

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,doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-02-0419

4种干旱指标在甘肃平凉地区的业务适应性分析

杨小利,王丽娜

(甘肃省平凉市气象局,甘肃 平凉 744000)

摘要:利用平凉市7个气象站1965~2010年逐日、逐月的气温、降水、蒸发等资料,分别采用 K 指数、 $PDSI$ 、 CI 指数、 Z 指数等4种干旱指标计算了各站近46 a逐月的干旱指数,分析比较了这4种干旱指标在干旱变化、干旱程度和范围等方面的应用情况,结果表明: K 指数、 CI 指数和 Z 指数在多数情况下与降水对应关系密切,而 $PDSI$ 对降水变化的反映并不十分灵敏;各种干旱指标都能反映出区域内干旱的发生,但反映的程度和范围不同,无论在重旱年份或一般年份 K 指数计算的干旱程度和范围明显要大于其他3种指数, Z 指数则明显偏轻, $PDSI$ 和 CI 指数介于二者之间;重旱年份 K 指数对干旱程度及范围的反映更为接近实际情况, Z 指数最差;一般年份, $PDSI$ 、 Z 指数和 CI 指数更具有优势,但 CI 指数在冬季的适用性较差。干旱是一个复杂的累积过程,在业务应用中要综合考虑前期水分情况及旱情发生发展的各类影响因素,根据实际情况选择不同的干旱指标。

关键词:干旱指标;平凉地区;适应性

文章编号:1006-7639(2013)-02-0419-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-02-0419

中图分类号:S423

文献标识码:A

引言

干旱是一种重要的气象灾害,常被视为各种自然灾害之首,据统计,气象灾害造成的损失占各种自然灾害总损失的85%,而干旱灾害所造成的损失占气象灾害的50%左右,中国是全球旱灾的多发区,干旱灾害每年造成的经济损失高达千亿元。随着气候变暖和人类活动加剧,重大干旱事件明显增多,制约着我国农业发展。西北地区地处内陆,受独特的地理位置和地形影响,水资源短缺,干旱发生频率较高,干旱造成的损失很大,对干旱的研究长期以来受到关注^[1-2]。

研究干旱最关键问题之一是确定干旱指标,目前国内外的干旱指标有数10种^[3],近年来一些学者也应用不同干旱指标对西北地区的干旱变化进行了分析研究,例如:张存杰通过调整 Z 指数的旱涝等级界限值,确定了西北地区大气干旱指标^[4];刘德祥利用前期底墒和当时降水、气温确定了甘肃省服务干旱指标^[5];詹志明等采用田间持水量差额与土

壤最大有效含水量的比值作为干旱指数,描述了黄土高原的干旱规律。在此基础上,根据年干旱月数,把黄土高原地区划分为5种干旱型^[6];郭江勇等利用甘肃黄土高原55个气象站春季时段总降水量、平均气温计算了干湿指数,划分了春旱标准,分析了春旱的时空分布特征和变化规律^[7];冯建民等利用标准化降水指数研究了宁夏旱涝灾害动态监测指标等等^[8]。由于干旱的复杂性,各类干旱指标在使用过程中又都暴露出一定的局限性,在更为理想的干旱指数出现之前^[9],如何应用好现有各种干旱指标,进行较为准确的监测预测,是目前开展干旱业务需要解决的首要问题。

由于干旱的发生包含许多复杂过程和条件,它不仅与降水的多少和分配有关,而且还与蒸发、土壤含水量、径流量等多种因子有关,许多干旱指标都是针对具体的研究目的而设定,因而在具体应用时不能照搬,还要考虑到地域性差异、时间尺度等各种因素,进行适用性分析,有选择地加以应用。吴哲红等应用了降水距平百分率, K 指数、 CI 指数等3种干

收稿日期:2012-11-20;改回日期:2013-02-20

基金项目:国家科技部公益行业(气象)科研专项“多时间尺度干旱监测与预警、评估技术研究”(GYHY201006023)资助

作者简介:杨小利(1967-),女,陕西凤翔人,高级工程师,硕士,主要从事应用气象及干旱气候变化与干旱监测研究。E-mail:plyxl@126.com

旱指标对贵州安顺市罕见干旱过程进行了评估比较^[10];陆桂荣等对山东日照市年和各季的旱涝情况使用降水距平百分率和 Z 指数 2 种方法进行了应用对比分析^[11];谢五三等对 Pa 、 MI 、 CI 、 SPI 、 Z 等 5 种干旱指数的阈值进行修正,分析其在安徽省干旱年际变化、季节演变及空间分布等特征^[12];庄晓翠等分析了 R 指数、 K 指数、 Z 指数等 3 种干旱指标在新疆阿勒泰地区的适用性^[13]等等。可以看出,不同干旱指标在不同地区不同时段的表现差异较大。甘肃省平凉市地处西北内陆,干旱一直是困扰农业生产最主要的气象灾害,近年来本地气象部门应用降水距平百分率、 K 指数、 Z 指数等各类干旱指标开展干旱监测,但对这些干旱指标的适用性并没有进行有关分析,为了在干旱监测业务中有针对性的选取适合的干旱指标,有必要进一步了解它们在平凉市干旱监测中的不同反应,分析其在本地的适用性。为此,选取了本地主要用的单降水要素的 Z 指数、国家标准干旱指数 CI 指数,降水温度 2 要素的 K 指数以及多要素的 $PDSI$ 进行分析,为更好地开展干旱监测预测业务,为当地农业生产提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 资料

利用甘肃省平凉市 7 个气象观测站 1965 ~ 2010 年日平均最高气温、日平均最低气温、日平均气温、日照时数、日平均相对湿度、日平均风速等气候要素资料以及月降水量、月平均气温资料、月蒸发量等资料,所有资料来自平凉市气象局。

1.2 干旱指标

1.2.1 K 指数

根据文献^[14]中干旱指数计算公式,即:

$$K = R'/E' \quad (1)$$

式中, K 为某时段干旱指数, R' 为该时段降水相对变率, $R' = R/R_p$, 其中 R 为该时段降水量, R_p 为该时段降水量多年平均值; E' 为该时段蒸发相对变率, $E' = E/E_p$, 其中 E 为该时段蒸发量, E_p 为该时段蒸发量多年平均值。

1.2.2 帕默尔干旱指数 ($PDSI$)

Palmer 干旱指标是 1965 年美国的 W. C. Palmer 在分析研究美国中西部地区多年气象资料的基础上提出的, Palmer 指标综合考虑了降水、蒸散、径流和土壤含水量等多种影响因素, 计算步骤大致分为 2 步, 一是根据水分平衡原理, 考虑蒸散(发)、径流和土壤含水量等因素, 计算得出气候适宜降水量, 进而

计算出水分距平指数, 二是再考虑时间持续因子的影响, 最后综合得出干旱指标^[15-16]。

求气候适宜降水量的公式为:

$$\hat{P} = \hat{ET} + \hat{R} + \hat{RO} - \hat{L} \quad (2)$$

其中 $\hat{ET}$ 为气候适宜蒸散量, $\hat{R}$ 为气候适宜补水量, $\hat{RO}$ 为气候适宜径流量, $\hat{L}$ 为气候适宜失水量。

求水分距平的公式为:

$$Z = Kd \quad (3)$$

$$d = P - \hat{P} \quad (4)$$

式中 Z 为水分异常指数, d 为水分距平值, K 为权重因子, 笔者在将这一旱度模式应用于甘肃中东部时, 根据实际情况做了修正^[17]。

经反复修正的甘肃中东部的 K 的表达式为:

$$K' = 2.0049 \lg\left(\frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{(\overline{P} + \overline{L})\overline{D}}\right) + 4.03 \quad (5)$$

$$K = \frac{433.26}{\sum_{i=1}^{12} DK'} K' \quad (6)$$

1.2.3 Z 指数

由于某一时段的降水量一般并不服从正态分布, 假设其服从 Person - III 型分布, 通过对降水量进行正态化处理, 可将概率密度函数 Person - III 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布, 公式为^[18]:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} X_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (7)$$

式中 X_i 为降水的标准化变量, C_s 为偏态系数, 其计算公式为:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^3}{n\sigma^3} \quad (8)$$

式中, n 为样本数, σ 为样本标准均方差。

本文 Z 指数干旱标准及等级参照文献^[4]的标准来划分。

1.2.4 CI 指数

气象干旱综合指数 CI 是以标准化降水指数、相对湿润指数和降水量为基础建立的一种综合指数,既反映短时间尺度(月)和长时间尺度(季)降水量气候异常情况,又反映短时间尺度水分亏欠情况^[19-20]:

$$CI = \alpha Z_3 + \gamma M_3 + \beta Z_9 \quad (9)$$

式中: Z_3 、 Z_9 为近 30 和 90 d 标准化降水指数 SPI 值, M_3 为近 30 d 相对湿润度指数, α 、 γ 、 β 为权重系数,分别取 0.4、0.8、0.4。

表 1 干旱等级划分标准

Tab. 1 The criterion of drought intensity for four indices

等级	K 指数	$PDSI$	Z 指数	CI 指数
不旱	$1.5 < K$	≥ -0.99	$-0.5244 < Z$	$C_i > -0.6$
轻旱	$1.0 < K \leq 1.5$	$-1.00 \sim -1.99$	$-1.0364 < Z \leq -0.5244$	$-1.2 < C_i \leq -0.6$
中旱	$0.5 < K \leq 1.0$	$-2.00 \sim -2.99$	$-1.6845 < Z \leq -1.0364$	$-1.8 < C_i \leq -1.2$
重旱	$K \leq 0.5$	≤ -3.00	$Z < -1.6845$	$C_i \leq -1.8$

平凉市干旱几乎每年都有不同程度发生,各类干旱中以春旱及春末初夏旱最重,3~6 月是全年干旱最重的时段,尤其是 20 世纪 90 年代以后发生程度更为严重,1995 年、2000 年的春旱及春末初夏旱都是有气象记录以来所罕见,以这 2 个典型干旱时段的旱情变化分析干旱指标的敏感性,另外,为了了解干旱指标在旱情较轻时段的反应,选取春季相对干旱较轻的 2010 年进行对比分析。

2.1 干旱变化

以崆峒区 1995 年旱情变化为例,分析年内干旱变化情况(图 1),可以看出,4 类指数旱情变化趋势总体一致,其中 K 指数和 CI 指数的变化除春季部分时段有差异外,其余时段几乎同步; Z 指数和 CI 指数除春夏季节外,其余时段基本重合,这和 Z 指数、 CI 指数都是建立在单一降水基础上有关。 K 指数、 CI 指数、 Z 指数与降水距平百分率的对应关系比较明显,降水距平为负时,这 3 种指数表现出不同程度的旱情,而 $PDSI$ 对降水变化的反应相对要平缓得多,不会随降水的变化大起大落,干旱等级的持续时间更长一些,这与 $PDSI$ 考虑了前期及当前降水、蒸散、径流等多个因素有关。如图 1 所示,崆峒区 1995 年 1 月降水偏少 5 成多, K 指数即反映为重旱,而 $PDSI$ 和 Z 指数则为正常, CI 指数为轻旱,2 月降水偏多 3 成, K 指数为轻旱,其他指数则为不旱;3~7 月降水持续偏少,从 3 月开始 K 指数为重旱, Z 指

2 结果分析

4 种干旱指标中 Z 指数、 CI 指数均是建立在降水基础上的单一气象干旱指标, K 指数同时考虑了降水和蒸发, $PDSI$ 则考虑了降水、蒸散、径流等多个因子,后 2 个指数物理意义相对更为明显,但在应用中各类指数的效果如何,还要进行进一步的分析。利用气象资料计算了平凉市 1965~2010 年逐月 K 指数、 $PDSI$ 、 Z 指数、 CI 指数,为了便于不同指标间的比较,按照各自的干旱等级划分标准统一划分为不旱、轻旱、中旱、重旱 4 个等级。

数和 CI 指数也显示出中旱,而 $PDSI$ 直到 5 月才为中旱;8 月降水偏多 6 成多, K 指数、 CI 指数和 Z 指数都为不旱, $PDSI$ 则仍为轻旱,并一直持续到 12 月后才为不旱。其他典型年份这 4 个指数表现的特点与 1995 年相似。可以看出,4 种指数中, K 指数对降水变化的反应最为敏感,干旱等级总体也最高,其次是 CI 指数和 Z 指数,这 3 种指数在多数情况下与降水对应关系密切,而 $PDSI$ 由于影响因素众多,对降水变化的反应并不十分灵敏。因此,在具体的干旱监测业务与研究中应根据几种指数的不同特点加以应用。

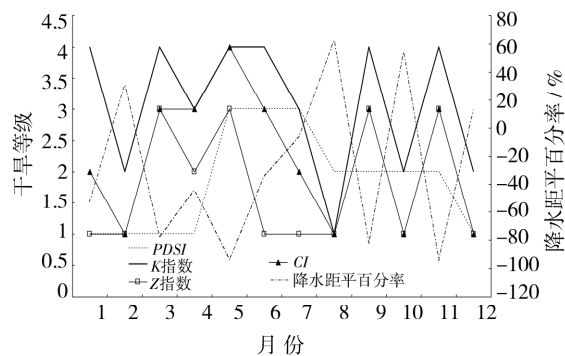


图 1 崆峒区 1995 年各类干旱指数表示的旱情变化

Fig. 1 The evolution of drought reflected by different drought indices in Kongtong in every month of 1995

2.2 干旱程度

以崆峒区为例,分析 1965~2010 年共 552 个月 4 种干旱指数计算的不同等级干旱发生频率分布情况(图 2),可以看出,以 K 指数计算的干旱频率的分布形态不同于其他指数,由大到小的分布排列为重旱、不旱,轻旱,中旱,而 $PDSI$ 、 Z 指数和 CI 指数计算的干旱频率分布形态相似,由大到小的排列为不旱、轻旱、中旱、重旱。552 个月中, K 指数重旱发生频率为 30.1%,轻旱以上干旱频率 73%,即有超过 2/3 的月份都出现不同程度的干旱,其中接近一半是重旱,其他 3 种指数重旱发生频率为 5.6%~6.9%,轻旱以上干旱频率在 33%~43.8%,即有 1/3 以上的月份有干旱,重旱不足其中 1/5,可见 K 指数计算的干旱程度明显重于其他 3 种指数。

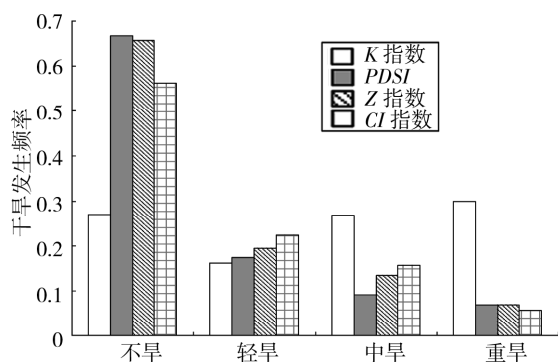


图 2 崆峒区 1965~2010 年不同干旱等级频率分布

Fig. 2 The distribution of frequencies of drought events with different intensity in Kongtong of Pingliang from 1965 to 2010

利用崆峒区 552 个月 4 种干旱指数分析了各指数轻旱以上干旱的发生频率(图 3)及重旱发生频率(图略)1 a 中的平均分布情况,可以看出, K 指数计算的各月干旱频率都在 60% 以上,重旱频率在 20% 以上,远高于其他 3 种指数。 K 指数、 Z 指数计算的干旱频率各月变化幅度相对较小,最大分别出现在 4~7 月和 4~5 月, $PDSI$ 和 CI 指数各月干旱频率变化幅度较大,最大分别出现在 7~9 月和 11~12 月,不同指数计算的易旱月份分布有较大差异, $PDSI$ 的易旱月份较迟,可能与其累积计算干旱的特点有关,但 CI 指数冬季干旱频率最大,与本地干旱的实际情况不相符,可能与其算法中相对湿度所占权重系数较大,而本地区冬季降水稀少,相对湿度较小有关。不同指数计算的重旱的易旱月份也有较大差异, K 指数在冬春季节频率较大为 39%~48%, $PDSI$

SI 在 6~9 月频率较大为 11%~17%,其他月份重旱频率很小, Z 指数则仅在 6~8 月有 2%~7% 的重旱频率,其他月份为 0, CI 指数 1~5 月在 7%~13% 之间,其他月份也很小。

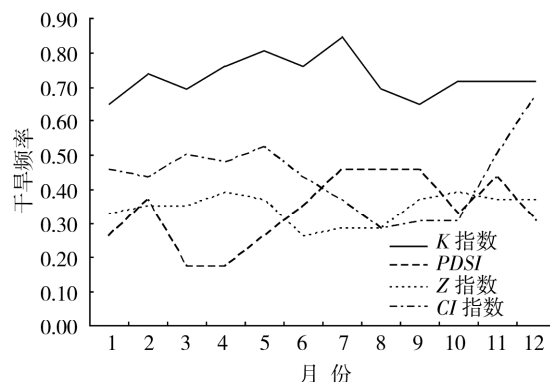


图 3 崆峒区不同月份干旱频率分布

Fig. 3 The frequencies of drought in different month in Kongtong of Pingliang

2.3 干旱范围

为分析 4 类干旱指数典型干旱年份在平凉市各县(区)的表现情况,将计算得到的 1995 年 5 月、2000 年 5 月、2010 年 5 月的 K 指数、 $PDSI$ 、 Z 指数、 CI 指数按表 1 转化为干旱等级,列出不同指数计算的各县干旱等级和做为参照的当月降水距平百分率。

1995 年 3~7 月全市降水持续偏少,其中 5 月偏少 8~9 成,春旱严重,从表 2 中可以看出,7 个县(区)中 K 指数、 $PDSI$ 、 Z 指数、 CI 指数等 4 种指数达到重旱的县(区)数分别是 7、3、1 和 7 个,达到中旱以上的个数分别是 7、7、7 和 5 个;2000 年的干旱始自 1999 年 8 月,降水持续偏少,至 2000 年 5 月春旱十分严重, K 指数、 $PDSI$ 、 Z 指数、 CI 指数达到重旱的县(区)数分别是 7、2、0 和 4 个,达到中旱以上的个数是 7、7、6 和 3 个;2010 年春旱相对较轻,3~5 月除灵台 3 个月降水略有偏少外,其他县(区)基本正常或偏多,从结果看, K 指数 1 个县为中旱,5 个县(区)为轻旱,2 个县无旱, $PDSI$ 无旱, CI 指数和 Z 指数各有 1 个县轻旱,其余县为无旱,分析其他年份有相似的结果。可以看出,无论在重旱年份或一般年份,由 K 指数计算得到的干旱等级较重,范围较大,相反由 Z 指数得到的干旱等级则明显偏轻,范围偏小, $PDSI$ 和 CI 指数介于二者之间,可见,重旱年份 K 指数对干旱程度及范围的反映更为接近实际情况。

表2 不同干旱指数在平凉市典型干旱年份的干旱等级

Tab.2 The drought intensity caculated by four indices in typical drought years in Pingliang

		崆峒	静宁	庄浪	华亭	崇信	泾川	灵台
1995.5	<i>K</i> 指数	4	4	4	4	4	4	4
	<i>PDSI</i>	3	4	3	4	4	3	3
	<i>Z</i> 指数	3	3	1	3	4	3	3
	<i>CI</i> 指数	4	4	4	4	4	4	4
	降水距平百分率/%	-93	-91	-96	-82	-90	-90	-85
2000.5	<i>K</i> 指数	4	4	4	4	4	4	4
	<i>PDSI</i>	4	3	3	4	3	3	2
	<i>Z</i> 指数	3	3	1	3	3	1	2
	<i>CI</i> 指数	4	3	2	4	3	4	4
	降水距平百分率/%	-80	-64	-27	-80	-73	-46	-67
2010.5	<i>K</i> 指数	2	1	2	2	2	1	3
	<i>PDSI</i>	1	1	1	1	1	1	1
	<i>Z</i> 指数	1	1	2	1	1	1	1
	<i>CI</i> 指数	1	1	1	2	1	1	1
	降水距平百分率/%	-1	20	-35	13	1	11	-4

3 结 论

(1)4种指数中 *PDSI* 对降水变化的反应表现出一定的滞后性,其他3种指数对降水变化的反应较为敏感,多数情况下与降水对应关系密切。

(2)*K* 指数计算的干旱发生频率分布形态不同于其他指数,干旱发生频率尤其是重旱频率明显高于其他指数,各月干旱频率也远高于其他指数。不同指数计算的易旱月份分布有较大差异,其中 *PDSI* 的易旱月份相对较迟,*CI* 指数冬季最易旱可能与其算法有关,也进一步说明 *CI* 指数在冬季的适用性较差。

(3)重旱年份,*K* 指数计算的重旱范围和等级都最大,*CI* 指数和 *PDSI* 次之,*Z* 指数得到的干旱范围和等级都最小。一般年份 *K* 指数计算的干旱等级和范围也较其他指数偏大,因此 *K* 指数更适用于重旱年份的干旱监测,相反 *Z* 指数并不适用于重旱年份。

(4)4种干旱指数都能不同程度地反映出平凉市干旱发生,但在干旱变化、干旱程度和范围上有较大差别,干旱是一个复杂的累积过程,影响因素众多,不同指数在不同阶段适用性有限,因此,在日常干旱监测业务中要考虑到受旱对象、前期水分情况及各种指数的不同特点加以分析和应用。

参考文献:

- [1] 张强,胡隐樵,曹晓彦,等.论西北干旱气候的若干问题[J].中国沙漠,2005,25(5):785-789.
- [2] 张强,张存杰,白虎志,等.西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J].干旱气象,2010,28(1):1-6.
- [3] 谢应齐.关于干旱指标的研究[J].自然灾害学报,1993,2(3):55-62.
- [4] 张存杰,王宝灵,刘德祥.西北地区大气干旱分指标的初步研究[J].高原气象,1998,17(4):381-389.
- [5] 刘德祥,王宝灵,瞿汶.甘肃省服务干旱指标的初步研究[J].甘肃气象,1998,16(3):17-20.
- [6] 詹志明,彭云秀,王凯胜.黄土高原干旱指数分析[J].地域研究与开发,1999,18(2):25-28.
- [7] 郭江勇等.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.
- [8] 冯建民,梁旭,张智.宁夏旱涝动态监测指标及其应用[J].干旱区资源与环境,2003,17(6):71-7.
- [9] 张强,张良,崔显成,等.干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战[J].地球科学进展,2011,26(7):763-778.
- [10] 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.
- [11] 陆桂荣,郑美琴,周秀君,等.山东日照市2种干旱指标的应用对比[J].干旱气象,2010,28(1):102-106.
- [12] 谢五三,田红.五种干旱指标在安徽省应用研究[J].气象,2011,37(4):503-507.
- [13] 庄晓翠,杨森,赵正波,等.干旱指标及其在新疆阿勒泰地区干

- 旱监测分析中的应用[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 81 – 85.
- [14] 王劲松, 任余龙, 宋秀玲. 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.
- [15] Wayne C Palmer. Meteorological Drought, Research Paper, NO. 45. Washington. D. C. U. S Weather Bureau. 1965.
- [16] 安顺清, 刑久星. 修正的帕默尔干旱指数及其应用[J]. 气象, 1985, 1(1): 17 – 19.
- [17] 杨小利, 刘庚山, 杨兴国, 等. 甘肃黄土高原帕默尔旱度模式的修订[J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 8 – 12.
- [18] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34 – 39.
- [19] GB/T 20481 – 2006. 气象干旱等级[S].
- [20] 李树岩, 刘荣花, 师丽魁, 等. 基于 CI 指数的河南省近 40a 干旱特征分析[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 97 – 101.

Analysis of Operation Adaptability of Four Drought Indices in Pingliang of Gansu Province

YANG Xiaoli, WANG Lina

(Pingliang Meteorological Bureau of Gansu Province, Pingliang 744000, China)

Abstract: Based on the daily and monthly temperature, precipitation and evaporation data from 7 stations of Pingliang during 1965 – 2010, the monthly drought indices of each station in recent 46 years were calculated with K index, PDSI, CI and Z index, respectively, and the application of four indices in drought variation, drought degree and range was analyzed and compared. The results show that K index, CI and Z index has close corresponding relationship with precipitation in most time, while PDSI was insensitive to precipitation variation. Each index could reflect the drought occurrence but with different intensity and extension. The intensity and extension reflected by K index was more serious than the other three indices in drought years or ordinary years, while that reflected by Z index was obviously smaller, and PDSI and CI was between K index and Z index. K index was closer to actual drought situation in serious drought years, but the adaptability of Z index was the worst. In ordinary years, PDSI, Z index and CI were more suitable, but the adaptability of CI was worst in winter. Drought is a complex cumulative process, so suitable drought indices should be selected considering moisture conditions in prophase and various factors which influence the occurrence and development of drought.

Key words: drought indices; Pingliang; adaptability; analysis