014 秋季平均气温(a)和秋季降水量(b) 变化趋势分布

Fig. 8 Distribution of autumn climate trend coefficient of temperature(a) and precipitation(b) in Henan Province from 1961 to 2014

河南省 1961 年- 2014 年全省范围内冬季平均气温均呈上升趋势见图 9 (a), 平均增幅为 0. 29 ℃/ (10a) ; 其中以郑州和开封为代表的黄河南北两岸地区的增温最为显著, 平均约为 0. 43 ℃/ (10a) ; 豫西山地、南阳盆地和豫南山地的增温幅度响度较小, 增温幅度最小为许昌的 0. 069 ℃/ (10a) ; 河南省 1961 年- 2014 年全省范围内冬季降水均呈增加的趋势见图 9(b) , 平均增幅 1. 74 mm/ (10a) , 整体趋势是降水增加幅度自东南向西北递减, 豫西山地小于豫东平原区, 最大值出现在豫东南的固始, 为 5. 02 mm/ (10a) , 最小值出现在豫西北的三门峡, 为 0. 29 mm/ (10a) 。

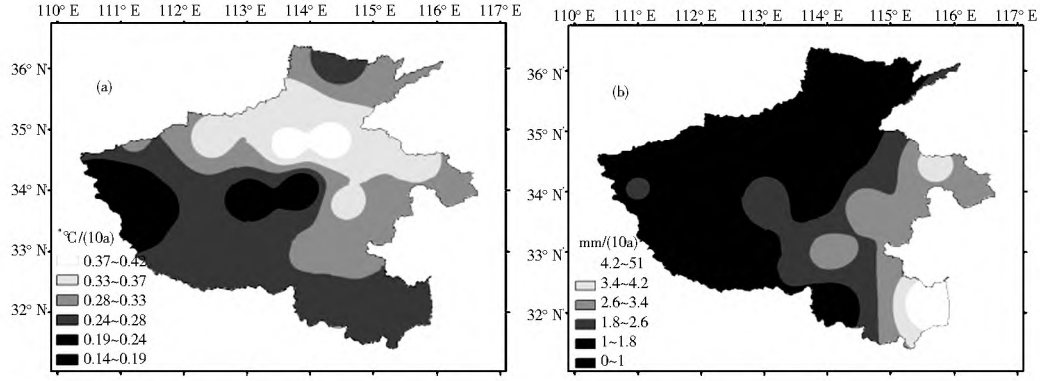

图 9 河南省 1961 年- 2014 冬季平均气温(a)和冬季降水量(b) 变化趋势分布

Fig. 9 Distribution of winter climate trend coefficient of temperature(a) and precipitation(b) in Henan Province from 1961 to 2014

4 结论

通过对河南省 1961 年- 2014 年气温和降水量的变化特征分析可知, 近 54 年河南省的气温呈明显的上升趋势, 而降水量总体上变化不大, 在波动中略微减少。现将结论总结如下。

(1) 河南省 1961 年- 2014 年气温上升趋势显著, 气温的变化区间为 13. 36 ℃- 15. 48 ℃, 年均温

以0.18 ℃/(10a)的幅度上升,1990年之前气温偏低,之后气温呈显著的上升趋势;春秋冬增温明显,夏季呈现略微的降温趋势;年均气温在1993年–1994发生由低到高的突变。

(2) 河南省1961年–2014年降水量在波动中略微减少,平均降幅为–7.62 mm/(10a)。20世纪90年代降水量偏少;春秋季降水量呈减少的趋势,夏冬季降水量呈增加的趋势;年降水量在2011年–2012年发生由多到少的突变。

(3) 近54年河南省的气温和降水在空间上的变化趋势为:郑州和开封两地区增温最为显著,豫东和豫中平原区的增温速率大于豫西山地丘陵区;中东部平原地区降水量增加的趋势明显,而西北部以安阳、三门峡为代表的太行山、崤山以及豫南的桐柏山区和南阳的西部,降水量呈明显的减少趋势。

(4) 根据分析结果,针对河南省春秋气温上升和降水减少的趋势,在农业生产中要加强抵御和防范春秋两季的干旱;其次,豫西山地对气候变化的缓冲能力明显高于豫中和豫东平原地区,而且降水量的年际波动较大,所以要加强平原区农业抗旱、防洪等基础设施的建设,降低农业生产的风险,保证粮食生产安全。

参考文献(References):

[1] 刘东生.全球变化和可持续发展科学[J].地学前缘,2002,9(1):1-5.(LIU Tung-sheng. Global changes and sustainability science[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1):1-5.(in Chinese))

[2] 王铮,郑一萍.全球变化对中国粮食安全的影响分析[J].地理研究,2001,20(3):282-288.(WANG Zheng, ZHENG Yi-ping. Impacts of global change on China's food security[J]. Geographical Research, 2001, 20(3):282-288.(in Chinese))

[3] 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):1068-1072.(SHEN Yong-ping, WANG Guo-ya. Key findings and assessment results of IPCC WGI Fifth Assessment Report[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5):1068-1072.(in Chinese))

[4] 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.(YUAN Zai-jian, SHEN Yan-jun, CHU Ying-min, et al. Variations and distribution of temperature and precipitation of Haihe River basin in recent 40 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(3):24-26.(in Chinese))

[5] 左洪超,吕世华,胡隐樵.中国近50年气温及降水量的变化趋势分析[J].高原气象,2004,23(2):238-244.(ZUO Hong-chao, LV Shi-hua, HU Yin-qiao. Variations trend of yearly mean air temperature and precipitation in China in the last 50 years[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(2):238-244.(in Chinese))

[6] 易湘生,尹衍雨,李国胜,等.青海三江源地区近50年来的气温变化[J].地理学报,2011,66(11):1451-1462.(YI Xiang-sheng, YIN Yan-yu, LI Guo-sheng, et al. Temperature variation in recent 50 years in the Three-Riverheadwaters region of Qinghai Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(11):1451-1462.(in Chinese))

[7] 陈效逑,彭嘉栋,李慧敏.内蒙古地区气温变化的季节和区域差异[J].地理研究,2009,28(1):27-35.(CHEN Xiao-qiu, PENG Jia-dong, LI Hui-min. Seasonal and regional differences of air temperature changes in Inner Mongolia[J]. Geographical Research, 2009, 28(1):27-35.(in Chinese))

[8] 李宗省,何元庆,辛惠娟,等.我国横断山区1960-2008年气温和降水时空变化特征[J].地理学报,2010,65(5):563-579.(LI Zong-xing, HE Yuan-qing, XIN Hui-juan et al. Spatio-temporal variations of temperature and precipitation in Mts. Hengduan region during 1960-2008[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(5):563-579.(in Chinese))

[9] 尹云鹤,吴绍洪,陈刚.1961-2006年我国气候变化趋势与突变的区域差异[J].自然资源学报,2009,24(12):2147-2157.(YIN Yun-he, WU Shao-hong, CHEN Gang. Regional difference of climate trend and abrupt climate change in China during 1961-2006[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(12):2147-2157.(in Chinese))

[10] 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.(XIANG Liao-yuan, CHEN Xing. Regional and seasonal features of abrupt temperature change in China in recent 55 years[J]. Meteorological Monthly, 2006, 32(6):44-47.(in Chinese))

[11] 王友贺,申双和,谷秀杰.1965–2009年河南省降水量的时空演变特征[J].气象与环境科学,2011,34(3):56-57.(WANG You-he, SHEN Shuang-he, GU Xiu-jie. Time-space evolution feature of precipitation in Henan Province from 1965 to 2009[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2011, 34(3):56-57.(in Chinese))

[12] 焦建丽,惠付梅.河南省年平均气温的时空分布及变化特征[J].气象与环境科学,2007,30(3):57-58.(JIAO Jian-li, HUI Fu-mei. Temporal and spatial distribution and change characteristic of annual mean temperature in Henan[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2007, 30(3):57-58.(in Chinese))

[13] 王海军,张勃,赵传燕,等.中国北方近57年气温时空变化特征[J].地理科学进展,2009,28(4):644-645.(WANG Hai-jun, ZHANG Bo, ZHAO Chuan-yan, et al. The Spatio-temporal characteristics of temperature change in recent 57 years in Northern China[J]. Progress in Geography, 2009, 28(4):644-645.(in Chinese))

[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):0519-0531.(HE Wei, BU Ren-cang, XIONG Zai-ping, et al. Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2):0519-0531.(in Chinese))

[15] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999,66-67.(WEI Feng-ying. Modern technology of statistics diagnosis and forecast for climate[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999, 66-67.(in Chinese))

(下转第54页)

Applied Ecology, 2001, 12(1): 113-116. (in Chinese))

[6] 王莉, 张宝军, 瞿群, 等. 事故状态下输油管线对地下水污染的模拟分析[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2007, 43(1): 29-32. (WANG Li, ZHANG Bao-jun, QU Qun, et al. Modeling on groundwater contamination by oil from pipeline seepage and breakage[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2007, 43(1): 29-32. (in Chinese))

[7] 陈友媛, 郑西来, 佘宗莲, 等. 大庆油田轻质油泄漏对地下水系统污染研究[J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 421. (CHEN You-yuan, ZHENG Xi-lai, SHE Zong-lian, et al. An analysis of the groundwater system contamination caused by the Daqing oil field's light oil spill[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(4): 421. (in Chinese))

[8] 刘荣芳, 陈鸿汉, 王延亮, 等. 浅析某油田地下水石油类污染途径[J]. 中国地质, 2007, 34(1): 153-159. (LIU Rong-fang, CHEN Hong-han, WANG Yan-liang. Ways of groundwater pollution by oil in an oilfield[J]. Geology in China, 2007, 34(1): 153-159. (in Chinese))

[9] 左锐, 王金生, 滕彦国. 滨海区石化建设项目的地下水环境保护措施模拟研究[J]. 北京师范大学学报, 2009, 45(5/6): 647-653. (ZUO Rui, WANG Jin-sheng, TENG Yan-guo. Modeling of groundwater protection schemes in a coastal zone: impact of a petrochemical project[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2009, 45(5/6): 647-653. (in Chinese))

[10] 殷素娟, 张亚敏, 邵忠瑞, 等. 周口市地下水污染综合防治浅析[J]. 地下水, 2008, 30(4): 50-126. (YIN Su-jun, ZHANG Ya-min, SHAO Zhong-rui, et al. Analysis of comprehensive preservation and control of Zhoukou's ground water contamination[J]. Groundwater, 2008, 30(4): 50-126. (in Chinese))

[11] 陈立, 张发旺, 张琳, 等. 土著微生物修复石油污染地下水的研究[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(6): 56-77. (CHEN Li, ZHANG Fa-wang, ZHANG Li, et al. Experimental study on indigenous microbial remediation of oil-contaminated groundwater[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(6): 56-77. (in Chinese))

[12] 方曦, 杨文. 海洋石油污染研究现状及防治[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(9): 78-80. (FANG Xi, YANG Wen. The current status of petroleum pollution of the ocean and the prevention[J]. Environmental Science and Management, 2007, 32(9): 78-80. (in Chinese))

[13] 张丽萍, 王辉. 不同海面状况海洋石油污染处理方法优化配置[J]. 海洋技术, 2006, 25(3): 1-6. (ZHANG Li-ping, WANG Hui. Optimization design of countermeasures to clean up the marine oil pollution in different sea surface conditions[J]. Ocean Technology, 2006, 25(3): 1-6. (in Chinese))

[14] 曾明荣, 吴宗之, 魏利军, 等. 化工园区应急管理模式研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(2): 172-175. (ZENG Ming-rong, WU Zong-zhi, WEI Li-jun, et al. Study on emergency management model for accidents in chemical industry park[J]. China Academy of Safety Science & Technology, 2009, 19(2): 172-175. (in Chinese))

[15] 连伟, 邵茂清, 侯改娟. 天然气净化厂事故废水收集处理系统设计[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(2): 171-174. (LIAN Wei, SHAO Mao-qing, HOU Gai-juan. System design for collection and disposal of accidental wastewater in a natural gas purification plant[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(2): 171-174. (in Chinese))

[16] 赵汉青. 我国油气管道的事故成因及环境预防措施[J]. 油气储运, 2015(04): 1-6. (ZHAO Han-qing. The causes of oil and gas pipelines accidents and precautionary measures for environment conservation[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015(04): 1-6. (in Chinese))

[17] 薛禹群, 谢春红. 地下水数值模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2007. (XUE Yu-qun, XIE Chun-hong. Groundwater numerical simulation[M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))

[18] 张人权, 梁杏, 靳孟贵, 等. 水文地质学基础[M]. 北京: 地质出版社, 2011. (ZHANG Ren-quan, LIANG Xing, JIN Meng-gui, et al. Fundamentals of hydrogeology[M]. Beijing: Geology Publishing, 2011. (in Chinese))

[19] 郝治福, 康绍忠. 地下水系统数值模拟的研究现状和发展趋势[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(1): 77-81. (HAO Zhi-fu, KANG Shao-zhong. Current situation and development trend of numerical simulation of groundwater system[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(1): 77-81. (in Chinese))

[20] 孙从军, 韩振波, 赵振, 等. 地下水数值模拟的研究与应用进展[J]. 环境工程, 2013, 31(5): 9-17. (SUN Cong-jun, HAN Zhen-bo, ZHAO Zhen, et al. Advances in research and application of groundwater numerical simulation[J]. Environmental Engineering, 2013, 31(5): 9-17. (in Chinese))

(上接第 23 页)

[16] 李军, 游松财, 黄敬峰. 中国 1961—2000 年月平均气温空间插值方法与空间分布[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 109-114 (LI Jun, YOU Song-cai, HUANG Jing-feng. Spatial interpolation method and spatial distribution characteristics of monthly mean temperature in China during 1961-2000[J]. 2006, 15(1): 109-114. (in Chinese))

[17] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956. (REN Guo-yu, GUO Jun, XU Ming-zhi, et al. Climate changes of china's mainland over the past half century[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(6): 942-956. (in Chinese))

[18] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236. (WANG Zun-ya, DING Yi-hui, HE Jin-hai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236. (in Chinese))

[19] 符淙斌, 王强气. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493. (FU Cong-bin, WANG Qiang-qi. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4): 482-493. (in Chinese))

[20] 李蔼恂, 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, 17(6): 884-896. (LI Ai-xun, XIAO Hui, ZHOU Jun-jun, et al. Characteristics of spatio-temporal distribution of spring and autumn precipitation in Henan Province[J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17(6): 884-896. (in Chinese))