

3种干旱指标在庆阳的业务适应性分析

郭海瑛^{1*}, 王 胜^{2#}, 孙子荣¹, 王 娟¹, 李巧霞¹

¹甘肃省环县气象局, 甘肃 环县

²甘肃省庆城县气象局, 甘肃 庆城

收稿日期: 2022年8月14日; 录用日期: 2022年9月12日; 发布日期: 2022年9月20日

摘 要

利用甘肃省庆阳市8个站1978~2020年逐日降水量数据以及干旱灾情数据,采用线性趋势、对比分析、小波分析等方法,分析了降水距平百分率、气象干旱综合指数MCI、标准化降水指数SPI的演变规律。结果表明:1)3种干旱指数在2017年的表现,SPI和降水距平百分率两个指数的变化趋势几乎同步,尤其在冬季两者变化趋势高度吻合,但在干旱等级上存在差异;MCI指数与其他两种指数变化趋势相差较大。2)通过分析1978年~2020年516个月的3种干旱指数计算的五种干旱等级发生频率分布,3种干旱指数分布形态基本一致;典型区无旱发生频率为58.7%~63.8%之间,轻旱以上发生频率在36.2%~41.3%;降水距平百分率指数评定为特旱的频率远远大于其他两种指数。3)通过小波分析发现,在2020年曲线即将达到闭合的状态,降水距平百分率在未来可能步入1个较小的时期。3种干旱指数评定结论与所选取的干旱年份实际旱情进行对比分析,得到降水距平百分率优于SPI指数,MCI指数表现较差的结论。

关键词

庆阳, 降水距平百分率, 气象干旱综合指数MCI, 标准化降水指数SPI, 适应性分析

Business Adaptability Analysis of Three Drought Indexes in Qingyang

Haiying Guo^{1*}, Sheng Wang^{2#}, Zizhu Sun¹, Juan Wang¹, Qiaoxia Li¹

¹Huanxian Meteorological Bureau of Gansu Province, Huanxian Gansu

²Qingcheng Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingcheng Gansu

Received: Aug. 14th, 2022; accepted: Sep. 12th, 2022; published: Sep. 20th, 2022

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 郭海瑛, 王胜, 孙子荣, 王娟, 李巧霞. 3种干旱指标在庆阳的业务适应性分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(5): 735-744. DOI: 10.12677/ccrl.2022.115077

Abstract

Based on the daily precipitation data and drought disaster data of 8 stations in Qingyang City, Gansu Province from 1978 to 2020, the evolution rules of precipitation anomaly percentage, meteorological drought composite index MCI and standardized precipitation index SPI were analyzed by using linear trend analysis, comparative analysis and wavelet analysis. The results show that: 1) in 2017, the trends of SPI and precipitation anomaly percentage are almost synchronous, especially in winter, but there are differences in drought grade. MCI index differs greatly from other two indexes. 2) By analyzing the frequency distribution of five drought grades calculated by three drought indices during the period of 516 months from 1978 to 2020, the distribution patterns of the three drought indices were basically consistent. The frequency of no drought in typical region was 58.7%~63.8%, and the frequency of light drought was 36.2%~41.3%. The frequency of precipitation anomaly percentage index as special drought is much higher than the other two indexes. 3) According to the wavelet analysis, the curve will be closed in 2020, and the percentage of precipitation anomaly may enter a relatively small period in the future. Compared with the actual drought situation in selected drought years, the percentage of precipitation anomaly is better than SPI index and MCI index is worse.

Keywords

Qingyang, Percentage of Precipitation Anomaly, Meteorological Drought Composite Index MCI, Standardized Precipitation Index SPI, Adaptability Analysis

Copyright © 2022 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

干旱是我国最为常见的气象灾害之一，它呈现出的主要特征往往是维持时间较长、致灾范围相对广泛，近年来干旱高频率的发生和长时间的持续给经济社会的高速发展和人民群众的生产生活造成了极大的损害。IPCC 最新评估的《气候变化 2021：自然科学基础》报告预测：未来因为全球气候变暖对气候系统变化的影响仍将持续加大，而且这种气候变化给全球不同地区将带来多种不同的组合性的变化，并且这种变化都将随着温度的继续升高而加剧。例如：气候变化势必将增加水的循环，进而会带来强降水和洪涝灾害，在一些地区却预示着将会遭遇更加严重的干旱灾害。所以，可以预见到，未来专家学者们对于干旱的关注和研究必将接续进行，分析研究干旱课题对于发挥好气象防灾减灾第一道防线作用具有重要的意义和价值。

本课题研究地区庆阳市位于甘肃省最东部，系黄河中下游黄土高原沟壑区，水资源较为短缺，属大陆性季风气候。降水时空分布不均匀，年际变化大，年内降水季节性明显，多集中在 7~9 月，降水量南多北少，温度南部高于北部，全市日照十分充足，年日照时数在 2213.4~2540.4 小时之间，太阳总辐射量 125~145 千卡/平方米，地面平均蒸发量为 520 毫米，这些要素导致该地区容易形成干旱灾害。通过查阅文献资料得知，近两百年来庆阳市旱灾频繁，可谓“十年九旱，三年一小旱，五年一大旱”，并且表现出一定的周期变化特征。以 2021 年 5 月下旬至 8 月中旬的干旱事件为例，受降水持续偏少和高温天气的共同影响，庆阳市遭遇严重干旱，尤其是庆阳北部的环县最为严重，这是继 2004 年特大旱灾、2015 年严重干旱之后，遭遇的又一个严重旱情：农作物受灾面积 183.5 万亩，成灾面积 132.23 万亩，绝收面积 62.01 万亩，灾害共造成 20 个乡(镇)251 个村 68,320 户 223,379 人不同程度受灾，饮水困难大牲畜 11,927

头(只), 受旱面积 76059.75 公顷, 因旱农作物受灾面积 76059.75 公顷, 农作物成灾面积 65680.90 公顷, 农作物绝收面积 39115.60 公顷, 灾害造成直接经济损失 47290.22 万元。

干旱指数是用来对研究地区干旱程度进行评定、监测的重要指标, 同时也是对干旱一系列问题开展分析、研究的基础, 通过研究找准当地最适宜的干旱指数, 将会对摸清干旱未来发展趋势规律起到至关重要的作用。近几十年来, 国内外专家对干旱进行了大量的研究[1]-[6], 得到了一些有价值的结论: 在所研究的 4 种指数里, PDSI 对降水变化的反应表现出一定的滞后性, 而其他 3 种指数对降水变化的反应较为敏感, 但是在大多数情况下四种干旱指数与降水的关系较为密切; 通过研究发现, SPEI 更关注以水分平衡为基础的区域水分供给状况, 因而他能够更有效地反映出在气候变暖大背景下干旱发生的规律, 这些有价值的成果能够为我国进行不同时间尺度下干旱的及时诊断提供科学依据。本文选取降水距平百分率、气象干旱综合指数 MCI、标准化降水指数 SPI 等干旱指数作为研究对象, 并对干旱指数在庆阳的适应性进行分析研究, 为下一步进行干旱监测及趋势预测, 服务当地农业生产, 提高防灾减灾能力提供可靠依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本文所使用的气象资料为 1978~2020 年甘肃省庆阳市环县、华池、庆城、镇原、合水、宁县、正宁、西峰观测站逐日降水量数据, 该数据通过 CIMISS 下载获取; 干旱灾情数据, 该数据通过灾情上报系统获取, 所使用的数据均经过质量控制和检验。

2.2. 使用方法

使用的方法有算术平均数法、百分率法、线性趋势分析和小波分析[7] [8]等。

2.2.1. 降水距平百分率

降水距平百分率是表征某时段内降水量较常年值偏多偏少的指数之一, 反映某一时段内降水量与同期平均状态的偏离程度, 意义明确, 计算简单, 并具有一定的区域适用性。计算公式如下:

$$Pa = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \quad (1)$$

P 为降水量, \bar{P} 为计算时段同期气候平均降水量。

2.2.2. 标准化降水指数 SPI

标准化降水指数是国内外较为常用的指标[9], 具体计算方法和等级划分标准可参见文献 McKee *et al.* (1993)或国家标准《气象干旱等级》(GB/T20481-2006) (中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2006)。

2.2.3. 综合气象干旱指数 MCI

MCI 指数是在综合气象干旱指数 CI 的基础上修正的新的指数[10], 目前, 已应用于国家和各省气候中心干旱监测和预警业务中。

$$MCI = a \times SPIW60 + b \times MI30 + c \times SPI90 + d \times SPI150 \quad (2)$$

SPIW60 为近 60 d 标准化权重降水指数; MI30 为近 30 d 相对湿度指数; SPI90 和 SPI150 分别为近 90 d 和近 150 d 的标准化降水指数; a、b、c、d 分别为权重系数。

2.2.4. 干旱等级表

表 1 是给出的三种干旱指数类型划分的等级表, 下面的研究将以此为标准。

Table 1. Drought index grade table**表 1.** 干旱指数等级表

等级	类型	SPI	MCI (月)	降水距平百分率% (月)	降水距平百分率% (年)
1	无旱	$-0.5 < \text{SPI}$	$-0.5 < \text{MCI}$	$-40 < P$	$-15 < P$
2	轻旱	$-1.0 < \text{SPI} \leq -0.5$	$-1.0 < \text{MCI} \leq -0.5$	$-60 < P \leq -40$	$-30 < P \leq -15$
3	中旱	$-1.5 < \text{SPI} \leq -1.0$	$-1.5 < \text{MCI} \leq -1.0$	$-80 < P \leq -60$	$-40 < P \leq -30$
4	重旱	$-2.0 < \text{SPI} \leq -1.5$	$-2.0 < \text{MCI} \leq -1.5$	$-95 < P \leq -80$	$-45 < P \leq -40$
5	特旱	$\text{SPI} \leq -2.0$	$\text{MCI} \leq -2.0$	$P \leq -95$	$P \leq -45$

3. 结果分析

3.1. 典型区 3 种干旱指数对比分析

图 1 是华池县 2017 年 3 种干旱指数的表现情况, 可以看到 SPI 和降水距平百分率两个指数的变化趋势几乎同步, 尤其在 8~11 月之间两者变化趋势重合在一起, MCI 指数与其他两种指数变化趋势相差较大。但是, SPI 和降水距平百分率在不同的月份变化存在差异, 1~8 月 SPI 指数变现为无旱, 而进入冬季两者分别表现为“特旱、无旱、中旱”, “重旱、无旱、特旱”的情况, 两者干旱等级几乎一样。

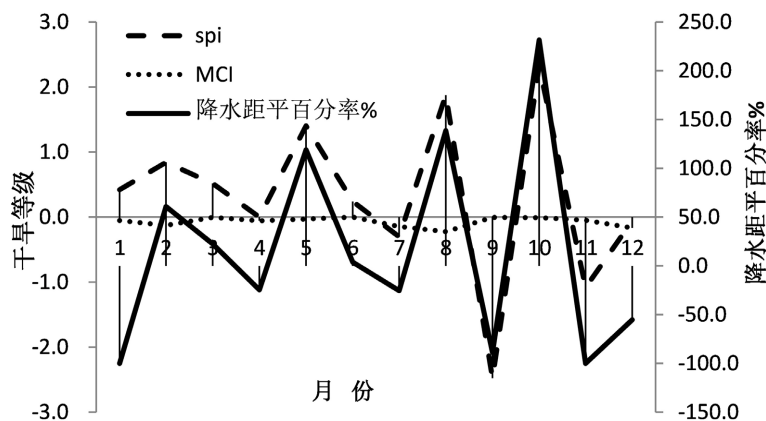


Figure 1. Analysis of the monthly variation of various drought indices in Huachi County in 2017

图 1. 华池县 2017 年各类干旱指数逐月变化规律分析

图 2 是 2017 年环县 3 种干旱指数的表现情况, 可以看到 SPI 和降水距平百分率两个指数的变化趋势时分类似, 特别是在 7~11 月之间两者变化趋势几乎重合, 同样 MCI 指数与其他两种指数变化趋势相差较大。但是, SPI 和降水距平百分率在不同的月份表现出不同的干旱等级, 1 月、4 月降水距平百分率分别为重旱、中旱, 而 SPI 在相应的月份评定为轻旱、轻旱; 11 月、12 月降水距平百分率分别为特旱、重旱, 而 SPI 在相应的月份评定为轻旱、无旱; 9 月份两者均为中旱。虽然 SPI 和降水距平百分率在变化趋势上很相似, 但是在干旱评定方面, SPI 指数要轻于降水距平百分率。

图 3 为庆城县 2017 年 3 种干旱指数在一年当中的变化趋势。和华池、环县变化规律基本差不多, 7 月~12 月, 降水距平百分率评定为轻旱、无旱、重旱、无旱、特旱、特旱; 而 SPI 在相应月份评定为轻旱、无旱、特旱、无旱、重旱、轻旱, 两者在是否有干旱这一定性的评价结果一致, 只是在程度上略有差异, 9 月份降水距平百分率指数评定结果轻于 SPI, 11 月、12 月降水距平百分率评定结果重于 SPI 指数。

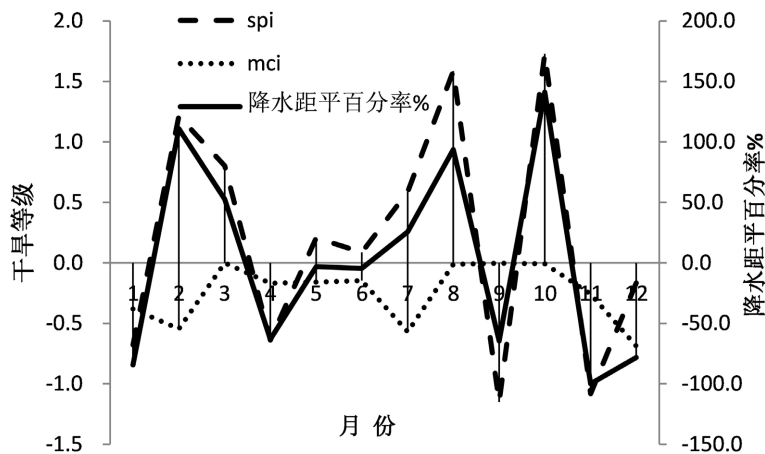


Figure 2. Analysis of the monthly variation of various drought indices in Huanxian County in 2017

图 2. 环县 2017 年各类干旱指数逐月变化规律分析

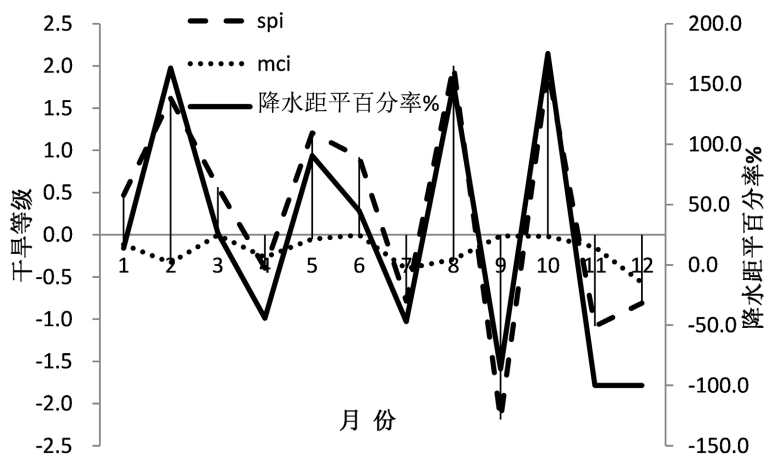


Figure 3. Analysis on the monthly variation of various drought indices in Qingcheng County in 2017

图 3. 庆城县 2017 年各类干旱指数逐月变化规律分析

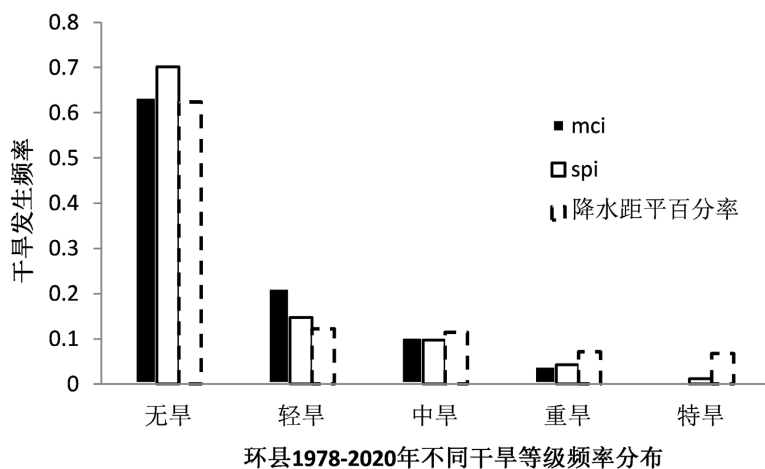


Figure 4. Frequency distribution of different drought levels in Huan County from 1978 to 2020

图 4. 环县 1978~2020 年不同干旱等级频率分布

3.2. 干旱频率分布情况分析

以环县为例,分析 1978~2020 年共计 516 个月的 3 种干旱指数计算的五种干旱等级干旱发生频率分布情况(图 4),3 种干旱指数分布形态完全一致,其中降水距平百分率指数由大到小分别为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱,无旱发生率为 62.4%,轻旱以上发生率为 37.6%;3 种干旱指数在五个干旱等级里的分布情况不一致。

以庆城为例,分析 1978~2020 年共计 516 个月的 3 种干旱指数计算的五种干旱等级干旱发生频率分布情况(图 5),3 种干旱指数分布形态完全一致,其中降水距平百分率指数由大到小分别为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱,无旱发生频率为 63.8%,轻旱以上发生频率为 36.2%;3 种干旱指数在 5 个干旱等级里的分布情况也不一致。

以华池为例,分析 1978~2020 年共计 516 个月的 3 种干旱指数计算的五种干旱等级干旱发生频率分布情况(图 6),降水距平百分率与其他两种干旱指数分布形态有所不同,其中降水距平百分率指数由大到小分别为无旱、特旱、轻旱、中旱、重旱,其中无旱发生频率为 58.7%,轻旱以上发生频率为 41.3%;降

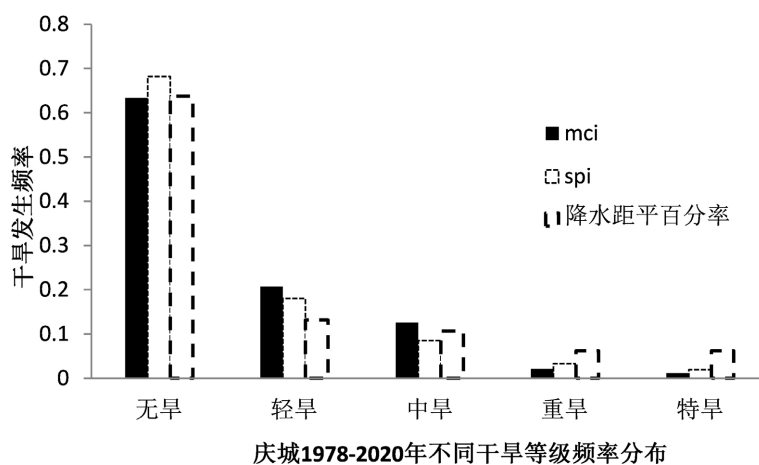


Figure 5. Frequency distribution of different drought levels in Qingcheng from 1978 to 2020

图 5. 庆城 1978~2020 年不同干旱等级频率分布

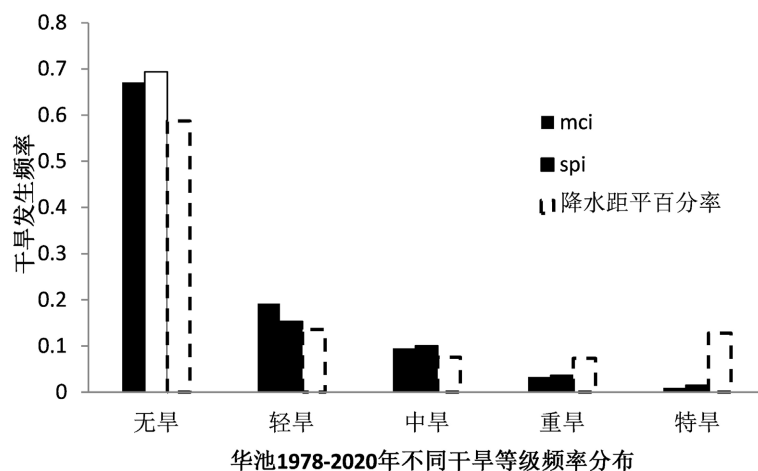


Figure 6. Frequency distribution of different drought levels in Huachi from 1978 to 2020

图 6. 华池 1978~2020 年不同干旱等级频率分布

水距平百分率指数评定为特旱的频率 12.7%，远远大于其他两种指数。

3.3. 干旱未来发展趋势分析(Pa 指数)

对环县 43a 降水距平百分率序列进行 Morlet 小波变换特征分析如图 7(a)所示, 可以看到存在着多尺度的变化结构。在 5a 的小尺度上变化曲线纹理最为清晰、闭合形式明显, 便于分析。在这一尺度上降水经历了 8 次“偏多 - 偏少”的循环交替; 其次在 14~15a、22~23a、32a 的大尺度上, 分别都表现出 3 次、2 次和 1 次, “偏多 - 偏少”的循环交替。但是, 无论是哪一个尺度之下, 偏多的曲线在 2020 年之后即将呈现出闭合的趋势, 这表明年降水距平百分率在未来可能进入一个较少的时期。

方差分析见图 7(b), 可以看到曲线在不同的时间周期表现为不断波动的变化状态, 特别是在 5a 的周期上, 波峰最为明显, 而 14~15a、22~23a、32a 的波峰几乎持平, 因此可以确定 5a 是变化的第一主导周期, 表现出的能量最大, 这一结论与之前小波变化所分析的结论一致。

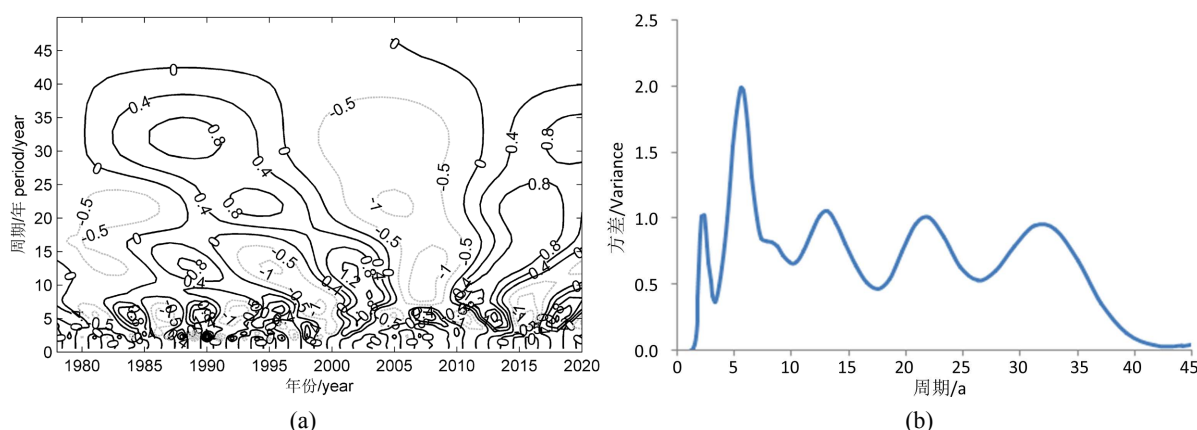


Figure 7. (a) Wavelet analysis of Huanxian County from 1978 to 2020; (b) ANOVA

图 7. (a) 环县 1978~2020 年小波分析; (b) 方差分析

图 8(a)给出的是庆城 Morlet 小波变换规律图。可以明显看出降水距平百分率在 43a 的变化当中, 存在不同时间尺度的结构。在 8~10 年的周期, 这种规律贯穿整个所分析的时间段, 尤其在 1990~2020 年周期性最显著, 经历了 3 次“偏多 - 偏少”的循环交替; 大尺度 32~33a 降水距平百分率呈现出最为显著的周期变化规律, 1994 年之前、2010 年之后, 表现为偏多期, 而在 1994~2010 年之间的时间段, 表现为偏少期, 2020 年曲线逐渐呈现出闭合趋势, 表明即将进入偏少期。

从图 8(b)可以看到曲线在不同的时间周期表现为不断波动的变化状态, 特别是在 10、32a 左右的周期上, 波峰较为明显, 而在小尺度 5~6a 的周期上波峰虽然最明显, 但周期变化频繁且凌乱, 不做分析。根据小波分析和方差分析, 都可以得到 2020 年后可能出现干旱的情况。

如图 9(a)所示, 在 43a 的变化中。华池 20a 和 30a 左右的大尺度变化曲线纹理清晰、闭合形式明显。因此对 20a 左右以及 32a 左右的时间尺度分别进行分析, 20a 左右的尺度上经历了偏少 - 偏多 - 偏少 - 偏多的循环交替, 其中在 1978~1990、2000~2012 年降水距平百分率表现为较少的状态, 而在 1990~1999、2012~2020 年, 表现为较多的时期; 在 32a 左右的时间尺度, 经历了偏多 - 偏少 - 偏多的交替变化过程, 1995~2011 年期间处在较多的时期, 2011~2020 年表现为较少的状态, 可以看到曲线即将达到闭合的状态, 这说明年降水距平百分率在未来一段时期将步入一个较少的时期。

图 9(b)可以看到曲线在不同的时间周期表现为不断波动的变化状态, 特别是在 15、20 和 32a 左右的周期上, 波峰清晰可见, 这一结论与小波变化所分析的结论基本一致。

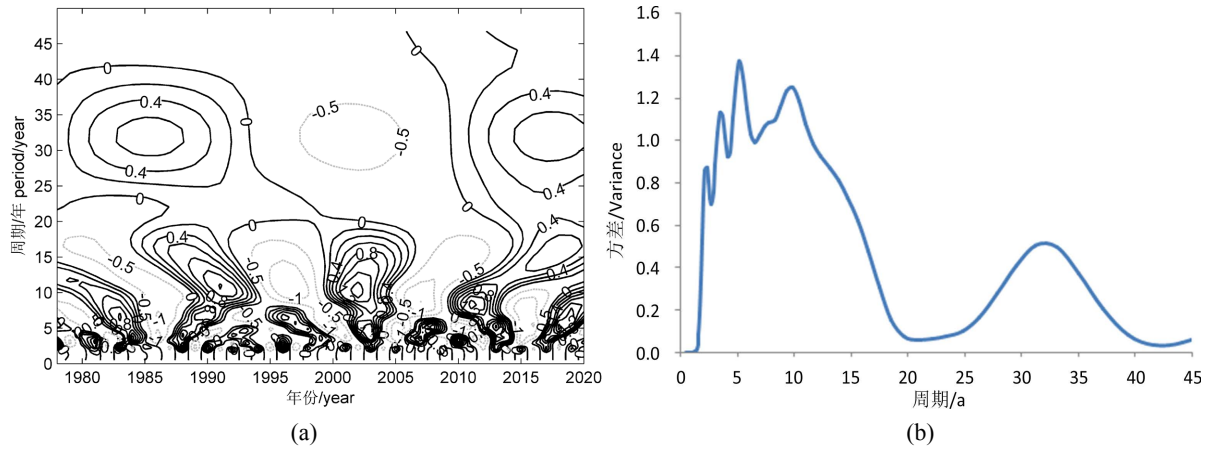


Figure 8. (a) Wavelet analysis of Qingcheng from 1978 to 2020; (b) ANOVA
图 8. (a) 庆城 1978~2020 年小波分析; (b) 方差分析

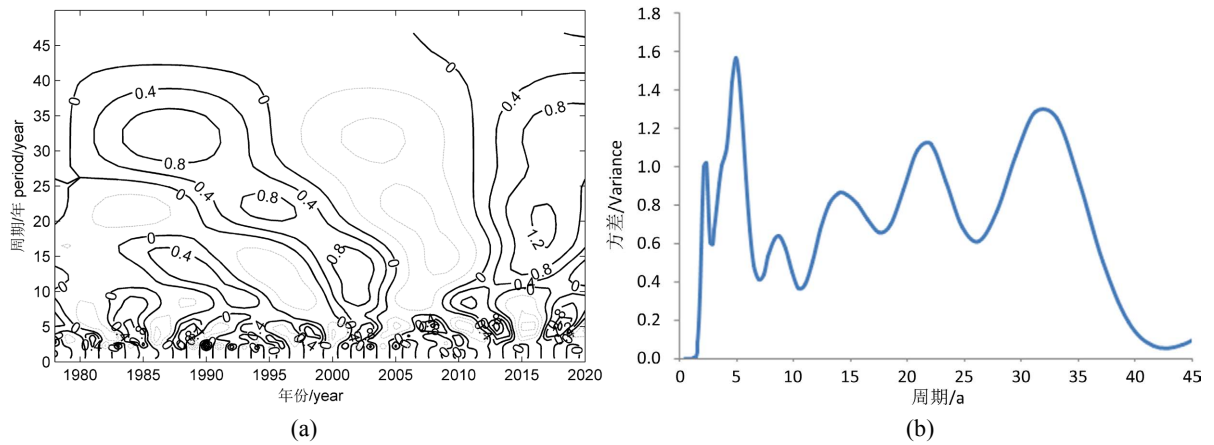


Figure 9. (a) Huachi Wavelet analysis from 1978 to 2020; (b) ANOVA
图 9. (a) 华池 1978~2020 年小波分析; (b) 方差分析

Table 2. Drought index test in typical years
表 2. 典型年份干旱指数检验

时间	指数	环县	华池	庆城
2017 年 7~9 月	SPI	无旱、无旱、中旱	无旱、无旱、特旱	轻旱、无旱、特旱
	MCI	轻旱、无旱、轻旱	无旱、无旱、无旱	无旱、无旱、无旱
	降水距平百分率	无旱、无旱、中旱	无旱、无旱、重旱	轻旱、无旱、重旱
2015 年 5~8 月	SPI	无旱、轻旱、重旱、轻旱	无旱、轻旱、特旱、轻旱	无旱、无旱、特旱、轻旱
	MCI	无旱、无旱、中旱、中旱	无旱、无旱、中旱、重旱	无旱、无旱、中旱、重旱
	降水距平百分率	无旱、无旱、中旱、轻旱	无旱、无旱、重旱、轻旱	无旱、无旱、特旱、轻旱
2011 年 4~6 月	SPI	中旱、无旱、中旱	重旱、无旱、轻旱	重旱、无旱、中旱
	MCI	中旱、中旱、重旱	中旱、中旱、重旱	中旱、中旱、重旱
	降水距平百分率	重旱、轻旱、中旱	重旱、无旱、轻旱	重旱、无旱、轻旱

3.4. 干旱指数适应性分析

表 2 是选取的 43a 中干旱范围广, 程度严重的典型年份 2017 年、2015 年以及 2011 年进行对比分析, 可以获得适应研究当地干旱状况的指数。

从 2017 年 3 种干旱指标所评定的结果来看: SPI 指数在 7 至 9 月份表现出旱情持续加重的趋势; MCI 指数除了在环县评定有轻旱之外, 在其他地方基本上没有评定出旱情; 降水距平百分率评定结果与 SPI 基本一致, 旱情表现出逐渐增强的趋势, 这一结论与实际的旱情基本吻合。SPI 与降水距平百分率在 9 月份: 评定结果在中旱以上, 华池为特旱和重旱, 这一结论与实际情况相符。

2015 年 3 种干旱指数所评定的结果来看: SPI 指数在 5 至 7 月份旱情逐渐加重, 后又在 8 月趋于减弱; MCI 指数则表现出 4 个月持续加重的趋势; 降水距平百分率则呈现出与 SPI 相似的变化趋势, 只是在个别月份的干旱程度上略有差异。

2011 年 3 种干旱指数所评定的结果来看: SPI 指数在 4 至 6 月份表现为 4 月、6 月有旱象, 5 月无旱的大致规律; MCI 则表现为旱情持续加重且均在中旱以上的程度; 降水距平百分率在定性的评价上和 SPI 保持一致, 但是在旱情程度上个别月份有差异, 略重于 SPI, 这一结论与实际干旱情况更加符合。

Table 3. Drought index evaluation results

表 3. 干旱指数评价结果

台站	干旱评价
环县	降水距平百分率 > SPI > MCI
庆城	降水距平百分率 > SPI > MCI
华池	降水距平百分率 > SPI > MCI

通过以上分析, 得出表 3 的结论, 3 种干旱指数在典型地区的评价效果, 降水距平百分率优于 SPI, MCI 表现较差。

4. 结论

利用甘肃省庆阳市 8 个气象观测站 1978~2020 年逐日降水量数据以及干旱灾情数据, 采用线性趋势分析、空间插值、对比分析、小波分析等方法, 分析了降水距平百分率、气象干旱综合指数 MCI、标准化降水指数 SPI 的演变规律。

1、在典型区, 3 种干旱指数在 2017 年的表现情况分析后发现, SPI 和降水距平百分率两个指数的变化趋势几乎同步, 尤其在冬季两者变化趋势高度吻合, 但在干旱等级上存在差异; MCI 指数与其他两种指数变化趋势相差较大。

2、通过分析 1978 年~2020 年 516 个月的 3 种干旱指数计算的 5 种干旱等级发生频率分布, 3 种干旱指数分布形态基本一致; 典型区无旱发生频率为 58.7%~63.8%之间, 轻旱以上发生频率在 36.2%~41.3%; 降水距平百分率指数评定为特旱的频率远远大于其他两种指数。

3、通过小波分析发现, 降水距平百分率在大尺度变化曲线纹理清晰、闭合形式更加明显, 而且 3 个区分析结果表明, 在 2020 年曲线即将达到闭合的状态, 降水距平百分率在未来可能步入一个较小的时期。

4、通过 3 种干旱指数评定结论与所选取的干旱年份实际旱情进行对比分析, 得到降水距平百分率优于 SPI 指数, MCI 指数表现较差的结论。

基金项目

庆阳市气象局气象科研项目(QY2022-11)资助。

参考文献

- [1] 杨小利, 王丽娜. 4 种干旱指标在甘肃平凉地区的业务适应性分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 419-424.
- [2] 郭江勇, 李耀辉, 王文, 叶燕华. 甘肃黄土高原春旱的气候特征及预测方法[J]. 中国沙漠, 1997, 24(2): 211-217.
- [3] 吴哲红, 詹沛刚, 陈贞宏, 等. 3 种干旱指数对贵州省安顺市历史罕见干旱的评估分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 315-321.
- [4] 张龙, 赵福年, 李国昌, 等. 2 种标准化干旱指标在甘肃武威干旱监测中的对比[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 412-418.
- [5] 王劲松, 任余龙, 宋秀玲, 等. k 干旱指数在甘肃省干旱监测业务中的应用[J]. 干旱气象, 2008, 26(4): 75-79.
- [6] 曲学斌, 杨钦宇, 王慧清, 等. 基于 MCI 的内蒙古气象干旱强度特征分析[J]. 气象与环境科学, 2019, 42(4): 47-54.
- [7] 周正朝, 胡娜娜, 周华. 西安市气温和降水变化趋势分析[J]. 干旱区研究, 2012, 29(1): 27-34.
- [8] 李艳龙, 孙虎, 王贵平. 近 34 年来内蒙古杭锦旗气候变化的主要特点分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(12): 71-76.
- [9] 庄晓翠, 杨森, 赵正波, 等. 新疆阿勒泰地区降水变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2012, 29(3): 487-494.
- [10] 王素萍, 王劲松, 张强, 等. 多种干旱指数在中国北方的适用性及其差异原因初探[J]. 高原气象, 2020, 39(3): 628-640.