

关中平原降水、蒸发和降水蒸发差时空变化特征

樊丹丹^{1,2}, 邓芳莲¹, 曲颖慧³

¹陕西省气象信息中心, 陕西 西安

²秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室, 陕西 西安

³象山县气象局, 浙江 宁波

收稿日期: 2022年12月13日; 录用日期: 2023年1月10日; 发布日期: 2023年1月18日

摘要

利用1970~2020年35个国家自动气象站降水、气温、相对湿度等资料,对关中平原降水、蒸发、降水蒸发差时空变化特征及影响因子进行分析。结果表明: 1) 关中平原东北部降水、蒸发及降水蒸发差偏小,西南部偏大,西北部降水较大但蒸发较小,降水蒸发差较大;除秦岭北麓附近低海拔区域外关中平原降水蒸发差均呈下降趋势; 2) 近51a关中平原春、夏、秋季降水、蒸发及降水蒸发差呈下降趋势,春季下降最明显,20世纪90年代末4个季节降水蒸发差最小,7~10月降水、蒸发及降水蒸发差大,5~6月降水量较大,蒸发旺盛,降水蒸发差偏小,其余月份降水、蒸发及降水蒸发差小; 3) 关中平原降水、蒸发变化的主周期分别为16~34a和27~28a;在4~8a尺度上存在相对较强的降水蒸发差变化; 4) 气温和相对湿度是影响关中平原降水、蒸发、降水蒸发差的主要气象因子,降水蒸发差与气温、相对湿度呈显著正相关。

关键词

降水蒸发差, 降水, 蒸发, 小波分析, 关中平原

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Precipitation, Evaporation and Precipitation-Evaporation Difference in Guanzhong Plain

Dandan Fan^{1,2}, Fanglian Deng¹, Yinghui Qu³

¹Shaanxi Meteorological Information Center, Xi'an Shaanxi

²Key Laboratory of Eco-Environmental Meteorology for Qinling Mountains and Loess Plateau, Xi'an Shaanxi

³Xiangshan County Meteorological Bureau, Ningbo Zhejiang

Received: Dec. 13th, 2022; accepted: Jan. 10th, 2023; published: Jan. 18th, 2023

Abstract

By using the precipitation, temperature, relative humidity and other data of 35 national automatic weather stations during the period of 1970 to 2020, the temporal and spatial variation characteristics and its influencing factors of precipitation, evaporation and precipitation-evaporation difference in Guanzhong Plain are analyzed. The results show that: 1) The precipitation, evaporation and precipitation-evaporation difference in the northeastern of Guanzhong Plain are relatively little, while they are large in the southwest. In the northwest of Guanzhong Plain, precipitation-evaporation difference is large due to the relatively large precipitation and little evaporation. The precipitation-evaporation difference in Guanzhong Plain shows a downward trend except for low-altitude areas near the northern foot of Qinling Mountain. 2) In the past 51 years, precipitation, evaporation and precipitation-evaporation difference in Guanzhong Plain shows a downward trend in spring, summer, autumn, and an insignificant upward trend in winter, among them the most obvious decline are in spring, and the precipitation-evaporation difference is the smallest in all seasons in the late 1990s. Precipitation, evaporation and precipitation-evaporation difference are all large from July to October in Guanzhong Plain, and precipitation-evaporation difference is relatively small from May to June owing to large precipitation and strong evaporation. In the rest of the month, the three variables are all small. 3) The main period of precipitation and evaporation change in Guanzhong Plain is 16~34, 27~28 years respectively, and precipitation-evaporation difference change is relatively strong on the scale of 4~8 years. 4) Temperature and relative humidity are the main meteorological factors which affecting the precipitation, evaporation, and precipitation-evaporation difference in Guanzhong Plain. Precipitation-evaporation difference has a significant positive correlation with air temperature and relative humidity.

Keywords

Precipitation-Evaporation Difference, Precipitation, Evaporation, Wavelet Analysis, Guanzhong Plain

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

关中平原位于陕西中部，西起宝鸡，东至渭南，南接秦岭，北接渭河北山，经纬度范围为33.58°~35.87°N、106.30°~110.63°E，是陕西经济社会发展的核心区域。降水是关中平原水分收入的主要途径，蒸发是其水分支出的重要形式，降水蒸发差可以反映关中平原水文收支状况，以上三者对区域水资源变化趋势有很大影响，在气候、农业、水文等领域的研究中具有重要意义[1] [2]。关中平原属温带大陆性气候，主要特征为冬春降水较少，春旱、伏旱频繁，水资源短缺是制约关中平原经济发展的重要因素[3] [4]。对关中平原降水、蒸发及降水蒸发差进行计算分析，深入了解其变化特征规律，可为该地区生态环境保护、水资源调度等提供科学依据。

近年来关于降水、蒸发、降水蒸发差变化特征的研究较多,曾思亮等[5]研究了广东省龙川县降水蒸发差的变化特征,杨璐等[6]、邹文安等[7]分析了吉林省蒸发量、水资源的时空分布特征,罗永祥等[8]针对贵州省降水蒸发差的时空分布特征进行了研究,Yang等[9]、王爱慧等[4]分析了中国西北地区降水、陆地水分收支的变化特征,上述研究有助于水资源合理调度与管理。对于关中平原水分收支情况前人也有相关研究,雷向杰等[10]、李凤等[11]研究了关中平原旱涝时空变化规律,邓芳莲和妙娟利[12]、张朝逢等[13]分别分析了关中平原潜在蒸发量的变化特征,目前尚未有研究对关中平原降水量、实际蒸发量及降水蒸发差变化特征进行综合分析。本文利用关中平原35个国家自动气象站1970~2020年51年月值资料,通过对关中平原月、季、年平均降水、蒸发、降水蒸发差的变化趋势、变化周期及影响因子进行分析,以期对关中平原水资源的综合开发利用提供依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料介绍

1970~2020年国家自动气象站观测资料来源于“气象大数据云平台”,观测要素包括降水量、气温、相对湿度、日照时数、风速等,时间分辨率为逐月。所有观测数据均经过气象资料业务系统(MDOS)进行严格质量控制,剔除异常值和缺省值,最终选取关中平原数据较完整的35个国家自动气象站用于研究。文中季节划分采用气象划分法,即当年3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12月~次年2月为当年冬季。

2.2. 蒸发量计算方法

蒸发量是一定时段内水分经蒸发而散布到空中的量,目前国家自动气象站蒸发器观测的蒸发量为有限水面的自由蒸发,反映的是该观测站的蒸发能力,代表地表的蒸发能力,而不能代表实际蒸发[12]。本文中蒸发量为陆面蒸发量,是指地面的实际蒸发量,根据平均降水量和月平均气温对陆面蒸发量进行估算的计算公式较多,包括彭曼公式、桑斯威特公式、哈格里韦斯公式以及高桥浩一郎公式等。其中,高桥浩一郎公式应用较为广泛,且适用于我国北方地区的陆面蒸发量的计算[6][14][15]。本文采用高桥浩一郎公式计算陆面蒸发,公式如下:

$$E = \frac{3100 \times P}{3100 + 1.8 \times P^2 \times e^{\frac{34.47}{235+T}}}$$

其中, E 为月地面蒸发量(单位: mm), P 为月总降水量(单位: mm), T 为月平均气温(单位: °C)。用月降水量数据减去计算出的月实际蒸发量,得到各站的月降水蒸发差。

2.3. Morlet小波分析

小波变换是一种基于傅里叶变换的方法,通过序列的“时频”信息区分时间序列在不同尺度上的演化特征,能清晰的揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期。小波的表达形式较多,其中大气科学以及水文水资源科学等研究中常用的是Morlet小波分析方法[16][17][18],其函数表达式如下:

$$\varphi(t) = e^{ict} + e^{-\frac{t^2}{2}}$$

式中, i 是一个虚数, t 为时间, c 为无量纲频率。通过小波变换方程得到小波系数,将小波系数的平方值在平移参数域上积分可得到小波方差。

3. 关中平原降水蒸发差分布特征及变化趋势

3.1. 空间变化特征

图 1 为关中平原 1970~2020 年平均降水、蒸发及降水蒸发差的空间分布情况。51a 中, 关中平原东北部降水、蒸发及降水蒸发差普遍偏小, 偏小的站点自秦都站至韩城站呈现西南-东北向带状分布; 其中澄城、大荔、蒲城、富平、高陵、泾阳、秦都站降水、蒸发及降水蒸发差均最小, 多年平均降水量小于 540 mm, 蒸发量小于 402 mm, 降水蒸发差小于 137 mm, 表明这些地区水汽含量低, 空气干燥, 储水量较小。关中平原南部降水、蒸发和降水蒸发差较大, 其中蓝田平均降水量高达 715 mm, 降水蒸发差 233 mm, 表明该地可利用水资源相对丰富。关中平原西北部的长武、旬邑、麟游站降水量介于 584~628 mm 之间, 但蒸发量均小于 402 mm, 降水蒸发差较大, 其中麟游降水蒸发差达 231 mm, 仅次于蓝田, 说明这些地区虽降水偏少, 但其储水能力相对较强。关中平原四季蒸发量空间分布与年分布特征基本一致(图略)。

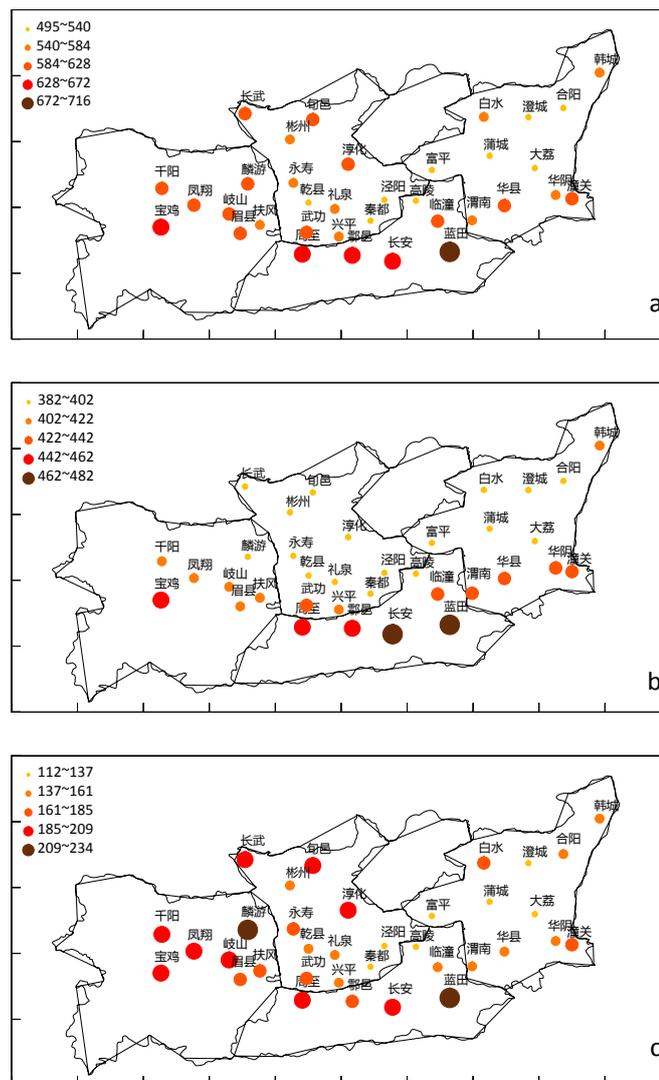


Figure 1. Spatial distribution of average precipitation (a), evaporation (b) and precipitation-evaporation difference (c) at each station from 1970 to 2020

图 1. 1970~2020 年各站平均降水(a)、蒸发(b)、降水蒸发差(c)空间分布

图 2 是 1970~2020 年各站降水、蒸发及降水蒸发差的变化倾向率，关中平原中部降水呈增加趋势，东西部降水呈降低趋势，35 站平均变化倾向率为 $-0.24 \text{ mm}/10\text{a}$ 。除韩城、澄城、白水、华阴外，其余站点蒸发均呈增加趋势，35 站蒸发平均变化倾向率为 $4.47 \text{ mm}/10\text{a}$ 。关中平原降水蒸发差总体呈下降趋势，35 站平均变化倾向率为 $-4.70 \text{ mm}/10\text{a}$ ，降水蒸发差增加的站主要集中在关中平原南部，这些站点均靠近秦岭且海拔偏低；位于关中平原北部的长武站降水蒸发差虽也有增加，但其变化倾向率仅为 $0.08 \text{ mm}/10\text{a}$ 。上述分析表明，秦岭北麓附近海拔较低的区域储水量增加，而关中平原其他区域水资源均存在不同程度的减少。

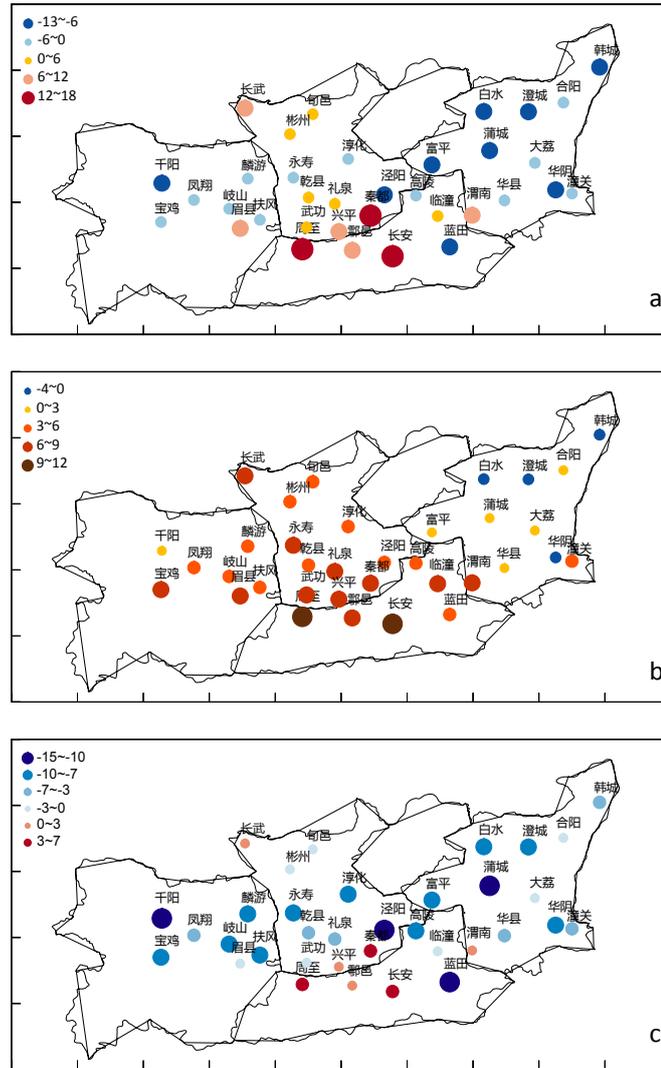


Figure 2. Spatial distribution of climate change trend rate of precipitation (a), evaporation (b) and precipitation-evaporation difference (c) at each station from 1970 to 2020

图 2. 1970~2020 年各站降水(a)、蒸发(b)、降水蒸发差(c)气候变化倾向率的空间分布

3.2. 变化趋势分析

为进一步了解关中平原各季节降水、蒸发及降水蒸发差的变化情况，分别对 1970~2020 年 4 个季节的降水、蒸发及降水蒸发差距平变化趋势进行分析(见图 3)。近 51a 以来，春、夏、秋 3 个季节降水蒸发

差均呈下降趋势,也就是说,年际尺度的降水蒸发差下降趋势由春、夏、秋三个季节共同主导。其中春季下降趋势最为明显,秋季次之,夏季较弱。降水、蒸发的变化趋势与降水蒸发差基本类似,将各个季节降水蒸发差变化情况进行线性拟合,其趋势方程见图 3,关中平原的年降水蒸发差变化倾向率分别为春季 $-2.475 \text{ mm}/10\text{a}$ 、夏季 $-0.537 \text{ mm}/10\text{a}$ 、秋季 $-1.823 \text{ mm}/10\text{a}$ 。冬季降水蒸发差的变化较小,呈不显著的上升趋势,线性拟合趋势方程为 $y = 0.0032x - 0.0842$,即关中平原冬季的年均降水蒸发差每 10a 仅升高约 0.032 mm 。春季和夏季是关中平原农作物生长旺盛期,也是缺水的关键时期,降水蒸发差降低说明近年来关中平原水分供需矛盾愈加突出。

此外,由图 3 可知,各季节降水、蒸发、降水蒸发差均存在年际差异,关中平原春季降水、蒸发及降水蒸发差最大的年份出现在 1998 年,降水量、蒸发量最小的年份为 2001 年,降水蒸发差最小的年份为 2000 年,2001 年春季降水仅为春季平均降水的 15.8%;夏季降水蒸发差最大的年份出现在 1981 年,降水、蒸发、降水蒸发差最小的年份出现在 1997 年,1997 年夏季降水仅为夏季平均降水的 31.35%;秋季降水蒸发差最大的年份为 2011 年,降水、蒸发、降水蒸发差最小的年份出现在 1998 年;冬季降水、蒸发均较小,大部分年份降水蒸发差较小且变化不显著,降水、蒸发及降水蒸发差最小的年份在 1999 年。通过以上分析发现,20 世纪 90 年代末的降水、蒸发、降水蒸发差均最小,表明这一阶段关中平原水资源短缺形势最为严重。

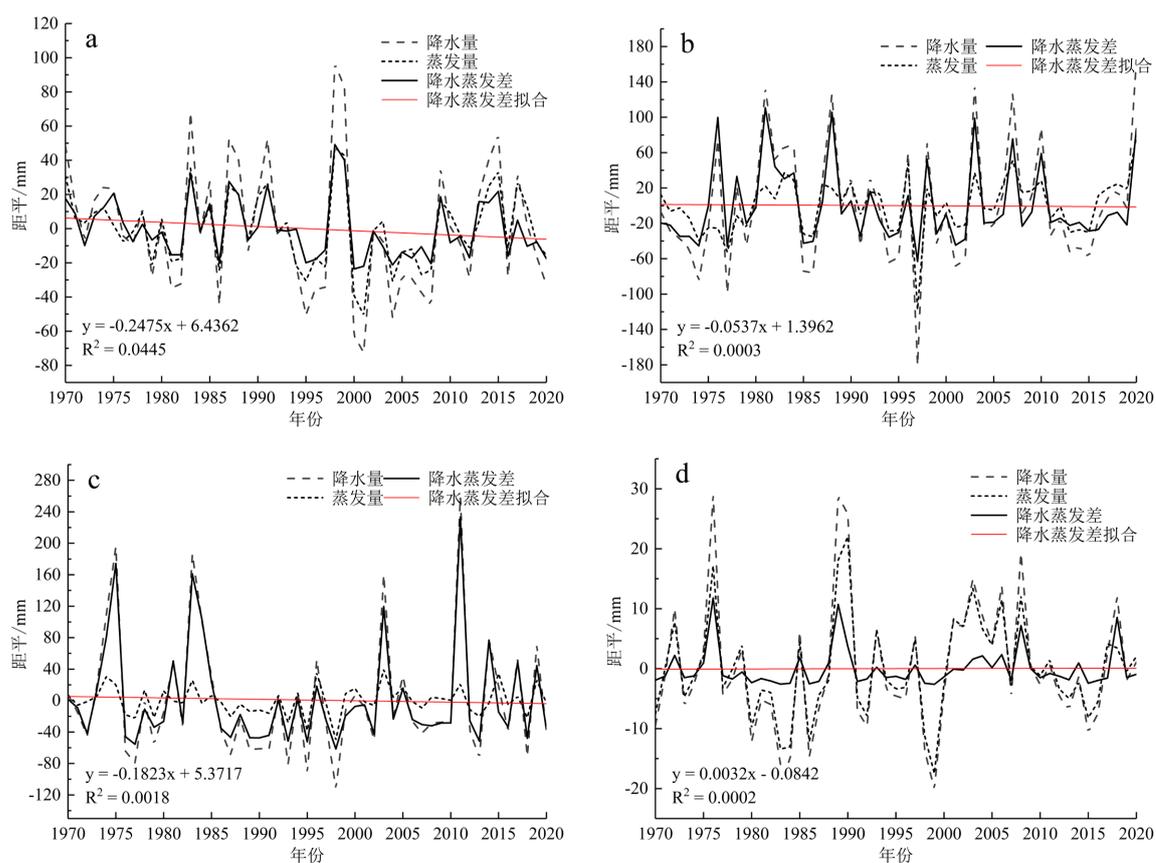


Figure 3. Average precipitation, evaporation and precipitation-evaporation difference anomaly in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) in Guanzhong Plain from 1970 to 2020

图 3. 1970~2020 年关中平原春(a)、夏(b)、秋(c)、冬季(d)平均降水、蒸发、降水蒸发差距平

对关中平原 1970~2020 年 35 个站各月降水、蒸发、降水蒸发差距平进行分析(图 4),发现三者均呈单峰

型分布，降水量峰值出现在7~9月，这3个月降水量距平值均在51 mm左右，蒸发量峰值出现在7月份，降水蒸发差峰值出现在9月，为20.3 mm。7~10月关中平原降水量大、蒸发旺盛；，9月华西秋雨波及关中平原，多阴雨天气，降水多，气温低，蒸发不旺盛，因此降水蒸发差大。5~6月降水、蒸发距平值为正值，降水蒸发差距平值为负值，表明5~6月降水量较大，但蒸发旺盛，导致降水蒸发差小；6月降水蒸发差小于5月，为-1.94 mm，6月气温高，降水相比7~10月偏少，蒸发旺盛，降水蒸发差小。1~4月、11~12月降水、蒸发及降水蒸发差距平值均为负值，其中12月降水蒸发差距平值最小，为-9.1 mm，这几个月关中平原降水稀少，气温较低，蒸发小，降水蒸发差小。

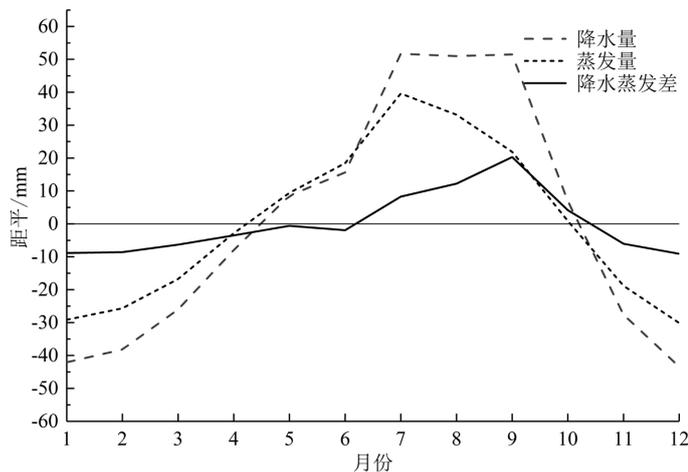
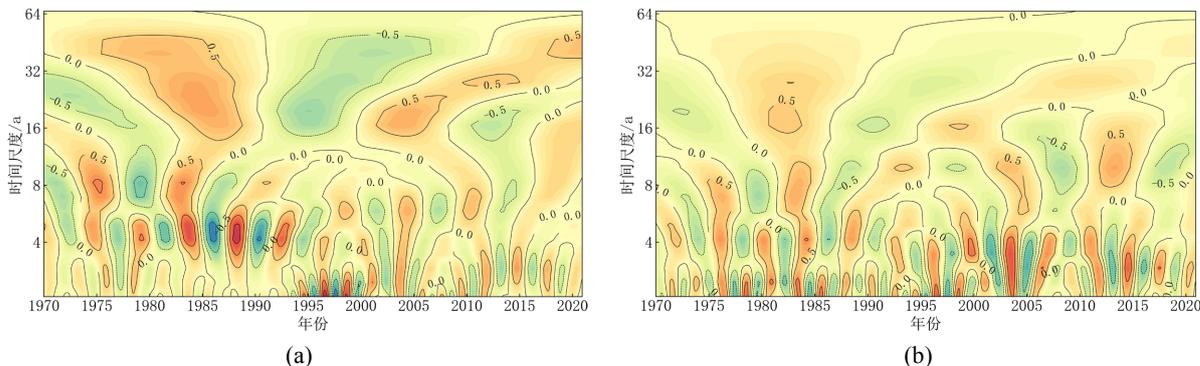


Figure 4. Monthly precipitation, evaporation and precipitation-evaporation difference anomaly in Guanzhong Plain from 1970 to 2020

图 4. 1970~2020 年关中平原月降水、蒸发、降水蒸发差距平

3.3. 周期性分析

基于前面的分析，选取蓝田站(109.32°E, 34.16°N)、韩城站(110.46°E, 35.52°N)作为关中平原代表站，使用 Morlet 小波方法分析两站的降水、蒸发、降水蒸发差的周期性特征。图 5 为小波系数实部等值线，反映了关中平原降水周期及强度。蓝田、韩城站降水主要的波动变化尺度有 2 个，主周期为 16~34a 左右，该时段的周期震荡最明显，此外还存在 6~8a 左右的波动变化，其中 1980~1995 年周期性特征较强(图 5(a)、图 5(b))。蒸发变化的周期震荡相对较弱(图 5(c)、图 5(d))。降水蒸发差的周期性特征最为明显，蓝田站在 4~8a 时间尺度上存在 8 次枯 - 丰震荡，其中心时间尺度约为 6a，韩城站在 4~8a 时间尺度上存在 6 次枯 - 丰震荡；在 32a 左右的时间尺度上，2 站均出现 2 次枯 - 丰交替变化(图 5(e)、图 5(f))。



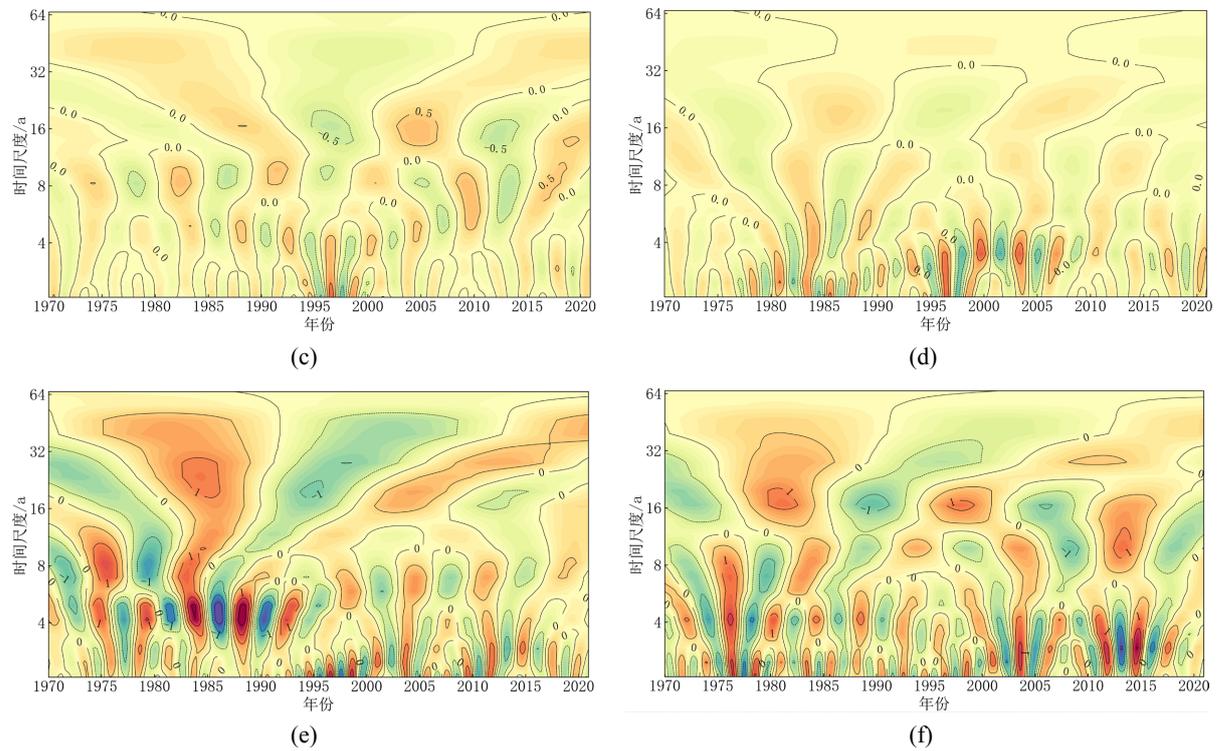
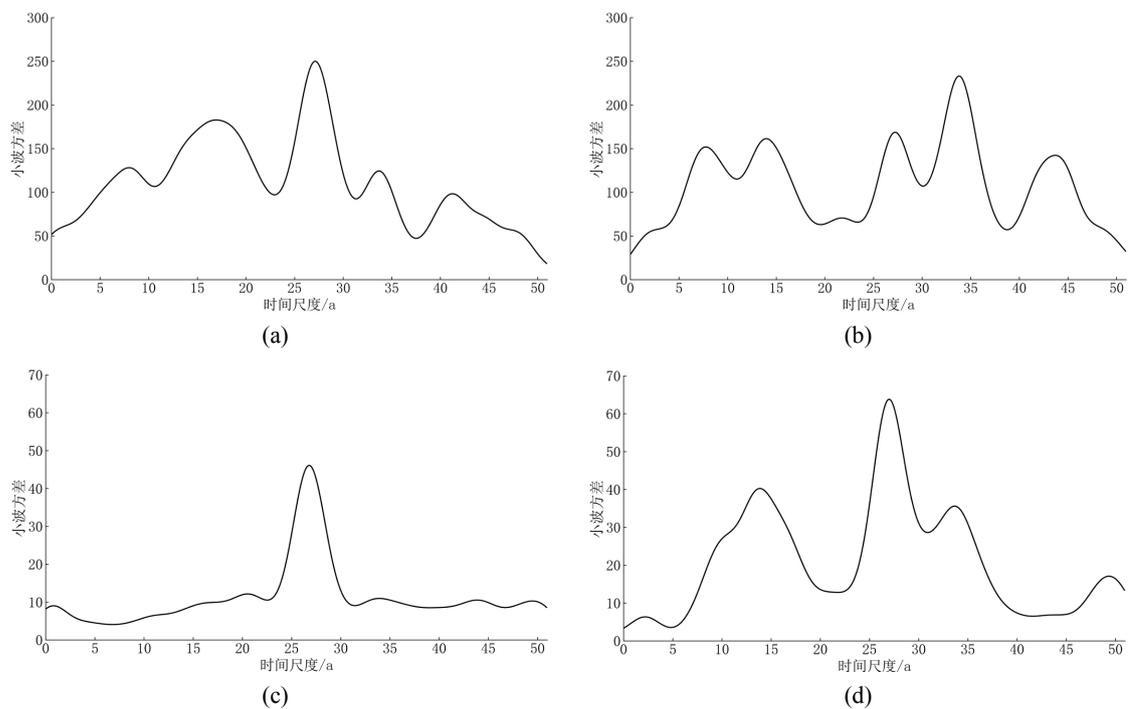


Figure 5. Real part of wavelet coefficients isoline (precipitation (a), (b)), evaporation ((c), (d)), precipitation-evaporation difference ((e), (f)); Lantian station ((a), (c), (e)), Hancheng station ((b), (d), (f))

图 5. 小波系数实部等值线(降水(a), (b)), 蒸发((c), (d)), 降水蒸发差((e), (f)); 蓝田站((a), (c), (e)), 韩城站((b), (d), (f)))

为了确定关中平原降水、蒸发、降水蒸发差演变的主要周期，计算了蓝田站、韩城站的小波方差，结果如图 6 所示。蓝田降水量变化过程中具有多个周期变化特征，分别为 7~8a、17a、28a、33~34a、



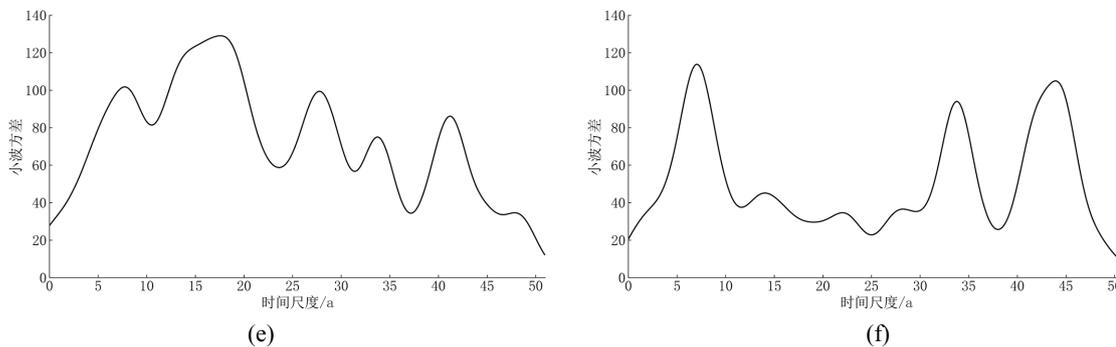


Figure 6. Wavelet variance (precipitation (a), (b)), evaporation ((c), (d)), precipitation-evaporation difference ((e), (f)); Lan-tian station ((a), (c), (e)), Hancheng station ((b), (d), (f))

图 6. 小波方差(降水(a), (b)), 蒸发((c), (d)), 降水蒸发差((e), (f)); 蓝田站((a), (c), (e)), 韩城站((b), (d), (f))

40~42a 5 个时间尺度的周期变化(图 6(a)), 其中主要时间尺度为 28a, 说明 28a 前后的周期震荡最强, 为降水量演变的主周期; 韩城也存在 5 个时间尺度的周期变化, 但其主要时间尺度为 33~34a, 其余 4 个时间尺度的周期震荡强度相当(图 6(b))。蓝田蒸发仅存在一个显著的周期变化特征, 为 27~28a (图 6(c)); 韩城站最显著的周期变化尺度也为 27~28a, 其次为 13~14a 和 34a, 分别对应蒸发演变的第 2、3 周期(图 6(d)), 该结果表明关中平原蒸发在 27~28a 的周期震荡最强。蓝田降水蒸发差变化的主周期为 17a, 第二周期为 4~8a (图 6(e)); 韩城降水蒸发差主周期为 4~8a, 17a 尺度的周期特征不显著(图 6(f))。

3.4. 影响因子分析

分析 1970~2020 年关中平原气温、相对湿度、日照时数、风速等气象因子与降水、蒸发及降水蒸发差的相关系数(见表 1), 发现降水、蒸发、降水蒸发差均与气温、相对湿度呈正相关, 蒸发与日照时数呈正相关, 降水蒸发差与日照时数呈负相关, 与风速无明显相关性。利用 *t* 检验方法[19]对关中平原降水蒸发差与各要素的相关系数进行显著性检验, 在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时, 降水、蒸发、降水蒸发差与气温、相对湿度的显著相关, 与日照时数、风速的相关不显著。可见, 影响关中平原降水蒸发差的主导气象因子为气温和相对湿度, 气温越高、相对湿度越大时, 降水、蒸发量越大, 降水增加量超过蒸发增加量, 导致降水蒸发差大。由于关中平原地处秦岭和渭北高原之间, 地势低, 风速小, 风速的年际变化不显著, 所以风速与降水蒸发差的相关性较差[20]。因此, 关中平原降水蒸发差的减少(见图 3)是年降水量、年蒸发量、年平均气温、年平均相对湿度、年日照时数等气象要素变化综合作用的体现。

Table 1. Correlation coefficient between precipitation, evaporation, precipitation-evaporation difference and other meteorological elements in Guanzhong Plain

表 1. 关中平原降水、蒸发、降水蒸发差与其他气象要素相关系数

气象要素	气温	相对湿度	日照时数	风速
降水	0.71	0.59	0.05	0.01
蒸发	0.78	0.53	0.14	0.03
降水蒸发差	0.51	0.65	-0.12	-0.02

注: 加粗表示通过了显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

4. 结论

本文利用 1970~2020 年 35 个国家自动气象站降水、气温、相对湿度等资料, 对关中平原降水、蒸发、

降水蒸发差时空变化特征及影响因子进行了分析。结果表明:

1) 关中平原东北部降水、蒸发及降水蒸发差普遍偏小,自秦都站至韩城站呈西南-东北向带状分布;关中平原西南部降水、蒸发和降水蒸发差较大;关中平原西北部降水较大但蒸发较小,降水蒸发差较大。关中平原中部降水呈增加趋势,东西部降水呈减少趋势;多数站点蒸发量增加,降水蒸发差下降,仅秦岭北麓附近海拔较低的区域降水蒸发差呈增加趋势。

2) 近 51a 关中平原春、夏、秋季降水、蒸发及降水蒸发差均呈下降趋势,且变化趋势基本类似,其中春季下降最为明显,冬季降水、蒸发及降水蒸发差较小且变化不显著。降水、蒸发、降水蒸发差存在年际差异,20 世纪 90 年代末 4 个季节的降水蒸发差均达到谷值,这一阶段关中平原水分供需矛盾最为突出。关中平原 7~10 月降水、蒸发及降水蒸发差均较大;5~6 月降水量较大,蒸发旺盛,降水蒸发差小;1~4 月、11~12 月关中平原降水稀少,蒸发小,降水蒸发差小。

3) 关中平原代表站蓝田、韩城的降水年际变化过程中具有 5 个时间尺度的周期变化特征,分别为 7~8a、17a、28a、33~34a、40~42a,其中变化的主周期为 16~34a 左右。蓝田蒸发仅存在一个显著的周期变化特征,为 27~28a;韩城站最显著的周期变化尺度也为 27~28a,其次为 13~14a 和 34a,表明关中平原蒸发在 27~28a 的周期震荡最强。蓝田降水蒸发差变化的主周期为 17a,第二周期为 4~8a,韩城降水蒸发差主周期为 4~8a,在 4~8a 时间尺度上蓝田站、韩城站分别存在 8 次、6 次枯-丰震荡。

4) 影响关中平原降水、蒸发及降水蒸发差的主导气象因子为气温和相对湿度,降水、蒸发、降水蒸发差与气温、相对湿度呈显著正相关,与日照时数呈不显著的负相关,与风速无明显相关性,气温高、相对湿度大、日照时间短时,降水蒸发差大。

基金项目

陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022Y-10)。

参考文献

- [1] 刘晶, 鲍振鑫, 刘翠善, 等. 近 20 年中国水资源及用水量变化规律与成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(4): 31-41.
- [2] 陈一. 山东省降水蒸发时空变化特征及水资源演变影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2021.
- [3] 聂雄. 关中盆地水面蒸发及其影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2018.
- [4] 王爱慧, 缪月, 陈玥. 1961-2016 年中国西北地区陆地水分收支的年代际变化特征[J]. 大气科学学报, 2020, 43(6): 953-966.
- [5] 曾思亮, 曾钦文, 林珊珊, 等. 近 55 年龙川县降水蒸发差的变化特征[J]. 广东水利水电, 2016, 3(7): 13-15.
- [6] 杨璐, 张兵兵, 王琪, 等. 吉林省蒸发量的时空分布特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 197-202.
- [7] 邹文安, 曲延光, 刘双林, 等. 吉林省水资源演变情势分析[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(12): 62-66+69.
- [8] 罗永祥, 谷晓平, 王祥, 等. 近 36a 贵州降水蒸发差的时空分布特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(1): 55-58.
- [9] Yang, P., Xia, J., Zhang, Y.Y., et al. (2017) Temporal and Spatial Variations of Precipitation in Northwest China during 1960-2013. *Atmospheric Research*, **183**, 283-295. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.09.014>
- [10] 雷向杰, 李茜, 王娟, 等. 陕西关中地区旱涝演变规律和 21 世纪旱涝特点分析[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 101-108.
- [11] 李凤, 李毅, 于强, 等. 1961-2019 年陕西省极端旱涝事件的时空演变规律[J]. 陕西气象, 2020(6): 23-29.
- [12] 邓芳莲, 妙娟利. 关中地区蒸发量变化特征分析[J]. 陕西气象, 2017, 4(6): 28-31.
- [13] 张朝逢, 陈皓锐, 岳中奇, 等. 陕西省近 30 年潜在蒸发量的时空变异规律[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(5): 18-24.
- [14] 陈燕飞, 张翔. 汉江流域降水、蒸发及径流长期变化趋势及持续性分析[J]. 水电能源科学, 2012, 30(6): 6-8+215.
- [15] 吴健华, 李培月, 钱会. 西安市气象要素变化特征及可利用降雨量预测模型[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(1): 50-54+74.

- [16] 叶许春, 许崇育, 张丹, 等. 长江中下游夏季降水变化与亚洲夏季风系统的关系[J]. 地理科学, 2018, 38(7): 1174-1182.
- [17] 曲颖慧, 樊丹丹, 高立辉. 1952~2018 年陕西省夏季温度、降水、风速演变的城郊对比[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(2): 53-64. <https://doi.org/10.12677/CCRL.2020.92006>
- [18] 刘扬, 王竹, 王芳. 青海湖流域气温降水特征分析[J]. 水文, 2022, 42(5): 1-9.
- [19] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 23-26.
- [20] 王晓萌, 延军平, 李双双, 等. 秦岭南北潜在蒸发与气温响应关系及其影响因素[J]. 干旱区地理, 2020, 43(6): 1435-1445.