

三种不同干旱动态监测指数在 陕西省的适用性研究

贺 音¹,王 钊²,贺 皓³

(1.陕西省气象局信息中心, 陕西 西安 710014; 2.陕西省气象局遥感中心, 陕西 西安 710014;
3.陕西省气象局专业气象台, 陕西 西安 710014)

摘 要: 运用陕西省 96 个站 1981—2012 年近 32 年的逐日气温、降水、风速、相对湿度等资料, 分别计算出各站逐日(向前滚动 30 天)的三种干旱动态监测指数: 降水距平百分率(P_a)、相对湿润干旱指数(MI)、标准化降水指数(SPI), 并将陕西省按地域由北至南分为陕北、关中、陕南, 按季节分为春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12—2 月), 分别统计出不同干旱动态监测指数对应的干旱发生的频率并与历史记载中实际干旱情况进行比对, 对三种干旱动态监测指数在陕西省的适用性进行分析。结果表明: 夏季 MI 指数得到的干旱频率最高, P_a 指数最低, 冬季 MI 指数得到的干旱频率最低, P_a 指数最高; 在春、冬季节 P_a 指数的适用性较好, 在夏、秋季节 MI 指数的适用性较好; 陕西省夏季容易发生局地强降水, 而在秋、冬季容易出现长时间的无降水, 导致 SPI 指数在夏、秋、冬季节的适用性不太好。

关键词: 陕西省; 干旱动态监测; 干旱指数; 干旱过程
中图分类号: S165+.25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)04-0242-08

Application of three dynamic drought-monitoring indexes in Shaanxi Province

HE Yin¹, WANG Zhao², HE Hao³

(1. Shaanxi Meteorological Information Center, Xi'an 710014, China;
2. Shaanxi Remote Sensing Information Center for Agriculture, Xi'an 710014, China;
3. Shaanxi Professional Meteorology Observatory, Xi'an 710014, China)

Abstract: Based on the meteorological data such as daily temperature, precipitation, wind speed and relative humidity from 1981 to 2012 at 96 meteorological stations in Shaanxi Province, three daily dynamic drought-monitoring indexes, including percentage of precipitation anomalies (P_a), standardized precipitation index (SPI) and relative moisture index (MI), were calculated for each station. By dividing the whole province geographically into north, central and south Shaanxi, and dividing the seasons into spring (March to May), summer (June to August), autumn (September to November) and winter (December to January), the corresponding drought occurrence frequency of different drought-monitoring indices was calculated and compared with the historical record of actual drought events, so as to analyze the applicability of these drought-monitoring indexes in Shaanxi Province. The result showed that: (1) in summer, the drought occurrence frequency obtained by MI was the highest while that obtained by P_a was the lowest, but in winter, the drought occurrence frequency obtained by MI was the lowest while that obtained by P_a was the highest; (2) P_a was relatively suitable for spring and winter while MI was relatively suitable for summer and autumn; (3) since Shaanxi was prone to strong precipitation in summer but long-term lack of precipitation in autumn and winter, SPI was not suitable for summer, autumn and winter in Shaanxi Province.

Keywords: Shaanxi Province; dynamic drought-monitoring; drought index; drought process

干旱是全球最严重的自然灾害之一,特点是发生频率高、影响范围大、持续时间长,它的频繁发生和长期持续给国民经济特别是农业生产带来巨大的损失,陕西地处中国中部内陆腹地,地域南北狭长、

跨越 3 个气候带,干旱现象十分突出,素有“十年九旱”之称^[1]。

近年来国内外不少专家学者对于干旱指数进行了深入研究,包括指数的修订、干旱指数的确定及适用性的研究^[2-6],如:安顺清等通过修改帕默尔旱度模式,建立了中国的气象旱度模式^[7],王芝兰等运用广义极值分布干旱指数对西北地区干旱进行监测^[8]。

目前常用于农业干旱监测、预报的干旱指数有 Palmer 干旱指数 (*PDSI*)、*Z* 指数、水分亏缺指数 (*CWDI*)及最近 Vicente – Serrano 等^[9-10]提出的标准化降水蒸散指数 (*SPEI*)等。由于干旱自身的复杂性以及不同地域、不同季节地理状况和气候特点的差异,任何一种干旱指数都很难具备时空上均普遍适用的条件,对于干旱指数的适用性研究显得尤为重要。孙智辉等通过采用百分位法对相对湿润指数进行了本地化订正用于陕西省黄土高原干旱监测^[11],刘卫国等对帕默尔干旱指数在新疆天山北坡

的适用性进行了深入研究^[12]。

本文通过编写程序计算出陕西省 96 个站 1981—2012 年逐日三种动态干旱监测指数,分地域、季节统计三种不同干旱动态监测指数对应的干旱发生频率并与《中国气象灾害大典陕西卷》^[1]中记载的陕西省干旱特征进行比对,分析不同干旱指数在陕西省的适用性情况。

1 资料的选取及指数的计算方法

1.1 资料选取

选取陕西省除黄陵、三原辅助站及泾河(2005 年建站)、杨凌(2007 年建站)以外的 96 个站点 1981—2012 年的降水量、风速、气温、露点温度、水气压等资料,对缺失记录采用内插法进行补缺,计算出各站逐日(向前滚动 30 天)的三种干旱动态监测指数:降水距平百分率(P_a)、相对湿润干旱指数(MI)、标准化降水指数(SPI),并对计算出的结果,根据表 1 气象干旱等级^[13]进行划分。

表 1 气象干旱等级划分
Table 1 The classification of meteorological drought grades

干旱等级 Grade	类型 Type	降水距平百分率 Precipitation anomalies (P_a)	相对湿润干旱指数 Relative moisture index (MI)	标准化降水指数 Standardized precipitation index (SPI)
1	无旱 No drought	$-40 < P_a$	$-0.4 < MI$	$-0.5 < SPI$
2	轻旱 Slight drought	$-60 < P_a \leq -40$	$-0.65 < MI \leq -0.4$	$-1.0 < SPI \leq -0.5$
3	中旱 Moderate drought	$-80 < P_a \leq -60$	$-0.8 < MI \leq -0.65$	$-1.5 < SPI \leq -1.0$
4	重旱 Severe drought	$-95 < P_a \leq -80$	$-0.95 < MI \leq -0.8$	$-2.0 < SPI \leq -1.5$
5	特旱 Very severe drought	$P_a \leq -95$	$MI < -0.95$	$SPI \leq -2.0$

根据陕西的气候特点和地形基本特征,结合行政区划将全省 10 个省辖市,按照自北向南划分为陕北地区、关中地区、陕南地区三大区域。其中陕北包括榆林、延安共 24 个站,关中包括宝鸡、咸阳、铜川、西安、渭南共 44 站,陕南包括汉中、安康、商洛共 28 站,如图 1。

1.2 计算方法

对全省 96 个站按照以下各个指数的定义,分别计算出 1981—2012 年每站逐日的 P_a 指数, MI 指数, SPI 指数。

降水量距平百分率 P_a :表征某时段降水量较常年值偏多或偏少的指数之一,能直观反映降水异常引起的干旱,计算公式如下:

$$P_a = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \tag{1}$$

式中, P 为某时段降水量(mm); $\bar{P}$ 为计算时段同期气候平均降水量(mm)。

相对湿润指数 MI :它是表征某时段降水量与蒸发量之间平衡的指数之一,反映作物生长季节水分平衡特征,计算公式:

$$MI = \frac{P - PE}{PE} \tag{2}$$

式中, P 为某时段降水量(mm); PE 为某时段可能蒸散量(mm),用 FAO Penman – Monteith 方法计算。

$$PE = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \tag{3}$$

式中, PE 为可能蒸散量($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); R_n 为地表净辐射($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); G 为土壤热通量($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); T_{mean} 为日平均气温($^{\circ}\text{C}$),由日最高气温(T_{max}) 和日最低气温(T_{min}) 的平均值计算得到,而不是当日 24 小时逐时(或一日 4 次、8 次) 观测气温的平均值。

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \tag{4}$$

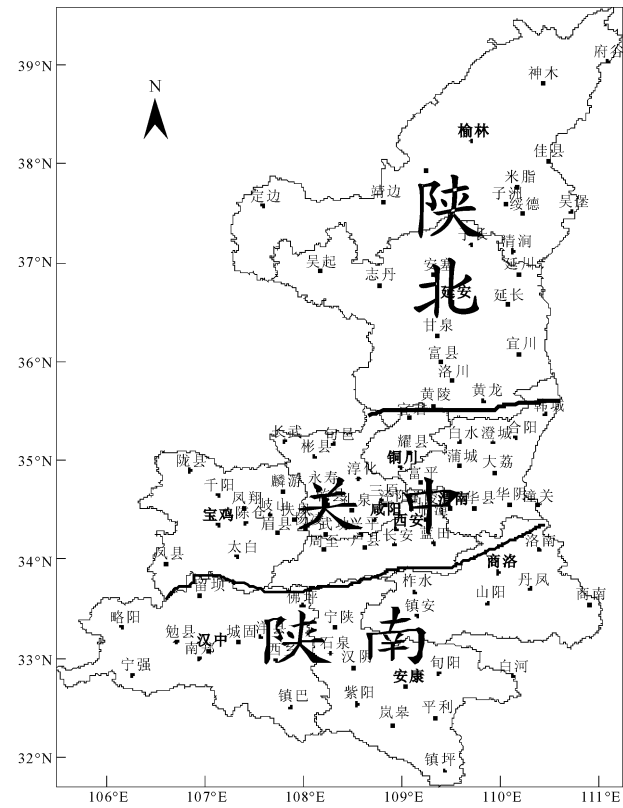


图 1 陕西省区域划分

Fig.1 The regional division map of Shaanxi Province

u_2 为 2 m 高处风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),由式(5) 求出。

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \tag{5}$$

式中, u_z 为 z m 高处测量的风速($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); z 为风速计仪器安放的离地面高度(m); e_s 为饱和水气压(kPa); e_a 为实际水气压(kPa); Δ 为饱和水气压曲线斜率($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); γ 为干湿表常数($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)。

标准化降水指数 SPI : 由于降水量分布一般不是正态分布,而是一种偏态分布,所以在进行降水分析和干旱监测、评估中,采用 Γ 分布概率来描述降水量的变化, Γ 分布概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} \tag{6}$$

式中, β, γ 分别为尺度和形状参数,

$$\gamma = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \tag{7}$$

$$A = \lg \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i \tag{8}$$

$$\beta = \bar{x} / \gamma \tag{9}$$

式中, $\bar{x}$ 为降水气候平均值; x_i 为降水资料样本。

在计算得到累积概率密度函数 $F(x)$ 后,通过对 $F(x)$ 进行转化:

$$H(x) = q + (1 - q)F(x) \tag{10}$$

其中, q 是降水序列中 0 出现的概率,降水量为 0 时的事件概率由下式估计:

$$q = m/n \tag{11}$$

式中, m 为降水量为 0 的样本数; n 为总样本数。

再通过高斯函数将求得的概率 $H(x)$ 标准化后得到最终的 SPI 值^[14]。

$$Z = S \left[t - \frac{(c_2 t + c_1)t + c_0}{((d_3 t + d_2)t + d_1)t + 1.0} \right] \tag{12}$$

其中 $t = \sqrt{\ln \frac{1}{H(x)^2}}$, 并当 $H(x) > 0.5, H(x) = 1 - H(x), S = 1$, 当 $H(x) \leq 0.5$ 时, $S = -1, c_0 = 2.515517, c_1 = 0.802853, c_2 = 0.010328, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.001308$ 。

2 不同干旱动态监测指数的比较和适用性分析

2.1 干旱发生频率的统计计算

先将一年分为春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—2 月),然后按照干旱过程的定义分别统计出各个干旱动态监测指数在全省 96 个站中每个站、不同季节出现的干旱过程。干旱过程是指:当干旱指数连续 10 天达到轻旱以上等级,则确定为发生一次干旱过程,干旱过程的开始日期为第 1 天干旱指数达轻旱以上等级的日期,在干旱发生期,当干旱指数连续 10 天为无旱等级时干旱解除,同时干旱过程结束,结束日期为最后 1 次干旱指数达到无旱等级的日数^[15]。由式(13)计算出全省每个站点不同季节干旱发生的频率,并分别做出各个干旱动态监测指数在全省范围内春、夏、秋、冬四季的空间频率分布图,如图 3~图 6 所示。再按照区域划分,分季节由公式(14)对全省及陕北、关中、陕南三个区域的干旱发生频率进行统计,统计出的各个区域发生干旱频率如表 2 所示。

$$p = \frac{n}{N} \times 100\% \tag{13}$$

其中, n 为实际发生干旱过程的年数; N 为资料年代序列数,为 1981—2012 年的 32 年。

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m} \tag{14}$$

其中, p_i 为由公式(13)计算得到的站点干旱频率; m 为区域内所包含的站点个数。

2.2 不同干旱动态监测指数的适用性分析

由表 2 统计计算得到的不同干旱指数在各个区域出现的干旱频率及图 3~图 6 对应的各个季节干旱频率空间分布图,对比各个干旱指数在不同地域、

不同季节出现的干旱频率差异,与历史记载中实际干旱情况进行比对,对三种干旱动态监测指数适用性进行分析比较。

表 2 三种干旱指数在不同地域、不同季节的干旱频率

Table 2 Drought frequencies for the three drought index in different seasons at different regions					
季节 Season	地域 Region	P_a	MI	SPI	
春季 Spring	陕北 North Shaanxi	55.7	14.8	54.9	
	关中 Central Shaanxi	46.0	42.5	47.3	
	陕南 South Shaanxi	38.4	56.7	40.4	
	全省 Whole province	46.7	38.0	47.5	
夏季 Summer	陕北 North Shaanxi	50.5	74.1	54.3	
	关中 Central Shaanxi	46.5	67.8	52.8	
	陕南 South Shaanxi	36.7	42.3	48.5	
	全省 Whole province	44.6	61.4	51.9	
秋季 Autumn	陕北 North Shaanxi	42.8	36.5	46.7	
	关中 Central Shaanxi	46.0	37.1	56.3	
	陕南 South Shaanxi	39.5	18.4	48.9	
	全省 Whole province	42.8	30.1	50.6	
冬季 Winter	陕北 North Shaanxi	62.6	20.2	45.6	
	关中 Central Shaanxi	59.7	22.7	52.8	
	陕南 South Shaanxi	53.5	22.5	50.7	
	全省 Whole province	58.6	21.8	49.7	

首先,由表 2 在全省范围内不同干旱指数不同季节统计出的干旱频率,做出相应干旱频率随季节的变化图,如图 2 所示。可以看出, SPI 指数变化趋势不明显;夏季 MI 指数得到的干旱频率大于其他指数,而在秋、冬季节 MI 指数得到的干旱频率小于其他指数;在冬季 P_a 指数的干旱频率大于另两个指数,但在夏季 P_a 指数得到的干旱频率小于其他两个指数。这是由于 P_a 指数反映的是降水距平百分率,只与降水有关,而与气温等其他气象要素无关,陕西省降水量在冬季达到一年四季中最少,在夏季达到最多。而 MI 反映的是蒸散量与降水之间的关系,由彭曼计算公式可以看出,蒸散量与气温、相对湿度等要素都有关系,陕西省地处大陆腹地,在夏季气温高、湿度较大,蒸散量大,而在冬季气温低,相对湿度小,蒸散量小,因此得到的 MI 指数在夏季得到干旱频率最大,在冬季最小。

表 2 可以看出,春季三种干旱指数在不同地域得到的干旱频率中:由 P_a 指数得到的干旱频率在陕北、关中、陕南地区分别为 55.7%、46%、38.4%,由 SPI 指数得到的干旱频率陕北、关中、陕南分别为 54.9%、47.3%、40.4%,可见,在春季 P_a 指数和 SPI 指数在三大区域的干旱频率结果总体上较为一致:

陕北出现干旱的频率最高、其次是关中、陕南最少。而 MI 干旱指数得到的干旱频率在陕北、关中、陕南分别为 14.8%、42.5%、56.7%,干旱频率呈南高北低趋势。

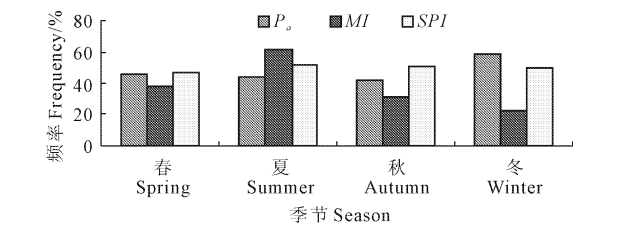


图 2 干旱频率对应的干旱季节演变
Fig.2 The seasonal evolution of drought frequency for the three drought indexes

查阅《中国气象灾害大典陕西卷》^[1], P_a 指数符合干旱大典中对陕西省春季干旱特征的描述:春季干旱主要发生在陕北地区,其次是关中地区,陕南地区最少。在图 3(a)春季 P_a 干旱频率空间分布图中可以看出,在陕北地区干旱的频发点主要集中在陕北北部和延安地区,最高为延川和米脂,干旱频率分别达到 72%、69%;在关中地区主要集中在关中东部,最高出现在澄城和合阳,干旱频率达到 66%;而在陕南地区干旱较少发生,特别是陕南西部的城固、佛坪、宁强干旱频率为 28%。在图 3(c)春季 SPI 干旱频率空间分布图中,总体上 SPI 监测得到的干旱频率呈现北高南低的趋势,但监测结果显示在陕南的汉中地区为干旱的频发区域,显然 SPI 指数不适合在陕南的汉中地区使用,在图 3(b)春季 MI 得到的干旱频率分布图中,在陕南干旱频率最高,在陕北干旱频率最低,显然 MI 亦不适合春季在陕西省使用。

在表 2 夏季三种干旱指数在不同地域得到的干旱频率中, P_a 指数在由北至南的陕北、关中、陕南区域干旱频率分别为 50.5%、46.5%和 36.7%, MI 指数在由北至南的三个地域中干旱频率分别为 74.1%、67.8%、42.3%, SPI 指数在由北至南的三个地域中的干旱频率分别达到: 52.8%、48.5%、51.9%,可以看出,夏季三个指数都呈现北高南低的趋势。

在图 4(a)夏季 P_a 指数干旱频率空间分布图中,陕南地区较少发生干旱,特别是陕南的东部区域,而查阅干旱大典中陕西省夏季干旱特征,在陕西省的东部与关中地区夏季比较容易发生大面积的连旱,显然 P_a 指数不适合在陕南地区使用。

在图 4(c)夏季 SPI 指数干旱频率空间分布图中,在子午岭与黄龙山区域出现了较高的频率中心,

并且在秦岭的南部区域同时出现干旱频率的高值点和低值点,干旱频率出现非常大的跳跃,而由于黄龙山区域处于山区地带,是干旱不易发生的区域,显然 SPI 指数不适合夏季在陕西省的秦岭以南及陕北地区的黄龙山区域使用,夏季 P_a 指数不适用与陕西省夏季降水空间分布不均及局地强降水有关。

在图 4(b)夏季 MI 监测频率分布图中可以看出,较符合陕西省夏季干旱特征分布,陕北地区干旱主要发生在陕北的长城沿线及黄河沿线,最高为宜川,干旱频率达 87%,关中地区干旱主要出现在渭北塬区,最高为永寿,干旱频率为 78%,陕南最低出现在巴山地区,最低为镇平、岚皋,干旱频率为 14%。

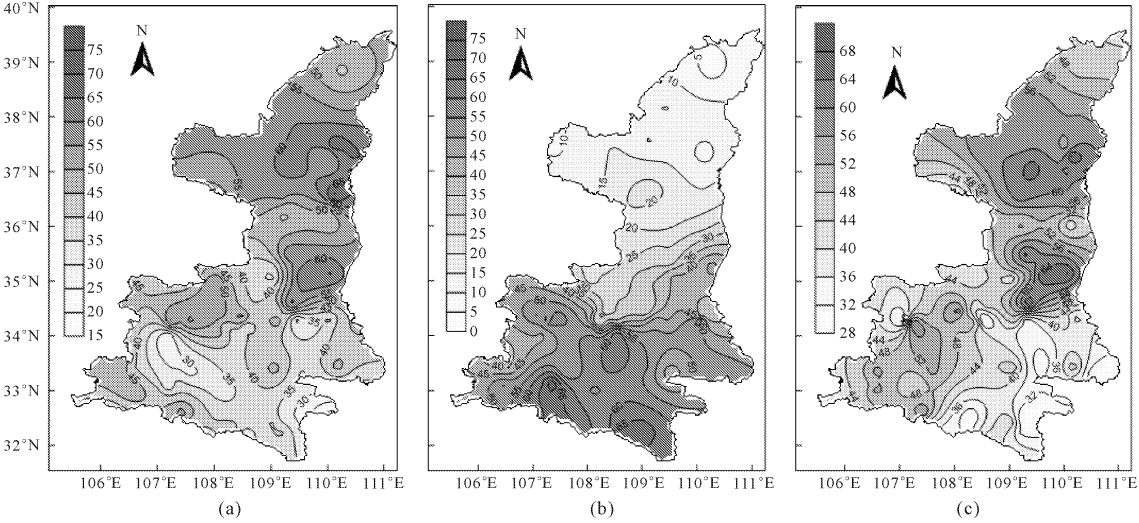


图 3 春季降水距平百分率(a)、相对湿润指数(b)、标准化降水指数(c) 干旱频率空间分布

Fig.3 The spatial distribution of drought frequency for P_a (a), MI (b) and SPI (c) in spring

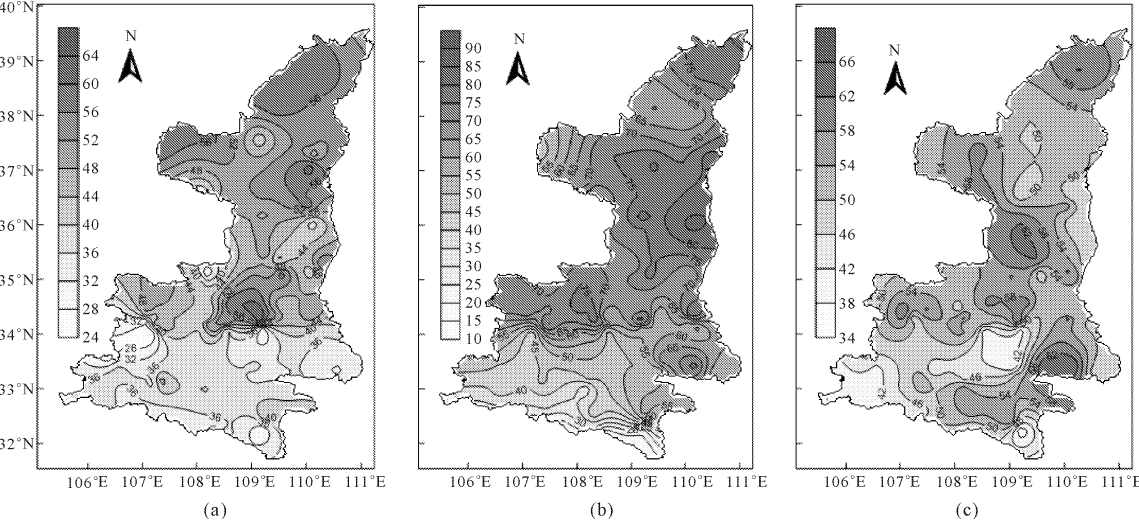


图 4 夏季降水距平百分率(a)、相对湿润指数(b)、标准化降水指数(c) 干旱频率空间分布

Fig.4 The spatial distribution of drought frequency for P_a (a), MI (b) and SPI (c) in summer

在表 2 秋季三种干旱指数在不同地域得到的干旱频率中: P_a 指数在由北至南的陕北、关中、陕南区干旱频率分别为 42.8%、46%和 39.5%, MI 指数在由北至南的三个地域中干旱频率分别为 36.5%、37.1%、18.4%, P_a 和 MI 的干旱频率趋势较为一致:关中地区干旱频率最多,其次是陕北,陕南最少。

在图 5(a)秋季 P_a 指数干旱频率空间分布图中:在陕北的长城沿线出现干旱的低值点,在陕南中

部的秦巴山区出现了干旱的高值点,不符合干旱大典中秋季干旱特征的描述。

SPI 指数在由北至南的三个地域中的干旱频率分别达到:46.7%、56.3%、48.9%,陕北地区的干旱频率小于陕南地区,再结合图 5(c)秋季 SPI 指数干旱频率空间分布图中:在陕南地区发生的干旱频率大于陕北地区,特别是在秦岭以南的汉江上游流域出现了干旱频率的高值点,不符合秋季陕西省的干

旱分布特征。结合干旱大典对陕西省秋季干旱分布特征的描述, MI 指数较为符合,关中地区出现的干旱频率最多,其次是陕北、陕南最少,如图 5(b)所示为秋季 MI 指数干旱频率空间分布图,秋季干旱在

关中地区主要集中在渭北塬区,最高为澄城,干旱频率达 56%,陕北地区黄河沿线,最高为延长,干旱频率达 57%,陕南地区最低出现在秦岭以南地区,最低为佛坪,干旱频率为 6%。

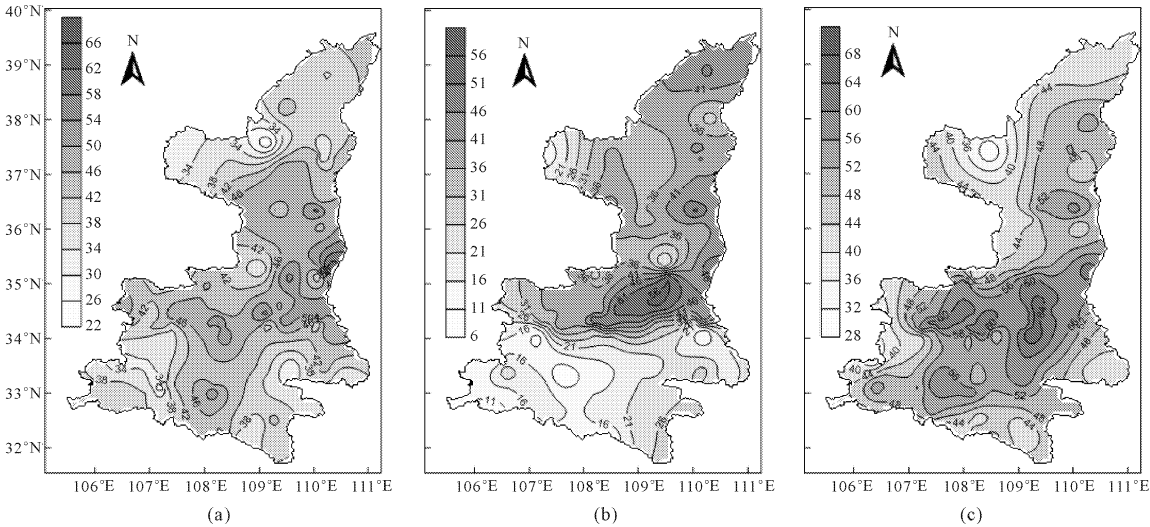


图 5 秋季降水距平百分率(a)、相对湿润指数(b)、标准化降水指数(c) 干旱频率空间分布
Fig.5 The spatial distribution of drought frequency for P_a (a), MI (b) and SPI (c) in autumn

在表 2 冬季三种干旱指数在不同地域得到的干旱频率中: P_a 指数在由北至南的陕北、关中、陕南区 域干旱频率分别为 62.6%、59.7%和 53.5%,冬季 P_a 指数得到的干旱频率分布较符合陕西省冬季干 旱分布特征,干旱频率呈现北高南低趋势。在图 6 (a)冬季 P_a 指数干旱频率空间分布图中可以看出:

在陕北地区干旱频率的最高值点出现在榆林北部的 府谷和横山,干旱频率达到 72%;关中地区最高频 率出现在渭河流域的兴平、扶风干旱频率达到 68.8%;陕南地区最低出现在巴山山区,最低为镇 坪,干旱频率为 37%。

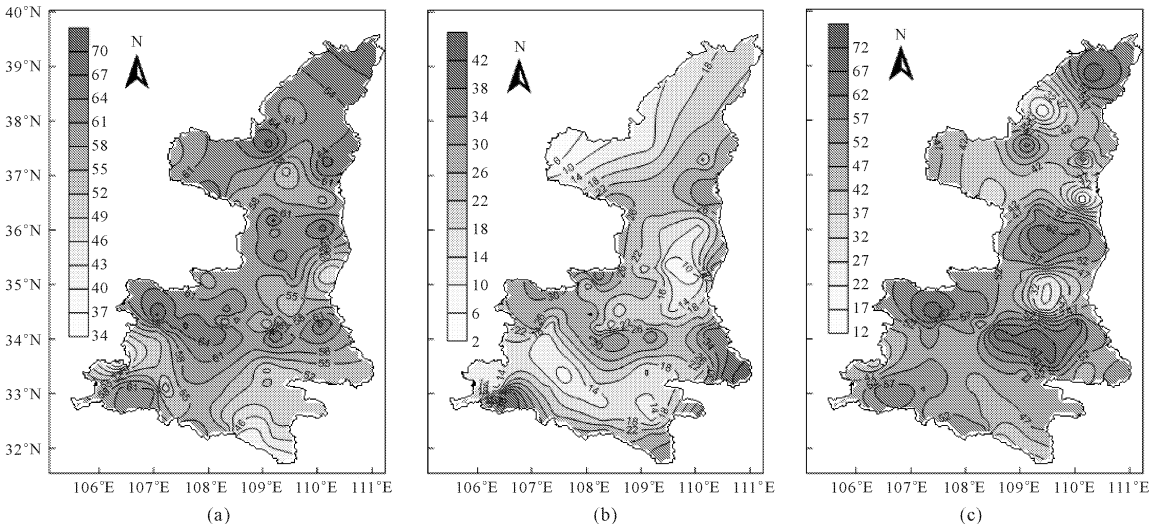


图 6 冬季降水距平百分率(a)、相对湿润指数(b)、标准化降水指数(c) 干旱频率空间分布
Fig.6 The spatial distribution of drought frequency for P_a (a), MI (b) and SPI (c) in winter

SPI 指数由北至南在三个地域中的干旱频率 分别达到:45.6%、52.8%、50.7%,可以看出,陕南 的干旱频率大于陕北的干旱频率,不符合冬季陕西

省的干旱特征;再由图 6(c)冬季 SPI 指数干旱频率 空间分布图中可以看出在陕北的长城沿线出现了干 旱频率的低值点,并且在渭河流域同时出现干旱频

率的高值点和低值点,干旱频率有非常大的跳跃,显然 SPI 指数不适合冬季在陕西省使用。

而由 MI 干旱指数得到的频率在三个地域频率基本相同,显然 MI 干旱指数不适合冬季在陕西省使用。

3 干旱指标适用性差异原因分析

应用标准化降水指数(SPI)对于干旱进行评估的

前提是:降水量分布呈现一种偏态分布,采用 Γ 分布概率来描述降水量的变化。首先由式(6)做出 Γ 函数曲线,如图 7 所示。从图 7 可以看出:对于同样的 γ 值, β 值越大,频数分布的高峰越向右偏移,当 30 天累积降水量小于平均值,即 30 天累积降水量处于峰值左侧时,对于 β 值越大的曲线,得到的积分值越小,即求的式(10)中的 $F(x)$ 值越小。

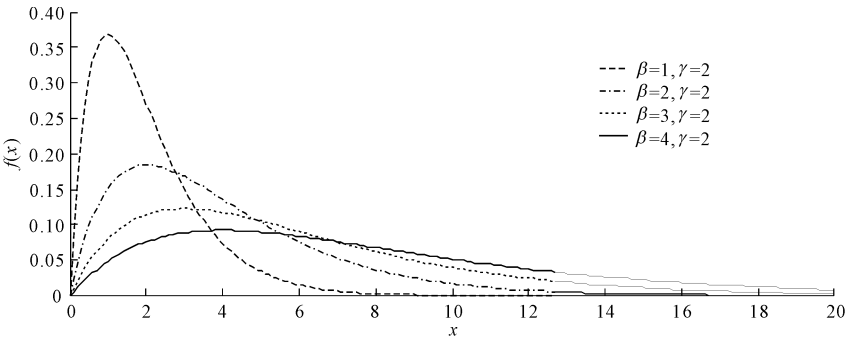


图 7 Γ 函数曲线

Fig.7 Curve of gamma function with different parameters

以式(12)做出 $H(x)$ 和 Z 值(即 SPI 值)的关系曲线,如图 8 所示,可见 $H(x)$ 值越大,求得的 SPI 值越大,干旱等级越低,干旱程度越轻; $H(x)$ 值越

小,求得的 SPI 值越小,干旱等级越高,干旱程度越严重。

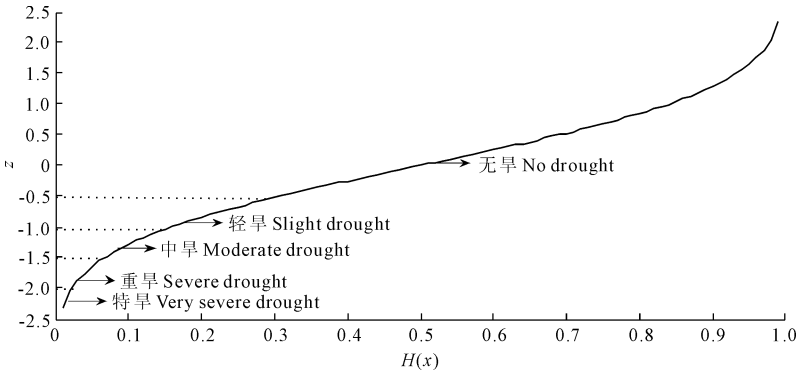


图 8 $Z-H(x)$ 关系曲线

Fig.8 The relationship of Z to $H(x)$

由于陕西省南北横跨 10 个纬度,南北气候北界线秦岭位于陕西中部,南北之间气候差异大,降水分布不均,在夏季陕北局部地区和陕南秦巴山区一次强降水量可达年降水量的 20% ~ 30% [16],夏季的极端强降水事件容易导致 Γ 函数中的 β 尺度参数值偏大。

以计算榆林地区 1982 年 9 月 4 日的 SPI 指数为例,求得的 1982 年 9 月 4 日向前滚动 30 天的累积降水量为 41.0 mm,同一段时间得到的降水气候平

均值为 98.59 mm,计算得到 $\beta = 19.0, \gamma = 5.0$,曲线如图 9(a)所示,当 $x = 41.0$ mm 时,对曲线求积分得到 $F(x) = 0.056$,序列中降水为 0 的概率为 0,因此 $H(x) = F(x) = 0.056$,再由式(12)得到 $Z = -1.59$,干旱等级为重旱,而计算得到的距平百分率为 -58.41%,干旱等级为轻旱。

冬季在陕西大部分地区容易发生长时间的无降水, Γ 密度函数曲线是明显的偏态近似可以为 J 型曲线,如图 9(b)所示。

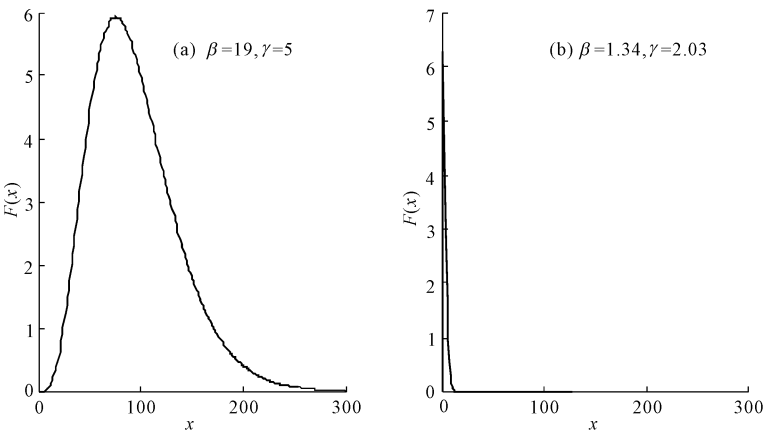


图 9 Γ 函数曲线
Fig.9 Curve of gamma function

以计算榆林地区 1981 年 12 月 24 日的 SPI 指数为例,求得的 1982 年 12 月 4 日向前滚动 30 天的累积降水量为 0.2 mm,同一段时间得到的降水气候平均值为 1.82 mm,计算得到 $\beta = 1.34, \gamma = 2.03$,曲线如图 9(b)所示,当 $x = 0.2 \text{ mm}$ 时, $F(x) = 0.009$,序列中降水为 0 的概率为 $1/3$,因此 $H(x) = 1/3 + 2/3 \times 0.009 = 0.339$,再由式 (12) 最终得到 $Z = -0.41$,干旱等级为无旱,而计算得到的距平百分率为 -89% ,为重旱等级。

冬季容易出现长时间的无降水或微量降水,使得 SPI 值由降水序列中 0 出现的概率决定,而陕西省冬季容易发生长时间的无降水,在冬季降水序列中降水为 0 出现的概率几乎占到 $1/3$ 及以上,如:榆林地区 1982 年 1 月 16—24 日连续 9 天逐日向前滚动 30 天的降水值为 0,求得连续 9 天 SPI 值为 0.33 左右,即为降水序列中降水为 0 出现的概率, SPI 干旱等级均为无旱,而由 P_a 得到的干旱等级为特旱。对于冬季长时间无降水或微量降水过程,求得的 SPI 干旱等级为无旱或轻旱,这显然不符合常理。

同样,由于降水距平百分率 P_a 只与降水量有关,在夏季发生的局地强降水过程,容易导致对于相同下垫面,相似海拔高度的相邻站点出现干旱等级不同的结果,如 1981 年 6 月 20 日在陕西的甘泉地区 30 天累积降水量为 56.6 mm,干旱等级为轻旱,而在相邻区域的洛川地区 30 天累积降水仅为 17 mm,干旱等级达到重旱,相邻区域干旱等级差别巨大。

在计算相对湿润指数 MI 时,应用彭曼公式计算可能蒸散量,定义可能蒸散量为一种假想参照作物,且生长旺盛,完全遮盖地面而水分充分,使用的前提是指在充分的供水条件下的水分散失量,由于

在冬季陕西省长时间的少雨,使得计算得到的可能蒸散量往往大于实际的水分蒸散量。

4 小结与讨论

应用陕西省 1981—2012 年近 32 年的降水量、风速、湿度等资料计算出了全省 96 个站三种干旱动态监测指数: P_a 、 SPI 、 MI 逐日的干旱指数,并分地域、季节从干旱发生频率上对不同干旱指数进行比较,分析干旱指数在陕西省的适用性。

1) 从全省范围:夏季 MI 指数监测的干旱频率大于其他指数,在秋、冬季节 MI 指数监测到的干旱频率小于其他指数;在冬季 P_a 指数监测的干旱频率大于其他指数,而在夏季 P_a 指数监测到的干旱频率小于其他指数,这与干旱指数的计算公式有关, P_a 指数只与降水有关,而 MI 指数除了与降水有关还与气温、相对湿度等因素有关。在夏季气温高、湿度较大,蒸散量大,而在冬季气温低,相对湿度小,蒸散量小,因此得到的 MI 动态指数在夏季出现的干旱频率最大,在冬季最小。

2) 不同于传统以逐月尺度的干旱监测指数,动态监测指数以日为尺度,对降水更加敏感,夏季的强降水事件,秋、冬季节出现的长期无降水事件都会使干旱等级出现明显的变化,导致对干旱评估出现疑误,或个别站点出现奇异点, P_a 、 SPI 干旱指标只考虑了降水作为干旱化的唯一因素,存在一定的局限性。

因此,总体而言,在春、冬季 P_a 指数的适用性较好,而在夏、秋季节 MI 指数的适用性较好, SPI 指数只在春季的陕西省陕北、关中地区适用。

