

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2019.06.17

蚂蚁森林种植地鄂尔多斯市 1959 - 2018 年 气温及降水变化特征研究

马凯¹, 徐玉霞^{1,2}, 方锋³

(1. 宝鸡文理学院 地理与环境学院, 陕西 宝鸡 721013; 2. 宝鸡文理学院灾害监测与机理模拟
陕西省重点实验室, 陕西 宝鸡 721013; 3. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 基于鄂尔多斯市 3 个气象站点 1959 - 2018 年逐月降水及气温数据, 使用 M - K 检验法、滑动平均、Morlet 小波分析法、线性回归及 R/S 分析法, 对蚂蚁森林种植地鄂尔多斯市 1959 - 2018 年气温及降水特征进行分析。结果表明: 近 60 年鄂尔多斯市年平均气温、年降水量和年极端气温呈上升趋势, 气候正向暖湿化发展; 1993、1970、1987 和 1961 年分别为年平均气温和年极端最高、最低气温以及年降水量的突变时间; 年极端最低、最高气温和年降水量以及年平均气温的共振周期为 28 a; 在鄂尔多斯市未来气候变化特征分析的 Hurst 指数中, 年降水量小于 0.5, 年极端最低气温、最高气温和年平均气温均高于 0.5, 表明气温在未来一段时期还会呈上升趋势, 降水则呈下降趋势。

关键词: 蚂蚁森林; 气温; 降水; 变化特征; 鄂尔多斯市

中图分类号: P467 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2019)06-0109-07

Study on temperature and precipitation change characteristics of ant forest plantation in Ordos City from 1959 to 2018

MA Kai¹, XU Yuxia^{1,2}, Fang Feng³

(1. School of Geography and the Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China; 2. Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China; 3. Lanzhou Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the monthly precipitation and temperature data of three meteorological stations in Ordos from 1959 to 2018, the characteristics of temperature and precipitation in Ordos from 1959 to 2018 were analyzed using the M - K test, moving average, Morlet wavelet analysis, linear regression and R/S analysis. The results show that in the past 60 years, annual average temperature, annual precipitation and annual extreme temperature in Ordos City showed an upward trend, and the climate was warming and humidifying. The abrupt change time of annual average temperature, annual extreme maximum temperature, minimum temperature and annual precipitation were 1993, 1970, 1987 and 1961, respectively. 28 a is the resonance period of annual extreme minimum, maximum temperature, annual precipitation and annual average temperature. In the Hurst index of future climate change analysis in Ordos City, annual precipitation is less than 0.5, annual extreme minimum temperature, maximum temperature and annual average temperature are higher than 0.5, indicating that the temperature will increase in the future, while precipitation will decrease.

Key words: ant forest; temperature; precipitation; change characteristics; Ordos City

收稿日期: 2019-05-23; 修回日期: 2019-07-11

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41705062); 甘肃省气象局人才项目(GSMArc2019-06); 陕西省社会科学基金项目(2015D057); 陕西省教育科学十三五规划课题(SGH16H168); 宝鸡文理学院研究生创新科研项目(YJSCX18YB04); 陕西省重点学科自然地理学资助项目

作者简介: 马凯(1994-), 男, 山西运城人, 硕士研究生, 研究方向为气候变化。

通讯作者: 徐玉霞(1978-), 女, 陕西府谷人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为区域经济与防灾减灾。

1 研究背景

IPCC 第五次评估报告指出,随着人类活动的加剧,在 2012 年前的 130 余年间全球平均气温上升显著,增长了 0.85°C ,其中尤以 20 世纪 50 年代后的增温($0.12^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)最为显著^[1]。全球气候变暖趋势的日渐显著,已使其成为全球性热点问题^[2-4],受到诸多学者和民众的广泛关注。全球气候变暖会引起洪涝、干旱等灾害,进而影响地球的生态环境和人类生存发展^[5-6]。中国是受旱涝灾害影响较大的国家^[7],因此对于气温及降水变化规律的研究也就显得尤为必要。

目前,国内众多学者对不同尺度下的气温和降水特征进行了研究。在海岛与其近岸陆地气候变化特征对比研究中,李嘉琪等^[8]通过距平分析和线性回归法对涠洲岛、西沙群岛及其近岸陆地 1959 - 2014 年气温和降水特征进行了分析,发现涠洲岛、西沙群岛及其近岸陆地年平均气温呈上升趋势;年降水量变化方面,海岛降水量低于陆地,其中涠洲岛及其近海陆地朝湿润化发展。在大区域尺度下的干旱区气候变化研究中,商莎莎等^[9]基于中国西北地区 1961 - 2014 年气温及降水数据,运用反距离空间插值和线性回归等方法,分析了中国西北地区气温和降水变化特征。指出西北地区降水和气温整体呈上升趋势,并向暖湿化发展,降水量表现为东多西少,天山西南地区和准格尔盆地气温上升最为显著。

近年来,针对内蒙古自治区的气温和降水变化也开展了较多研究,李虹雨等^[10]基于内蒙古自治区 1951 - 2014 年气温和降水数据,运用气候倾向率、中心聚类等方法对内蒙古自治区气温和降水特征进行分析,发现内蒙古自治区年降水量整体呈下降趋势,降水量随纬度变化,纬度越高其变化越大;年平均气温整体呈上升趋势,纬度越高气温变化越小,最低气温升高是内蒙古自治区气候变暖的首要原因。路云阁等^[11]利用小波变换对内蒙古自治区 1956 - 1995 年的气温和降水特征进行分析,表明内蒙古自治区气温和降水上升时期主要是 20 世纪 60 年代初和 90 年代初,整体表现为由暖湿向暖干转变,气候在 1994 年之后最为干燥。任建美等^[12]分析了鄂尔多斯高原 1961 - 2000 年的气温及降水特征,指出平均气温增温幅度($0.43^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)高于内蒙古自治区平均水平,鄂尔多斯高原西北部地区增温幅度最为明显;鄂尔多斯高原整体降水趋势表现为略微下降,南部地区降水量下降较为显著。

鄂尔多斯市处于内蒙古自治区的西南部和鄂尔多斯高原中心地带,是蚂蚁森林的主要种植区之一,沙漠占总地区近一半的面积,生态系统脆弱。因研究区有着丰富的天然气、煤产等资源,且地区有着库布齐、毛乌素两大沙漠,在互联网公益植树蚂蚁森林日益流行的今天,对鄂尔多斯市气候变化特征进行研究已显得尤为必要,但目前对于该方面的研究较少。本文通过对研究区 1959 - 2018 年的气温及降水进行分析,以期当地工农业发展、人民生活提供相关依据。

2 研究区概况

鄂尔多斯市($37^{\circ}35'24'' \sim 40^{\circ}51'40''\text{N}$ 、 $106^{\circ}42'40'' \sim 111^{\circ}27'20''\text{E}$)属于中国西北地区,位于内蒙古、陕西、宁夏及山西 4 省(区)的交界地,与同为蚂蚁森林主种植区的阿拉善盟隔黄河而邻。鄂尔多斯市下辖 2 区 7 旗,总面积 $86\,752\text{ km}^2$,地势东南低西北高,中部的库布齐和毛乌素沙漠占总土地面积的 47.95%,西部高原地区约占总土地面积的 1/3,高原及沙漠占研究区面积的 4/5。鄂尔多斯市属中温带大陆性季风气候,多年平均气温 6.78°C ,四季分明,尤以夏、冬二季差异显著,多年平均年降水量 339.2 mm ,降水量仅为蒸发量的 1/7 且降水大多集中在夏季。

3 数据来源与研究方法

本文所使用的气温及降水数据来自于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),选取了东胜区、伊金霍洛旗和鄂托克旗 3 个气象站点 1959 - 2018 年的月平均最低、最高气温和月平均降水量以及月平均气温数据,采用均值法并对个别缺失数据进行插补处理。运用线性回归分析^[13]和滑动平均^[14]分析了鄂尔多斯市年平均气温、年极端气温与年降水量的逐年变化特征。使用 Mann - Kendall (M - K) 检验法^[15-16]进行趋势检验, UF_k 和 UB_k 曲线在临界线 (± 1.96) 之间相交的点即为突变开始的时间, UF_k 大于 0 表明序列表现为上升,小于 0 表明序列表现为下降,超过临界值则表明序列上升(下降)趋势显著。借助 Morlet 小波分析法^[17]揭示气温及降水在时间序列上的不同变化周期。利用 R/S 分析法^[18-20]来判别时间序列变化的持续性及反持续性的强度,得出 Hurst 指数 $0.5 < H < 1$ 时,表明时间序列未来趋势的变化与之前变化趋势相同; $H = 0.5$ 时,表明时间序列为随机事件并与前后变化不相关;

$0 < H < 0.5$ 时,表明时间序列未来趋势的变化与之前变化趋势相反; H 距 1 和 0 越近,正、反持续性则越强。鄂尔多斯市蚂蚁森林地理位置及所选取的 3 个气象站点分布见图 1。

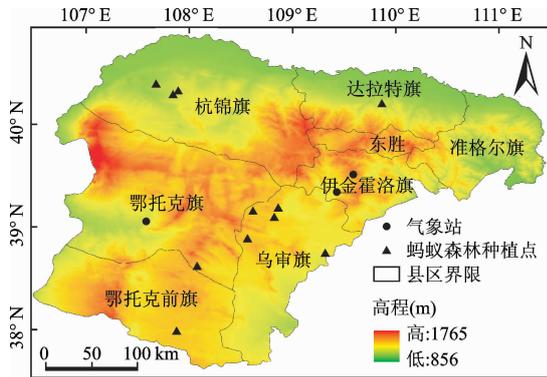


图 1 鄂尔多斯市气象站点及蚂蚁森林地理位置分布

4 结果与分析

4.1 气温变化分析

4.1.1 气温年代际变化趋势 图 2 为 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年平均气温变化特征图,由图 2 可以看出,近 60 年来鄂尔多斯市年平均气温呈显著上升趋势 ($0.38^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),高于全国平均增温速率 ($0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)^[21] 和西北干旱半干旱区增温速率 ($0.34^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)^[22]。整体上有 32 a 的年平均气温高于趋势值,有 28 a 的年平均气温低于趋势值,在趋势值之上的年份略多于低于趋势值的年份。5 a 滑动年平均气温在 1963 - 1969 年呈急剧下降,1969 - 2015 年呈波动式上升,其中 1973 - 1984 年气温变化震荡较小,处于平稳时期。多年的平均气温为 6.78°C ,年平均气温最小的年份为 1967 年 (4.94°C),最大的年份为 1998 年 (8.41°C),二者年

平均气温相差 3.47°C 。

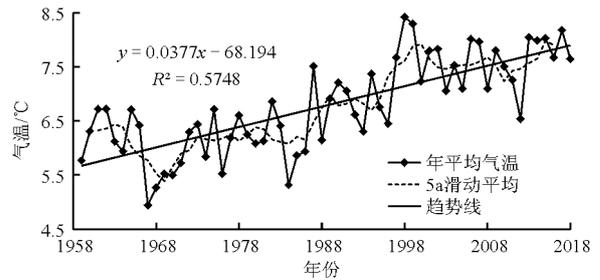


图 2 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年平均气温变化

4.1.2 极端气温年代际变化趋势 图 3 为 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年极端气温变化特征图,由图 3 可知,鄂尔多斯市近 60 年的年极端最高气温增长显著 ($0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),有 27 a 年极端最高气温高于趋势值,在趋势值之上的年份略少于低于趋势值的年份,有 33 a 年极端最高气温低于趋势值。年极端最高气温在 1962 - 1999 年呈波动式上升,1999 - 2016 年呈波动式下降。多年平均年极端最高气温为 33.57°C ,多年的年极端最高气温极大值为 2005 年和 2010 年的 36.8°C ,极小值为 1964 年的 30.27°C 。其中年极端最高气温在 1994 年提前于 4 月份出现,比多年极端最高气温出现的月份早了 3 个月。鄂尔多斯市年极端最低气温上升趋势显著,增温速率为 $0.51^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,有 29 a 年极端最低气温大于趋势值,31 a 年极端最低气温小于趋势值。年极端最低气温下降时段为 1963 - 1969 年和 1996 - 2005 年,上升时段为 1969 - 1996 年和 2005 - 2016 年。多年平均年极端最低气温为 -24.79°C ,多年的年极端最低气温极大值为 2007 年的 -19.63°C ,极小值为 1971 年的 -29.4°C ,1971 年也是同年极端最高气温和最低气温差值最大的一年,达到了 65°C 。

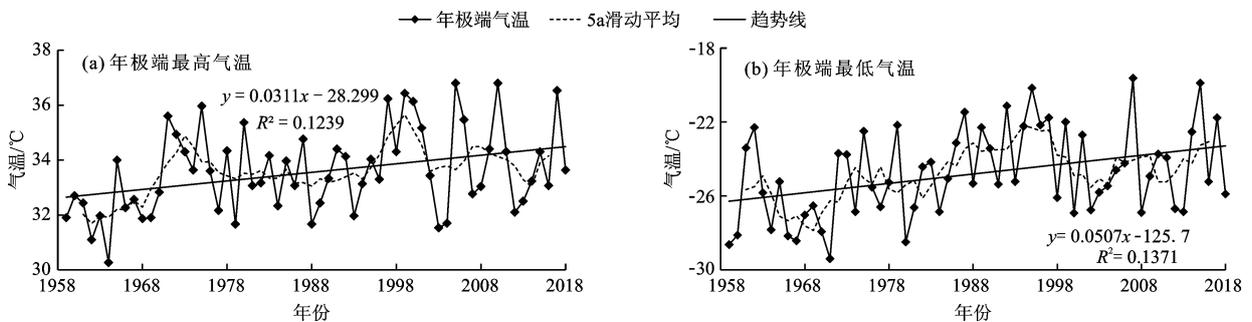


图 3 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年极端气温变化

4.1.3 气温突变分析 图 4 为 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年平均气温 Mann - Kendall 突变检验图。由图 4 可知, UF 曲线自 1987 年开始大于 0 并持续上升超过临界线 ($\alpha = 0.05$, 置信区间为 ± 1.96),在

1993 年 UF 、 UB 曲线相交于一点, UF 曲线自 1994 年开始超越临界值上限,表明鄂尔多斯市近 60 年年平均气温从 1993 年开始突变上升。图 5 为对年极端气温序列进行 M - K 突变检测图,由图 5 可以看

出, UF 曲线和 UB 曲线在置信区间内相交于 1970 年(图 5(a)), UF 曲线在 1997 年开始超越临界值上限, 表明鄂尔多斯市近 60 年年极端最高气温在 1970 年开始突变上升。 UF 、 UB 曲线于 1975 年相交于置信区间(图 5(b)), UF 曲线在 1987 年开始超越临界值上限, 表明鄂尔多斯市近 60 年年极端最低气温从 1975 年开始突变上升。

4.1.4 气温周期分析 图 6 为 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年平均气温、年极端气温小波分析图。

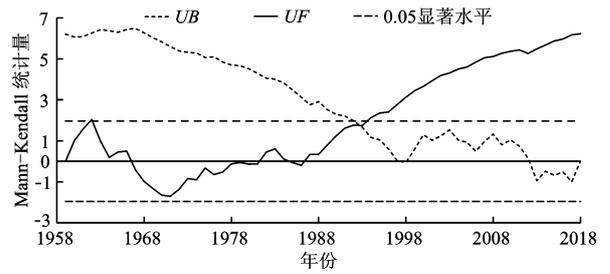


图 4 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年平均气温 Mann - Kendall 突变检验

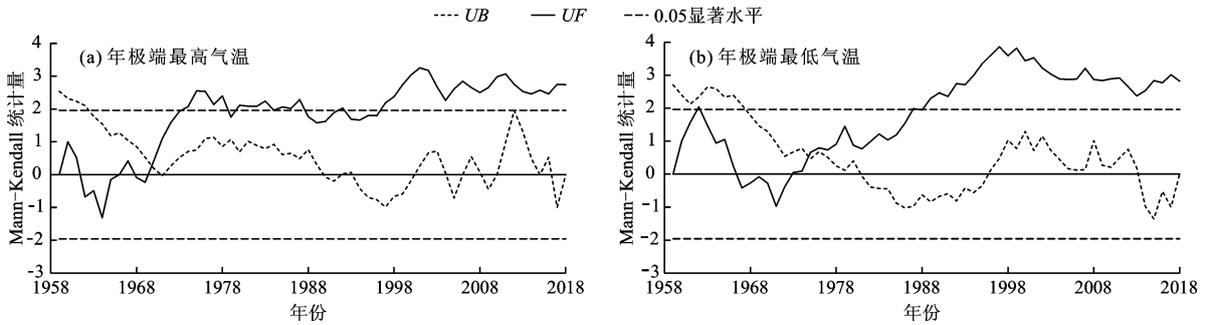


图 5 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年极端气温 Mann - Kendall 突变检验

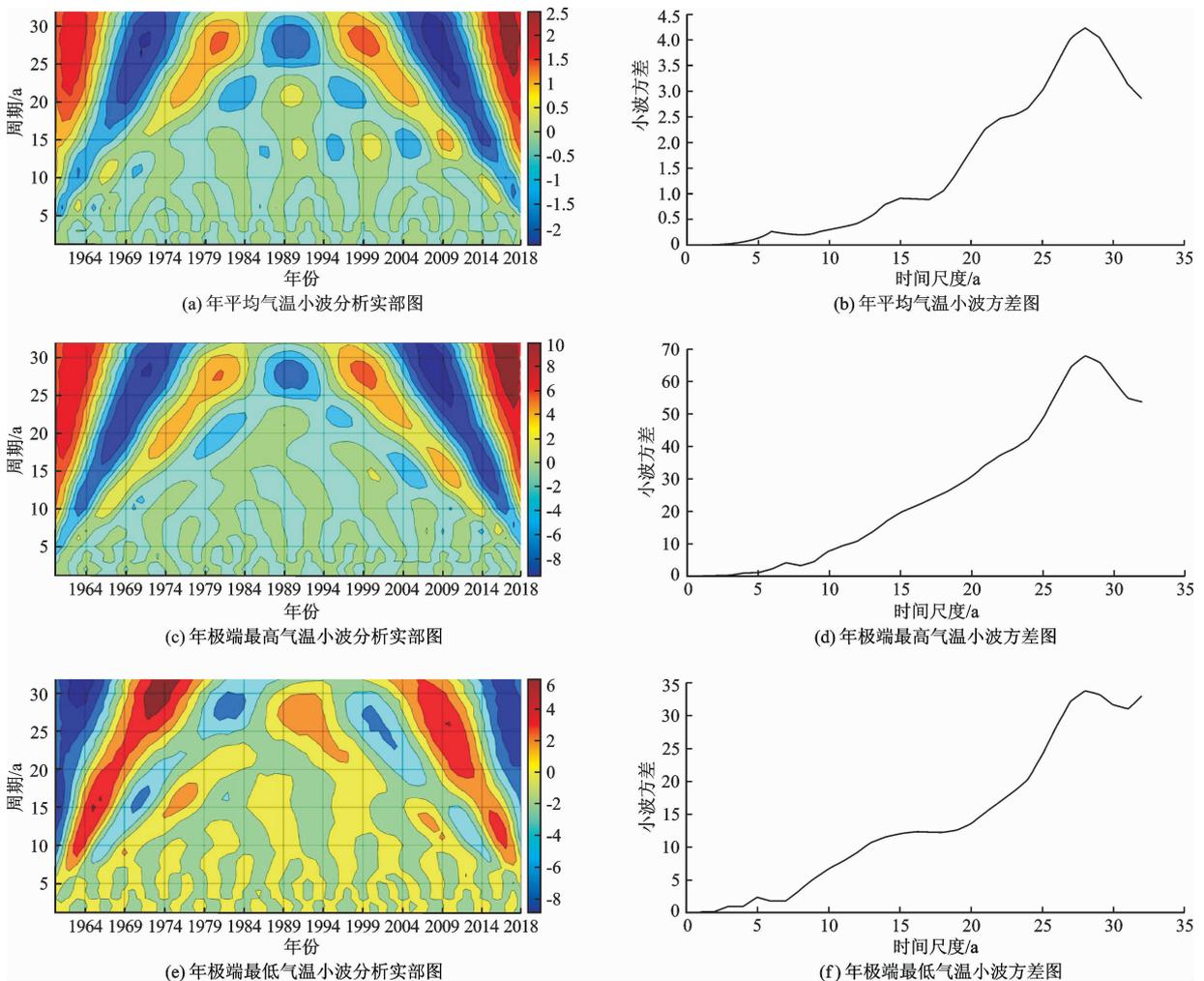


图 6 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年平均气温、年极端气温小波分析

由图 6 可知,鄂尔多斯市近 60 年年极端最高气温和年平均气温周期变化相同,存在着同为 24 ~ 32 a 的主周期变化,对应峰值均为 28 a,都经历了高 - 低 - 高 - 低 - 高等 6 次高低温交替;目前正处于年平均气温、年极端最高气温上升期,且气温上升显著。年极端最低气温存在 24 ~ 30 a 的主周期变化,对应峰值为 28 a,经历了低 - 高 - 低 - 高 - 低等 6 次冷暖交替;目前正处于年极端最低气温下降时期。28 a 左右为鄂尔多斯市近 60 年年极端最低、最高气温和年平均气温的共振周期。

4.2 降水变化分析

4.2.1 降水年代际变化趋势 图 7 为 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年降水量变化特征图。由图 7 可知,鄂尔多斯市近 60 年年降水量表现为微弱升高(0.12 mm/10a),远低于西北地区整体降水趋势(4.87 mm/10a)^[9]。整体上有 33 a 的年降水量高于趋势值,27 a 的年降水量低于趋势值。年降水量在 1962 - 1978 年、2000 - 2016 年呈波动式上升,1978 -

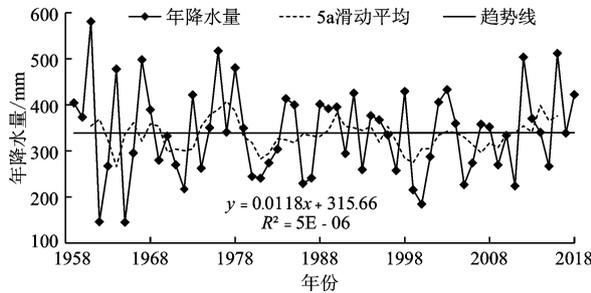


图 7 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年降水量变化

2000 年呈波动式下降。多年的平均年降水量为 339.16 mm,年降水量极值差异显著,581 mm(1961 年)与 145.03 mm(1965 年),二者相差 435.97 mm。

4.2.2 降水突变及周期分析 图 8 为 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年降水量 Mann - Kendall 突变检验图。由图 8 可知,在研究时段内,UF 曲线一直在 0 以下波动,UF、UB 曲线在置信区间内相交于 1961、1976、1978 和 2016 年,表明鄂尔多斯市近 60 年年降水量突变点较多,并于 1961 年开始突变下降,其之后的 57 a 平均年降水量为 333.19 mm,低于多年平均年降水量 5.97 mm。

图 9 为 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年降水量小波分析图。由图 9 可知,鄂尔多斯市近 60 年年降水量存在 4 ~ 6 a、7 ~ 9 a、11 ~ 16 a、21 ~ 24 a 和 25 ~ 32 a 的周期变化,分别对应的峰值为 5、8、13、23 和 28 a。主周期为 25 ~ 32 a,经历了高 - 低 - 高 - 低 - 高等 6 次高低交替,目前正处于鄂尔多斯市年降水量的上升时期。

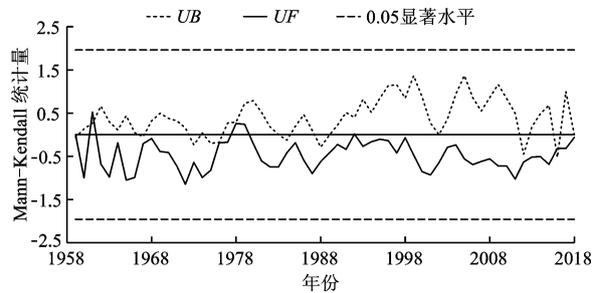
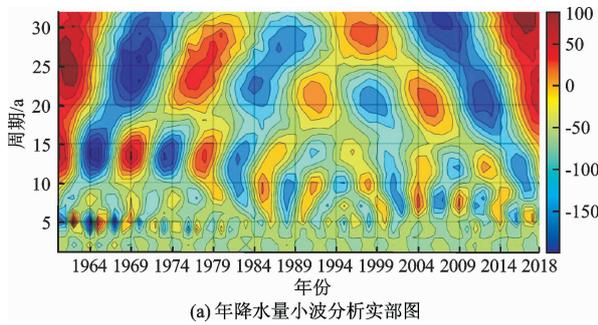
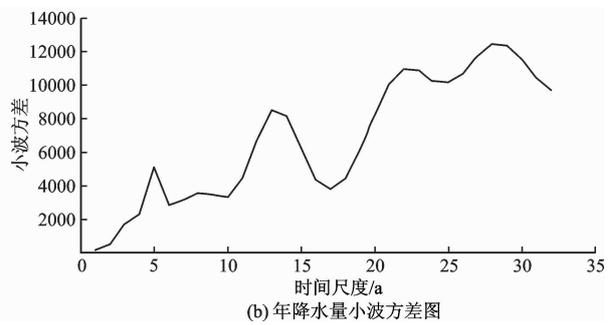


图 8 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年降水量 Mann - Kendall 突变检验



(a) 年降水量小波分析实部图



(b) 年降水量小波方差图

图 9 1959 - 2018 年鄂尔多斯市年降水量小波分析

4.3 气温及降水未来趋势分析

表 1 为根据 Hurst 指数分级^[23]的鄂尔多斯市年平均气温、年极端气温和年降水量 Hurst 指数情况。由表 1 可知,鄂尔多斯市年平均气温 Hurst 指数为 0.91,高于 0.5 且略微低于 1,持续性强度很强,表明在未来年平均气温仍呈现显著升温趋势。年极端最高气温 Hurst 指数为 0.74,大于 0.5 且接近 0.75,

持续性强度较强,表明在未来年极端最高气温会仍然延续增长趋势。年极端最低气温 Hurst 指数为 0.76,大于 0.5 且接近 0.8,持续性强度强,表明未来时间内年极端最低气温仍会呈上升趋势。年降水量 Hurst 指数为 0.39,低于 0.5 且接近 0.35,较弱强度的反持续性,表明未来时间内年降水量会与现有趋势呈相反方向发展,可能呈现小幅度下降趋势。

整体来看,鄂尔多斯市未来气温与降水特征呈增温和减湿趋势,气候向暖湿化发展趋势减缓,转为向暖干化发展。

表1 鄂尔多斯市气温及降水 Hurst 指数

气候因子	Hurst 指数	持续性强度
年平均气温	0.91	很强
年极端最高气温	0.74	较强
年极端最低气温	0.76	强
年降水量	0.39	较弱

5 讨论

在人类活动加剧导致全球气候变暖的大背景下,以及蚂蚁森林互联网公益植树流行的今日,对人们生活中关联紧密、更为关注的地区气候特征进行分析。分析表明研究区气温增长速度快,降水少且增长速度缓慢,此结果表明在未来一段时间内,气候条件恶劣的情况将会继续深化。蚂蚁森林在该地区种植有着极为重要的现实意义,后续扩大种植将益于改善鄂尔多斯市的生态环境。

对鄂尔多斯市气温和降水量进行研究,杨雪昆^[24]运用趋势分析、累积距平和信噪比方法分析了鄂尔多斯市 1961-2013 年气温及降水量特征,研究发现:鄂尔多斯市 53 a 年平均气温增温显著(0.39℃/10a),突变时间是 1986 年;年降水量呈下降趋势,下降速率为 0.27 mm/10a,突变时间不明显,气候暖干趋势明显。本文在继承前人的研究基础上,利用 M-K 检验、滑动平均、Morlet 小波分析、线性回归及 R/S 分析对鄂尔多斯市 1959-2018 年气温及降水特征进行了研究,研究发现:鄂尔多斯市近 60 年平均气温上升显著,增温速率(0.38℃/10a)低于前者的研究,突变时间是 1993 年,比前者的研究结果要晚 7 a;年降水量趋势不同于前者,呈微弱上升趋势(0.12 mm/10a),突变时间是 1961 年,气候由暖干向暖湿转变。与前者气候倾向率的偏差应该与所选取站点和时间尺度的不同有关,突变时间的偏差主要与采用的突变分析方法和选取站点的不同相关。后续的相关研究应考虑这些偏差因素,从而选取对于研究方向最优的方法。对蚂蚁森林种植地鄂尔多斯市这一典型的干旱、半干旱地区近 60 年气温及降水特征进行研究,以期更好地让人们了解自己所植树地区的气候特征。借此提升我国民众的环保意识,更多参与到绿色公益中,并以科学

依据指导当地人民生活,为未来相关研究提供参考。

6 结论

基于鄂尔多斯市 3 个气象站点月气温、降水数据,对鄂尔多斯市 1959-2018 年气温和降水量特征进行了研究,结论如下:

(1)1959-2018 年鄂尔多斯市年降水量增长速度缓慢,仅为 0.12 mm/10a,远低于全国整体上升趋势。年极端气温和年平均气温均呈上升趋势,其中尤以年极端最低气温增长最为显著,为 0.51℃/10a,此结果验证了全球气候变暖的事实。鄂尔多斯市气温增速快、极端气温差异大、降水量低,不适宜大多数绿植生长,使得沙漠逐渐扩张,也正因此使其成为了蚂蚁森林主要种植区之一。

(2)1959-2018 年鄂尔多斯市年平均气温和年极端最高、最低气温分别于 1993、1970 和 1987 年开始突变上升,其中年极端最高气温对全球气候变暖响应最为敏感。年降水量突变时间最早,自 1961 年开始降水减少,比年平均气温突变时间要早上 32 a。

(3)24~32 a 为 1959-2018 年鄂尔多斯市年极端最高气温和年平均气温均存在的周期变化,且二者周期变化过程较为相近,年极端最低气温存在 24~30 a 的周期变化,气温周期变化与太阳活动周期联系紧密。25~32 a 为年降水量多尺度周期的主周期,28 a 左右的周期为鄂尔多斯近 60 年年平均气温、年极端最高和最低气温及年降水量的共振周期。

(4)鄂尔多斯市在未来一段时间内年降水量会呈下降趋势(Hurst 指数 $H < 0.5$),年极端最低、最高气温和平均气温则呈上升趋势(Hurst 指数 $H > 0.5$)。此结果表明未来一段时间内鄂尔多斯市气候变化向暖干化发展,生态环境恶劣程度加深,可以基于此研究成果加强当地生态管控。

(5)在对鄂尔多斯市气候变化研究上除自然因素外,人为因素对其影响也颇深。在以后的相关研究中,应该充分考虑人类活动和后续蚂蚁森林在该区域不断扩大种植对气候变化的影响。也可结合遥感技术,分析研究区内近年来 NDVI 指数的时空变化与当地蚂蚁森林种植的相关性,以更好地揭示蚂蚁森林种植对当地植被覆盖和气候的影响。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment re-

- port of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA Cambridge University Press, 2013:383-464.
- [2] 郑景云,方修琦,吴绍洪. 中国自然地理学中的气候变化研究前沿进展[J]. 地理科学进展, 2018,37(1):16-27.
- [3] 张兰生,方修琦,任国玉. 全球变化[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [4] 安芷生,符淙斌. 全球变化科学的进展[J]. 地球科学进展, 2001,16(5):671-680.
- [5] BOCCOLARI M, MALMUSI S. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy[J]. Atmospheric Research, 2013,122:16-31.
- [6] 徐飞,贾仰文,牛存稳,等. 横断山区气温和降水年季月变化特征[J]. 山地学报, 2018,36(2):171-183.
- [7] 张悟颖,孙维君,张玉伦. 1960-2012年西藏林芝气温和降水变化[J]. 中国沙漠, 2018,38(5):1086-1092.
- [8] 李嘉琪,白爱娟,蔡亲波. 西沙群岛和涠洲岛气候变化特征及其与近岸陆地的对比[J]. 热带地理, 2018,38(1):72-81.
- [9] 商沙沙,廉丽姝,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.
- [10] 李虹雨,马龙,刘廷玺,等. 1951-2014年内蒙古地区气温、降水变化及其关系[J]. 冰川冻土, 2017,39(5):1098-1112.
- [11] 路云阁,李双成,蔡运龙. 近40年气候变化及其空间分异的多尺度研究——以内蒙古自治区为例[J]. 地理科学, 2004,24(4):432-438.
- [12] 任建美,尤莉,高建峰,等. 鄂尔多斯高原近40 a气候变化研究[J]. 中国沙漠, 2005,25(6):874-879.
- [13] 陈彦光. 地理数学方法:基础和应用[M]. 北京:科学出版社, 2008:40-42.
- [14] 王朋,张蓓蓓. 安康气象站1953-2016年气温变化特征研究[J]. 水资源与水工程学报, 2018,29(6):94-99.
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京:气象出版社, 2007.
- [16] 闫军辉,张向敏,周红升,等. 1951-2015年河南省温度变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017,31(7):102-107.
- [17] 许小明,徐玉霞,雷雯. 近60年宝鸡市主城区极端天气变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018,29(1):67-74.
- [18] HURST E H. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 1951,116:770-808.
- [19] RAY R, KHONDEKAR M H, GHOSH K, et al. Scaling and nonlinear behaviour of daily mean temperature time series across India[J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2016,84:9-14.
- [20] 丁之勇,鲁瑞洁,刘畅,等. 环青海湖地区气候变化特征及其季风环流因素[J]. 地球科学进展, 2018,33(3):281-292.
- [21] 任国玉,初子莹,周雅清,等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005,10(43):701-716.
- [22] 陈少勇,郭江勇,郭忠祥,等. 中国西北干旱半干旱区年平均气温的时空变化规律分析[J]. 干旱区地理, 2009,32(3):364-372.
- [23] 冯新灵,冯自立,罗隆诚,等. 青藏高原冷暖气候变化趋势的R/S分析及Hurst指数试验研究[J]. 干旱区地理, 2008,31(2):175-181.
- [24] 杨雪昆. 鄂尔多斯市近53年气温降水变化特征分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(5):45-46+55.