

1960—2019年山西右玉降水、气温及蒸发量变化特征分析

解建强¹, 蔡霞^{1*}, 宁松瑞², 蔡琳³, 孙喜旺⁴

(1.山西省朔州市气象局, 山西 朔州 036002; 2.西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 西安 710048; 3.山东省菏泽学院, 山东 菏泽 274000; 4.新疆水绿方项目管理有限公司, 乌鲁木齐 830000)

摘要:【目的】研究气候变化背景下右玉县降水、气温和蒸发量的变化规律, 以合理利用气候资源。【方法】采用右玉县1960—2019年逐月降水量、气温、蒸发量数据, 利用距平分析法、线性倾向估计法以及Mann-Kendall检验法, 对该地区的降水量、气温和蒸发量进行了系统分析。【结果】右玉县降水量呈增多趋势, 气温呈增高趋势, 蒸发量呈减小趋势; 通过Mann-Kendall突变检验法和滑动 t 检验确定1994年为气温序列上升突变点, 降水序列未发生突变, 2002年为蒸发量序列的减少突变点。【结论】研究结果可为农业灌溉、生态环境质量改善等提供科学的参考。

关键词: 右玉县; 降水量; 气温; 蒸发量; 突变; 小波

中图分类号: TV212.2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022227

解建强, 蔡霞, 宁松瑞, 等. 1960—2019年山西右玉降水、气温及蒸发量变化特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 124-128.

XIE Jianqiang, CAI Xia, NING Songrui, et al. Characteristics of Precipitation, Air Temperature and Evaporation in Youyu, Shanxi During 1960—2019[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.1): 124-128.

0 引言

【研究意义】右玉县地处山西省西北端, 为北方要塞, 是一个以农牧业生产为主的农业大县。该区素有“十年九旱”之称, 水资源匮乏、季节性缺少现象尤为明显, 特别是春旱对农业生产造成严重的影响。因此, 详细研究该区的气候变化特征, 可以为合理利用气候资源, 保护农业生产, 减少气象灾害造成的损失提供理论依据。【研究进展】很多学者对全球变暖背景下降水量、气温和蒸发量的变化进行了研究^[1-10]。马日新等^[4]研究发现, 格尔木河流域降水量和气温呈上升趋势, 而蒸发量则相反。齐燕^[5]预测大柴旦地区未来几年降水量和蒸发量将处于减少趋势, 温度则呈上升趋势。国内外很多学者^[11-17]研究了蒸发量的变化特征, 发现年平均蒸发量的减少趋势显著。因此, 研究该区降水和气温的演变规律, 对于进一步了解水资源的变化和作物需水规律具有一定参考价值。【切入点】以往针对右玉县气候变化的研究大多停留在降水、

气温或者气温、蒸发2种气候因子上, 而选取3种因子全面详细研究的较少。此外, 以往的研究选取时间序列较短, 数据也较陈旧。【拟解决的关键问题】因此, 本文选用右玉县气象站1960—2019年的逐月气象资料, 对降水、气温、蒸发序列进行趋势分析, 并利用Mann-Kendall检验法进行突变分析, 进一步了解右玉县的气候变化特征, 并揭示气候变化区域差异性。研究结果对合理利用水资源提高农业生产与改善生态环境都具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

右玉县位于晋西北边陲, 平均海拔1400 m, 属于干旱、半干旱黄土丘陵缓坡风沙区。该区多年平均气温4.2℃, 多年平均降水量410 mm, 多年平均蒸发量1788 mm。水资源匮乏给当地农林牧的发展带来了诸多困难。探讨研究该区降水、气温和蒸发量的变化规律, 可以进一步了解右玉县植被覆盖状况和气候特征, 并为水资源的合理开发利用、农业灌溉、生态环境改善提供科学的参考依据。

1.2 数据来源与分析方法

选取右玉县气象局国家基本站1960—2019年月平均降水量、气温、蒸发量等资料, 季节按照气候学

收稿日期: 2022-04-23

基金项目: 山西省气象局课题(SXKQNH20116255, SXKQNH20195654)

作者简介: 解建强(1985-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事气象灾害研究、人工增雨保障服务。E-mail: 261334021@qq.com

通信作者: 蔡霞(1975-), 女, 高级工程师, 学士, 主要从事气候变化研究、气象灾害研究、农业气象服务工作。E-mail: caixiaqx@sina.com

划分: 春季为 3—5 月, 夏季为 6—8 月, 秋季为 9—11 月, 冬季为 12—次年 2 月。

利用距平分析法、线性倾向估计法、应用 Mann-Kendall^[10] 检验法、滑动 t 检验对气候要素进行突变检验, 通过标准偏差、变异系数等指标分析右玉县 1960—2019 年降水、气温和蒸发量的变化规律。

2 结果与分析

2.1 降水量变化特征

从图 1 可以看出, 右玉县 60 a 年平均降水量为 425.6 mm, 年平均降水量每 20 年呈多-少-多的波动变化规律。1960—1979 年, 年平均降水量 (438.3 mm)

较 60 a 均值多 3.0%; 1980—1999 年, 年平均降水量 (395.3 mm) 较 60 a 平均值少 7.1%, 1980—1999 共有 12 a 降水量低于 60 a 平均值; 2000—2019 年, 年平均降水量 (443.3 mm) 较 60 a 平均值多 4.2%。由平均年降水量距平变化可知, 20 世纪 60 年代到 70 年代期间, 有 3 a (1961、1964、1967 年) 年降水量都超过 600 mm, 1960—2019 年, 年降水量峰值出现在 1961 年, 为 654.1 mm, 是多年平均降水量的 1.5 倍; 年降水量谷值出现在 1965 年, 仅为 193.3 mm, 是多年平均降水量的 45%。1960—2019 年, 该区年降水量的标准偏差为 97.3 mm, 变异系数达 22.4%。

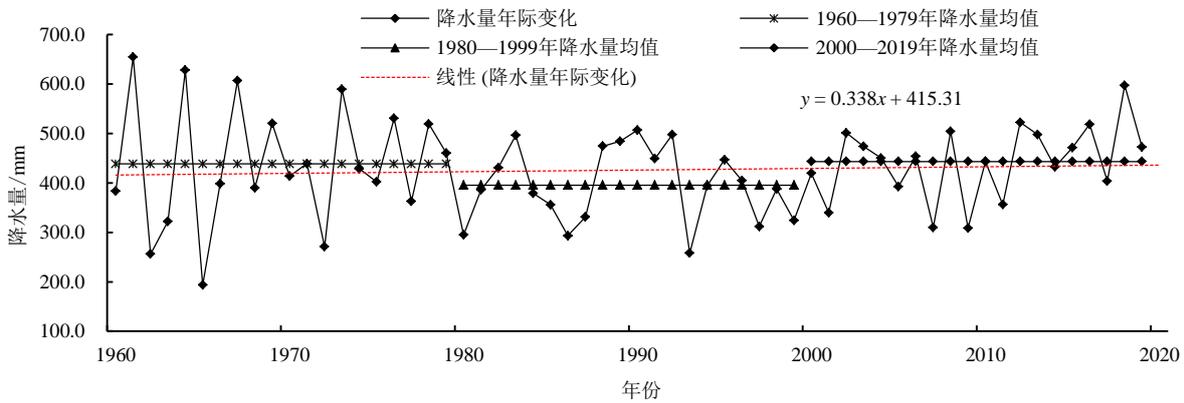


图 1 1960—2019 年右玉县降水量年际变化特征

Fig.1 Interannual variation characteristics of precipitation in Youyu County from 1960 to 2019

从图 2 可知, 1—12 月降水量呈先增后减的趋势。春季 (3—5 月)、夏季 (6—8 月)、秋季 (9—10 月)、冬季 (12—2 月) 平均降水量分别占全年平均降水量的 18.8%、77.0%、24.9%、1.8%。夏季降水量占全年降水量的比例最大, 最大降水量出现在 1967 年, 为 424.8 mm, 最小降水量出现在 1965 年, 为 116.3 mm。通过降水量距平变化可知, 年内 6、7、8、9 月降水量高于月平均降水量, 7 月和 8 月降水量最多, 7 月平均降水量为 107.6 mm, 占全年平均降水量的 23%, 8 月平均降水量为 105.0 mm, 占全年平均降水量的 22.5%。降水量最少的月份降水总量仅占全年降水量的 3.5%。

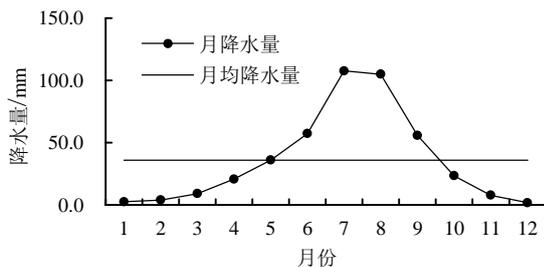


图 2 1960—2019 年右玉县降水量逐月变化特征

Fig.2 Monthly precipitation variation characteristics in Youyu County from 1960 to 2019

2.2 气温变化特征

1960—2019 年右玉县气温年际变化特征见图 3。近 60 a 年平均气温总体呈上升趋势。20 世纪 60 年代—80 年代, 气温呈低-高-低的变化趋势, 20 世纪 90 年代—21 世纪 10 年代, 气温呈阶梯式上升趋势。21 世纪 10 年代与 20 世纪 60 年代相比, 年平均气温增加了 1.29 °C, 2019 年与 1960 年相比年平均气温上升了 1.0 °C。由年气温距平可知, 60 a 平均气温为 4.13 °C, 峰值点出现在 1998 年, 为 5.6 °C, 比多年均值偏高 1.4 °C, 谷值点出现在 1967 年, 比多年均值偏低 1.5 °C。近 60 a 内共有 28 a 气温高于多年均值, 32 a 低于多年均值, 二者基本持平, 前 40 a (1960—1999 年) 有 30 a 气温低于多年均值, 从后 20 a (2000—2019 年) 开始出现一个明显的分水岭, 仅有 2 a 气温低于多年均值, 也就是说有 90% 的年份平均气温偏高。由此可知, 右玉县气温在近 20 a 升高趋势异常显著。

从图 4 可以看出, 受季风气候和地形特点的影响, 不同月份、不同季节气温的差异显著。1—12 月气温呈先升后降的趋势。1960—2019 年, 春季、夏季、秋季、冬季平均气温分别为 5.9、18.5、4.3、-10.2 °C。春季气温的上升和秋季气温的下降同样很快, 曲线陡而对称, 但春温高于秋温。从月份来看, 1—4 月升

温幅度达 20.8 °C，其中 3 月和 4 月升温幅度最大，分别为 8.3 °C 和 8.4 °C。通过月气温距平变化可知，年内有 7 个月（4—10 月）的气温高于月平均气温，其余 5 个月气温低于月平均气温。

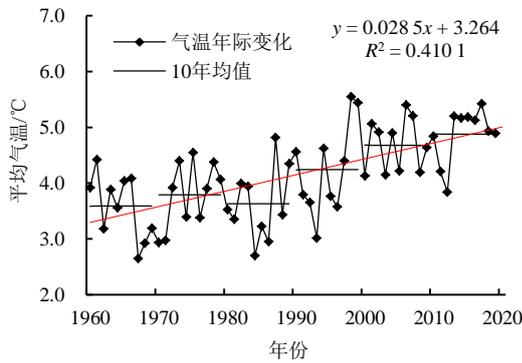


图3 1960—2019年右玉县气温年际变化特征

Fig.3 Interannual variation characteristics of air temperature in Youyu County from 1960 to 2019

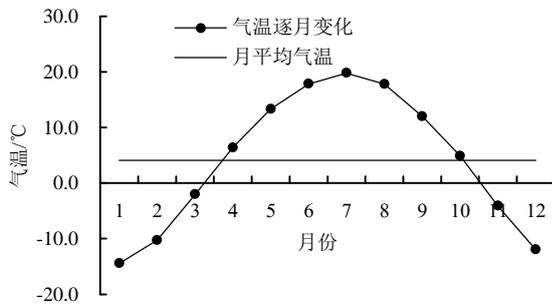


图4 1960—2019年右玉县气温逐月变化特征

Fig.4 Monthly variation characteristics of temperature in Youyu County from 1960 to 2019

2.3 蒸发量变化特征

从图 5 可以看出，蒸发量呈显著下降趋势，变化倾向率为 $-121.51 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ，相关系数为 -0.73 ($p < 0.001$)，多年平均蒸发量为 1590.2 mm ，最大年蒸发量为 2117.0 mm （1974 年），最小年蒸发量为 996.9 mm （2003 年）。20 世纪 60 年代—80 年代，蒸发量呈少-多-少的分布趋势，20 世纪 90 年代到 21 世纪 10 年代，蒸发量呈现阶梯式下降趋势。由年蒸发量距平变化可知，2001 年之前蒸发量距平仅有 6 a 为负距平，2001 年之后均为负距平。这与齐燕^[5]和郭素荣等^[8]研究结果相一致，即 2000 年以后降水量和气温都增加的情况下，蒸发量范围减小。

从图 6 可知，月蒸发量变化和气温变化规律相似。4—8 月蒸发量均在 150.0 mm 之上，占全年蒸发量的 66.7%，2—3 月、9—10 月蒸发量次之，占全年蒸发量的 9.9% 和 15.7%，11 月—次年 1 月蒸发量较小，仅占全年蒸发量的 7.6%。通过月蒸发量距平变化可知，1—3 月和 10—12 月蒸发量低于平均值为负距平，

4—9 月高于平均值为正距平。

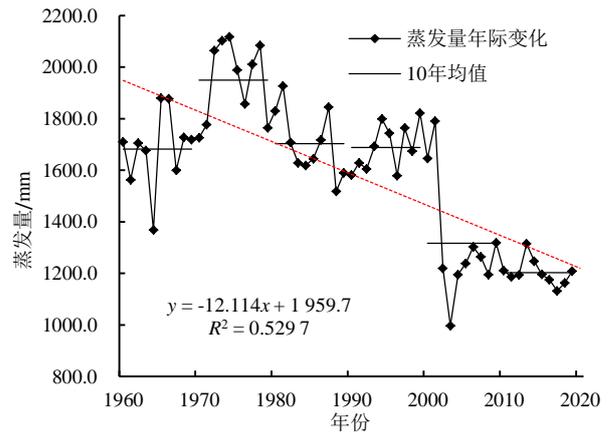


图5 1960—2019年右玉县蒸发量年际变化特征

Fig.5 Interannual variation characteristics of evaporation in Youyu County from 1960 to 2019

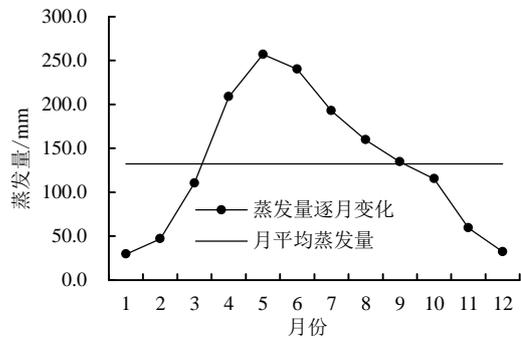


图6 1960—2019年右玉县降水量蒸发量逐月变化特征

Fig.6 Monthly variation characteristics of precipitation and evaporation in Youyu county from 1960 to 2019

2.4 降水量、气温和蒸发量突变分析

利用 M-K 检验方法对 1960—2019 年右玉县降水量、温度、蒸发量序列进行突变检验。由图 7 (a) 降水序列可知，1969—1980、2015—2019 年， $UF > 0$ ，表明在此阶段降水量呈增多趋势。UF 和 UB 曲线相交于 1961—1962、2015、2017—2018 年，为进一步确定突变点，对交叉点作不同时间的滑动 t 检验，交叉点均未通过检验，说明降水序列不存在突变点。

由图 7 (b) 可知，在 1965—1966、1975—2019 年， $UF > 0$ ，表明在此阶段气温呈上升趋势，且在 1998 年之后 UF 超过 0.05 显著水平线，说明在 1998 年之后气温上升趋势显著。UF 和 UB 曲线相交于 1994 年，通过检验确定 1994 年为气温序列的突变点，且为上升突变点。

由图 7 (c) 可知，在 1966—1988 年 $UF > 0$ ，表明此阶段蒸发量呈增大趋势，1973—1982 年之间 UF 超过 0.05 显著水平线，说明此阶段蒸发量增大趋势明显；1961—1965、1989—2019 年 $UF < 0$ ，表明此阶段蒸发量呈减小趋势，且在 2004 年之后 UF 超过 0.05

显著水平线,表明 2004 年以后蒸发量减小趋势明显。UF 和 UB 曲线相交于 2002 年,通过检验确定 2002 年为蒸发序列的突变点,且为减少突变点。

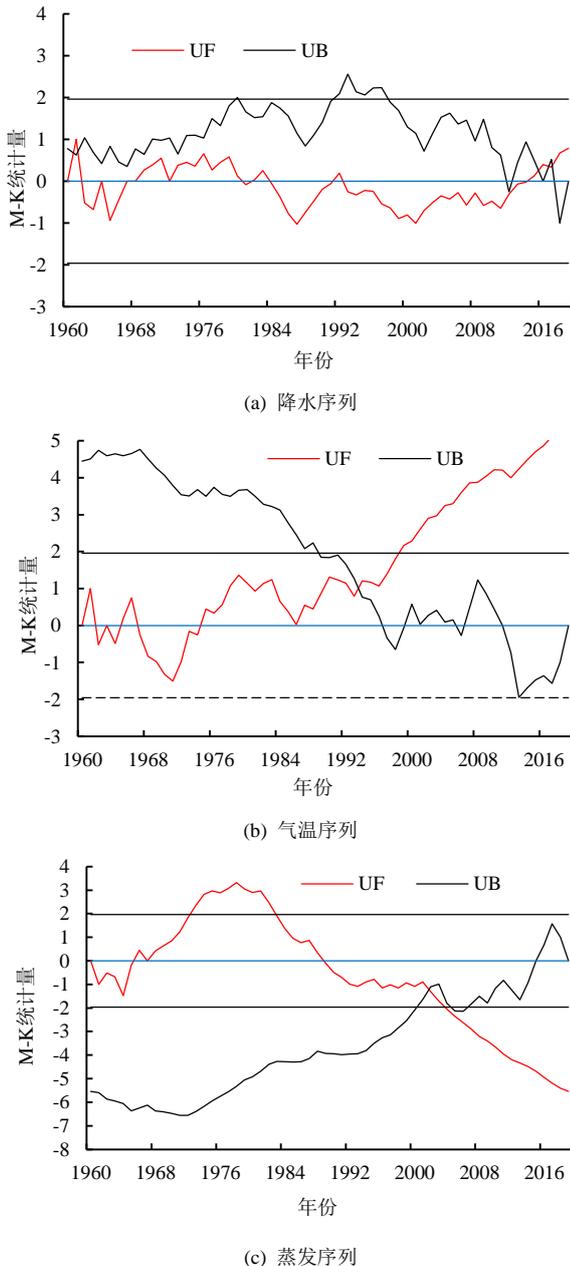


图7 Mann-Kendall 突变检验曲线

Fig.7 Mann-Kendall mutation test curve

3 讨论

气温升高会导致地表和水体蒸发加快,引起蒸发量增大。但目前研究结果表明,大部分地区蒸发量呈减少趋势^[11],Roderick 等^[12]称这种现象为“蒸发悖论”。右玉县蒸发量随气温升高呈下降趋势,存在“蒸发悖论”现象。水资源开发利用和作物灌溉都与降水量的多寡以及蒸发量的多少密不可分,右玉县 60 a 来随降水量增加、气温升高,蒸发量反而减小,2002 年为蒸发量序列减少的突变点。这与齐燕^[5]和郭素荣等^[8]、马日新等^[4]研究结果相一致,即 2000 年以后降水量

和气温呈增加趋势,蒸发量出现减小现象。李延林等^[15]研究发现青海黄南地区影响蒸发量变化的主要因子是日照时间,且与降水量和水汽压呈显著的负相关,也与本文得出的降水量与蒸发量趋势相反的结论一致。

影响蒸发量的因素很多,主要有光照、气温、风速、湿度、水汽压等,各种气象要素之间也相互关联、相互影响,刘美玲等^[16]通过灰色关联分析,得出齐齐哈尔地区平均气温和降水量与蒸发量关联度最大,平均风速关联度最小。孙从建等^[13]研究得出山西省潜在蒸发量与温度、风速、日照时间及纬度呈正相关,本文研究结果表明蒸发量与气温变化趋势相反,与本文的结论不同,这可能与地理区域因素影响有关。于占江^[17]研究发现,云量和气溶胶的增加、东亚季风的减弱和气象站附近城市化发展造成风速的降低这些因素都会导致蒸发量的下降。因此在今后的研究中还需结合更多气象要素资料综合考虑进行更深入、详实的探讨,为右玉县水资源合理利用及调整农、林、牧业生产格局提供科学依据。

4 结论

1) 右玉县 60 a 降水量呈小幅上升趋势,1960—2019 年,年均降水量每 20 年呈多-少-多的分布特征。夏季降水最占全年总降水量的 77.0%,春、秋季发生干旱的频率较大,冬季降水最少。

2) 右玉县 60 a 气温呈上升的态势。其中,21 世纪 10 年代与 20 世纪 60 年代相比年平均气温增加了 1.29 °C,2019 年与 1960 年相比年平均气温上升了 1.0 °C,近 20 a 升高趋势异常显著。

3) 1994 年为气温序列上升突变点,降水序列未发生突变,2002 年为蒸发量序列减少突变点。

参考文献:

- [1] 周忠文,刘英,田蕴雅,等. 环县 55 年气温降水变化趋势及对干旱影响分析[J]. 中国农学通报,2014, 30(17): 215-221.
- [2] 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.
- [3] 商沙沙,廉丽妹,马婷,等. 近 54 a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征[J]. 干旱区研究,2018, 35(1): 68-76.
- [4] 马日新,黄金廷,田华,等. 格尔木河流域近 60a 降水、蒸发及温度变化特征分析[J]. 干旱区地理,2017, 40(5): 1 005-1 012.
- [5] 齐燕. 大柴旦地区降雨、温度及蒸发变化特征分析[J]. 灌溉排水学报,2021, 40(11): 115-121.
- [6] 唐凯,王让会,凌良新,等. 近 43a 潮州市蒸发变化特征及其影响因素[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2014, 6(2): 135-143.

- [7] 解建强, 宁松瑞, 杜佩德, 等. 朔州市干旱特征极其对农作物产量的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(26): 117-123.
- [8] 郭素荣. 1960—2010年青海省气候变化的时空特征分析[D]. 兰州: 西北师范大学, 2012.
- [9] 岳永杰, 乌云珠拉, 李旭, 等. 根河流域 1980—2017年气候和径流的变化特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(4): 96-105.
- [10] 马荣. 延安市 45 年降水变化趋势及突变特征分析[J]. 延安大学学报 (自然科学版), 2016, 35(3): 95-99.
- [11] 马雪宁, 张明军, 王圣杰, 等. “蒸发悖论”在黄河流域的探讨[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 645-656.
- [12] RODERICK M L, FARQUHAR G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years[J]. Science, 2002, 298(15): 1 410-1 411.
- [13] 孙从建, 郑振婧, 李伟, 等. 1964—2017年山西省潜在蒸发量时空变化及其影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2019, 26(5): 229-235.
- [14] 禹东晖, 姬鸿丽, 孟丽丽. 嵩县近 45a 蒸发量变化特征及其影响因素研究[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(S1): 57-61.
- [15] 李延林, 许显花, 刘义花, 等. 青海黄南地区近 54 年蒸发量变化特征及其影响因子[J]. 气象科技, 2019, 47(2): 269-275.
- [16] 刘美玲, 王子佳, 朱丽丽, 等. 齐齐哈尔地区蒸发量与气象因子间灰色关联分析[J]. 东北水利水电, 2018(3): 12-17.
- [17] 于占江, 杨鹏. 近 40 年京津冀蒸发皿蒸发量变化特征及影响因子[J]. 气象科技, 2018, 46(6): 1 180-1 187.

Characteristics of Precipitation, Air Temperature and Evaporation in Youyu, Shanxi During 1960—2019

XIE Jianqiang¹, CAI Xia^{1*}, NING Songrui², CAI Lin³, SUN Xiwang⁴

(1. Shuozhou Meteorological Bureau, Shuozhou 036002, China; 2. State Key Laboratory of Ecological Water Conservancy in Northwest arid Areas Jointly Built by the Ministry and the Province of Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

3. Heze Shangdong University, Heze 274000, China; 4. Xinjiang Shuilvfang Project Management Co., Ltd, Urumqi 830000, China)

Abstract: 【Objective】 To study the change rules of precipitation, air temperature and evaporation in Youyu County under the background of climate change, so as to rationally use climate resources and efficiently use precipitation resources. 【Method】 The monthly precipitation, temperature and evaporation in Youyu County from 1960 to 2019 were systematically analyzed by using anomaly analysis method, linear trend estimation method and Mann-Kendall test method. 【Result】 Precipitation increased, air temperature increased and evaporation decreased in Youyu County. According to the Mann-Kendall mutation test and the sliding T test, the year 1994 was the abrupt change point of the rising temperature series, while the year 2002 was the abrupt change point of the decreasing evaporation series. 【Conclusion】 The research results can provide scientific reference for agricultural irrigation, ecological environment improvement and so on.

Key words: Youyu County; precipitation; temperature; evaporation; mutation; wavelet

责任编辑: 韩 洋