

文章编号: 1001-8166(2005)09-1022-07

PDSI在甘肃中东部地区的修正和应用*

杨小利^{1,2}, 杨兴国¹, 马鹏里^{1,2}, 王若升², 董彦雄²

(1·中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃兰州 730020; 2·甘肃省平凉市气象局, 甘肃平凉 744000)

摘要: 依据 PDSI 的基本原理和方法, 针对甘肃中东部地区的实际情况, 从建模资料长度、站点密度、可能蒸散的计算、土壤田间持水量和径流计算等几个方面对原有模式进行了修正, 建立了适用于该区的 PDSI 并确定了权重因子, 计算了 20 个代表站的 PDSI 值, 并与实际的旱情记载进行对照检验。结果表明, 用修正后的 PDSI 计算的旱度值与实际灾情基本上吻合, 能较好地反映出甘肃中东部地区的干旱程度, 尤其是对一些重大旱段反映明显。在此基础上, 进一步分析了干旱的基本特征, 为防灾减灾提供科学依据。

关键词: 甘肃中东部; PDSI; 修正和应用
中图分类号: P49 **文献标识码:** A

甘肃中东部地处黄土高原西侧, 属典型的大陆性季风气候, 由于降水时空分布不均, 年际变率大, 加之水土流失严重, 水热资源利用率低, 导致干旱频繁发生, 出现频率和成灾率均高于全国平均水平, 属于干旱的敏感区, 特别是随着气候变化和社会经济的发展, 干旱的严重程度和影响程度将有可能进一步加剧^[1]。对本区经济的进一步发展存在着严重威胁。建立适合本区的客观实用的干旱指标, 分析研究干旱发生规律, 是进行有效干旱监测和防灾减灾的重要前提和当务之急。

有关于本区的干旱指标曾有过很多研究, 但至今尚无普遍适用的标准。任瑾^[2]以标准差为单位的离均差“ D ”为指标, 分析了甘肃 1960—1989 年各地不同时期的干旱特征。张存杰^[3]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; 刘德祥^[4]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。这些指标在具体应用时均有其针对性和实用性, 但考虑因素较少, 缺乏时空比较性。而另一方面, PDSI 自从 20 世纪 70 年代引入

后, 在我国已得到广泛应用, 1985 年安顺清等^[5]对 PDSI 进行了修正, 建立了适用于我国 100°E 以东的干旱指标, 1990 年黄妙芬^[6]应用 PDSI 的基本原理, 建立了黄土高原西北部的帕默尔干旱指标, 1996 年余晓珍^[7]在中国部分地区进行了对 PDSI 的适用性检验, 提出了应用中存在的一些问题并进行了修正。另外还有许多工作都直接或间接地应用了 PDSI 的原理, 这些研究表明, PDSI 方法可以作为我国区域干旱分析的有效工具。因此有必要利用其原理, 在建立适合甘肃中东部的干旱指标方面做一尝试。

1 PDSI在甘肃中东部地区的修正

1.1 关于 PDSI

干旱的形成和发展是水分亏缺缓慢累积的过程, 干旱强度应是水分亏缺量及其持续时间的函数。根据以上原理及思路, 1965 年帕默尔对美国中西部地区多年气象资料进行了分析研究, 提出了“对当前情况气候上适应的”降水即 CAFEC 降水的概念, 从而推导出一套分析计算干旱严重程度的完整方

* 收稿日期: 2005-05-11; 修回日期: 2005-07-19。

* 基金项目: 中国气象局新技术应用推广项目“西北地区干旱监测系统研究”(编号: CMATG2005M22); 科技部科研院所社会公益研究专项“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”(编号: 2005DEB5J192)资助。

作者简介: 杨小利(1967-), 女, 陕西凤翔人, 高级工程师, 主要从事应用气象研究及服务 work。E-mail: pliyxl@schu.com

法。帕默尔认为,干旱严重程度是干旱持续时间长短和水分短缺大小的函数,干旱取决于前期和现在的气候条件^[8]。PDSI 考虑因子较全面,水分亏缺量由水分平衡方法得到,并引入了气候适宜值的概念,而不是采用简单的时段平均,因此它的计算结果与实际情况的吻合程度较高。

1.2 资料来源及处理

建立指标及修正时所用站点信息资料,包括各站经度、纬度、海拔高度资料,所用的气象资料,包括日平均气温、日平均风速、日平均日照时数、日平均水汽压、日降水量、可能日照时数、日最高气温和日最低气温的逐日资料,来源于甘肃气象局气象档案馆,进行水分平衡计算时所用的土壤水文常数(包括土壤质地、田间持水量、凋萎湿度)及土壤湿度资料(0~50 cm 土壤湿度百分率)来源于各农业气象试验站的观测数据,径流系数采用各地的试验数据。在进行资料处理时将日资料进行转换,处理为逐月资料,对空缺资料按内插法进行插补。

1.3 PDSI 在甘肃中东部地区的进一步修正

虽经多次应用及修正,在将 PDSI 应用于甘肃中东部这一特定区域时,仍存在资料范围、蒸散计算、田间持水量及径流量处理等方面的问题,需做进一步的修正:

(1) PDSI 建立时以美国中西部的资料作为基本资料,而我国修正的 PDSI^[5]则针对我国 100°E 以东的广大地区,适用于较大范围,且站点密度太小,60~80 年代的资料也难以反映 90 年代以后的干旱情况,对于甘肃中东部这一较小的区域,其应用会受到限制,为了能够更精确地反映本区的实际情况,依据旱情记录、地理分布、土壤常数资料及气候资料的全面性的原则,选取西峰、平凉、定西、天水等 4 个站建立指标,又选取环县、正宁、泾川、静宁、华家岭、通渭、秦安、清水等 8 个站修正权重因子,资料年限均为 1961—2000 年,资料选取的密度加大,年限延长。

(2) 原有的 PDSI 计算可能蒸散时采用桑斯威特方法,只考虑了温度因素,且假设温度低于零度时没有蒸散,这种假设存在争议且不符合本区的实际。在本文中可能蒸散的计算采用了当今较为通用的 FAO Penman-Monteith 公式进行计算^[9]:

$$ET_0 = \frac{0.408 (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{+ (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

式中 ET_0 为参考蒸散量(mm/d); R_n 为作物表面净

辐射(MJ/(m²·d)); G 为土壤热通量(MJ/(m²·d)); $G = 0.1 \times (T_i - T_{i-1})$, T_i 、 T_{i-1} 分别为计算当日和前三日的平均温度(°C); U_2 为 2 m 高度处 24 小时平均风速(m/s); e_s 为饱和水汽压(kPa); e_a 为实际水汽压(kPa); γ 为饱和水汽压斜率(kPa/°C); λ 为干湿球常数(kPa/°C)。

(3) 原有的 PDSI 和我国修正的 PDSI 在田间持水量的划分上过于粗糙,因而尽量以各站的土壤水文常数的实测值代替原有的估计值,对于没有测定的站或测定深度不够 1 m 的站,根据其土壤质地性质和就近的实测站进行比较,较准确地估计其水文常数,将土壤分为 0~20 cm 和 20~100 cm 上、下两层。

(4) PDSI 和我国修正的 PDSI 在径流的处理上,人为性较大,均假定当土壤水达到饱和时即上、下层均达到田间持水量时才有径流产生,而本区的实际是当降水强度大于入渗速度时即有径流产生,因此在径流的处理上要考虑本区实际进行修正。采用 $RO = P$ 计算径流,其中 R 为径流系数,采用各地试验数据^[10],本区的取值范围为 0.05~0.09, P 为降雨量。为过滤掉过小的降水量, P 为逐日降水量中大于 2.0 mm 的降水量的月合计值,另外,冬季(12~2 月)的径流量作为 0 来处理。

经过以上修正,得到修正后的甘肃中东部的 PDSI:

$$X_i = Z / 59.32 + 0.8619 X_{i-1} \quad (2)$$

式中 X_i 为本月旱度值, Z 为本月水分异常指数, X_{i-1} 为上月旱度值。其中:

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

$$d = P - P^c \quad (4)$$

$$P^c = ET + R^c + RO^c - U^c \quad (5)$$

$$ET = PE \quad (6)$$

$$R^c = PR \quad (7)$$

$$RO^c = PRO \quad (8)$$

$$U^c = PL \quad (9)$$

式中 d 为水分距平值, P 为本月的实际降水量, P^c 为气候适宜降水量, ET 为气候适宜蒸散量, R^c 为气候适宜补水量, RO^c 为气候适宜径流量, U^c 为气候适宜失水量, d 即为实际降水量和气候适宜降水量的差值。

式中 PE 、 PR 、 PRO 、 PL 分别为可能蒸散、可能补水量、可能径流量、可能失水量, α 、 β 、 γ 、 δ 分别为蒸散系数、补水系数、径流系数、失水系数,其计算公式如下:

$$\alpha = ET / PE \quad (10)$$

$$\beta = R / PR \quad (11)$$

$$= \overline{RO} / \overline{PRO} \quad (12)$$

$$= \overline{L} / \overline{PL} \quad (13)$$

式中 \overline{ET} 、 \overline{PE} 、 \overline{R} 、 \overline{PR} 、 \overline{RO} 、 \overline{PRO} 、 \overline{L} 、 \overline{PL} 分别为月平均蒸散量、月平均可能蒸散量、月平均补水量、月平均可能补水量、月平均径流量、月平均可能径流量、月平均失水量、月平均可能失水量。

公式(3)中的 K 为经过反复修正后的权重因子,其表达式为:

$$K = 2.0049 \lg \left(\frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{(\overline{P} + \overline{L}) D} \right) + 4.03 \quad (14)$$

$$K = \frac{433.26}{12} K \quad (15)$$

式中 D 为水分距平绝对值的平均。
干旱等级的划分标准见表 1。

表 1 PDSE 干湿等级划分标准
Table 1 The grade criterion for PDSI

指数值(X)	等级
4.0	极端湿润
3.00 ~ 3.99	严重湿润
2.00 ~ 2.99	中等湿润
1.00 ~ 1.99	轻微湿润
0.99 ~ 0.99	正常
- 1.00 ~ - 1.99	轻微干旱
- 2.00 ~ - 2.99	中等干旱
- 3.00 ~ - 3.99	严重干旱
- 4.00	极端干旱

1.4 干(湿)期开始和结束的确定

在应用(2)式计算旱度值时,要确定系列当中每个月当月结束旱段或湿润段的可能性,当月旱段或湿润段开始的可能性以及已经开始的旱段或湿润段的严重程度等几个方面的信息,利用(2)式计算得到:

$$Z_0 = - 51.127 X_{i-1} - 29.66 \quad (16)$$

Z_0 即为某个月内使干旱减轻到正常状态的 Z 值。即结束干旱的水分距平指数应为:

$$U_w = Z + 4.1 \quad (17)$$

U_w 为“有效增湿量”,是使干旱严重程度减轻的 Z 值。使干旱结束的湿量应为该月湿量与前期湿量的累积和即:

$$Z = Z_0 + \sum_{j=0}^i U_{i-j} - U_j \quad (18)$$

式中 $U = U_w$, 下标 i 是所考虑的月份, j 表示干旱滞后的月份, j 为出现湿期的第一个月, U_{i-j} 表示

将 U 从时间上向后加到第 j 个月,包括第 j 个月。

因此干旱结束的概率 P_0 可用下式表示:

$$P_0 = \prod_{j=0}^i U_{i-j} / (Z_0 + \prod_{j=0}^i U_{i-j}) \quad (19)$$

$$V^* = \prod_{j=0}^i U_{i-j} \quad (20)$$

$$Q^* = \prod_{j=1}^i U_{i-j} \quad (21)$$

同样 对于湿期:

$$Z_0 = - 51.127 X_{i-1} + 29.66 \quad (22)$$

$$\text{有效增干量为: } U_d = Z - 4.1 \quad (23)$$

2 甘肃中东部修正的 PDSI 的验证

利用以上建立的甘肃黄土高原的 PDSI 计算了本区 20 个代表站 1961—2000 年逐月的旱度值,为了检验该模式的可靠性,收集了 40 年本区旱情记录的有关资料,将计算结果与实况进行对比,以天水为例(图 1) 对照检验如下:

天水市 1965 年 10 月至 1966 年 6 月, 8 个多月降水量仅有 98.5 mm, 农作物受旱严重, 全市粮田有 135.3 kkm² 受旱严重, 1969 年 5 ~ 10 月降水偏少, 5 ~ 6 月份降水量不足 40 mm, 1973 年伏秋连旱严重, 7 月份降水量仅 26.1 mm, 伏旱时段超过 45 天, 夏秋田生产受到严重影响; 1979 年开春以后, 降雨量普遍偏少, 入夏后, 旱象进一步发展, 渭北的许多河水断流, 池塘干枯, 农作物生长一直处于干旱缺水的状况下, 小麦叶片变黑, 青干枯萎。大秋作物部分因旱不能下种, 干旱山区的人畜饮水发生了很大困难。夏秋作物受旱灾面积 171.97 kkm², 减产粮食 23 702.24 × 10⁴ kg, 1982 年 5 月以后, 降雨稀少, 5 ~ 8 月降水量较常年偏少 3 ~ 7 成, 夏、秋粮减产, 农作物受旱灾面积 169.9 kkm², 减产粮食 8 822.8 × 10⁴ kg, 成灾人口 218.4 万人, 1986 年旱段从 3 月中旬到 6 月中旬长达 102 天, 秦安县最长达 200 多天, 7 月中旬以后, 出现了伏秋连旱, 受旱灾面积 80.4 kkm², 1987 年春旱使天水市夏粮普遍受到影响, 从 7 月下旬到 9 月上旬又没有下过一场好雨, 使大面积的秋田严重受旱, 玉米、洋芋减产严重, 1992 年的干旱从 1991 年 6 月中、下旬开始到 1992 年 5 月, 干旱持续时间长, 影响范围广, 危害程度大, 冬麦因旱灾死苗需改种逾 17.4 kkm², 1994—2000 年连年干旱, 天水市一直处于大旱区内, 为甘肃河东干旱中心, 其中 1997 年春夏连旱, 5 ~ 8 月降水偏少 3 ~ 6 成, 7 月中旬至 8 月下旬出现异常高温天气, 旱情进一步加

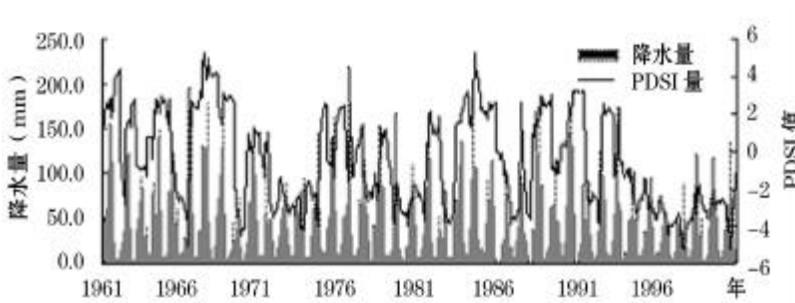


图1 天水1961—2000年逐月降水量及旱度值变化

Fig.1 The monthly PDSI change form 1961-2000 in Tianshui

重粮食减产严重。2000年又出现春夏旱和前伏旱夏秋粮大幅度减产。

从以上对照检验可以看出,修正后本区的PDSI与实际旱情是基本吻合的,能够反映出各个时期的干旱程度,尤其对一些重大旱段反映较明显。

3 甘肃中东部修正后的PDSI应用

应用修正的本区的PDSI所计算的20个代表站的40年逐月旱度值,分析了本区旱灾的基本特征分析如下:

3.1 近40年干旱分布情况

1961—2000年的近40年,本区发生较为严重的干旱13次,其中旱情重、范围大的干旱年份有:

(1) 1966年春旱连伏旱,6月份旱情最重,20个站中有18个站达到中等或中等以上干旱,占90%,其中8个站达到极旱,占40%,5个站达重旱,占25%,旱度值达到-5.0的有3个站(秦安-5.32,清水-5.21,天水-5.14)。

(2) 1972年为重旱年,本年度主要发生伏旱,10月份20个站中有19个站达中等或中等以上干旱,占95%,其中9个站达极旱,占45%,10个站达

重旱,占50%,有1个站达到-5.0(永登-5.03)。

(3) 1995年秋冬春夏四季连旱,是有气象记录以来范围最大、旱情最重的一年,主要为春旱和春末初夏旱,6月份20个站中达中等或中等以上干旱的有20个站,为100%,其中有8个站达极旱,占40%,7个站达重旱,达35%,有3个站旱度达到-5.0(西峰-6.14,定西-5.21,静宁-5.21),最大旱度值出现在西峰(-6.14)。

(4) 1997年干旱主要出现在春末初夏,6月份20个站中达中等或中等干旱程度以上的有17个站,占85%,其中达极旱的有6个站,占30%,重旱的有8个站,占40%,最大旱度值出现在清水(-4.78)。

(5) 2000年的干旱俗称“世纪大旱”,干旱主要出现在春季,尤以陇东为重,5月份20个站中达中等或中等干旱程度以上的为19个,占95%,其中达极旱的有7个,占35%,重旱的有11个,占55%,西峰旱度值达到-5.0(-5.48)。

3.2 干旱月数频率

表2为根据计算的各站PDSI值统计的甘肃中东部地区20个代表站1961—2000年年和各季不同

表2 甘肃中东部各代表站1961—2000年年、季不同等级干旱月数频率(%)

Table 2 Seasonal and annual drought-month frequencies at different level from 1961-2000 in the representative stations of mid and eastern Gansu province

	年	春季(3~5月)	夏季(6~8月)	秋季(9~11月)	冬季(12~2月)
极端干旱频率	0.6~6.9	0.0~11.7	0.8~9.2	0.0~7.5	0.0~5.0
严重干旱频率	3.3~17.7	2.5~17.5	4.2~15.8	2.5~18.3	1.7~22.5
中等干旱频率	10.2~22.5	10.8~25.0	6.7~21.7	8.3~26.7	6.7~25.0
轻微干旱频率	10.2~29.8	12.5~34.2	12.5~30.0	7.5~30.0	5.0~33.3
干旱总频率	37.7~53.8	40.0~55.0	40.0~59.2	40.0~55.0	24.2~53.3
干旱月数频率高值区	岷县、环县、平凉	正宁、泾川、环县	环县、岷县、西峰	岷县、环县、景泰	天水、岷县
干旱月数频率低值区	白银、靖远、兰州	白银、靖远、临夏	渭源、泾川	白银、临夏	白银、兰州、靖远、永登

等级的干旱出现频率。可以看出,岷县、环县在总的干旱频率和季节干旱频率方面均为高值区,而白银、靖远、兰州均为低值区。在一年中,春、夏、秋三季的干旱频率都比较大,尤以夏季干旱频率为大,说明本区夏季才是干旱的多发季节,这与传统所认为的春季易旱的说法有所出入,这是因为传统的干旱分析仅以降水量作为评价标准,并且认为春季干旱对作物影响大,而 PDSI 是以长期的气象干旱作为研究对象,不仅考虑评价时段的干旱,而且考虑到前期天气条件的累积效应。

以 5 年为时间单位统计了甘肃中东部 1961—2000 年各级干旱的发生频率,作出 5 年时段干旱频率较高 (>40%) 的站点个数图(图 2) 5 年时段的平均干旱、极端干旱、严重干旱频率变化趋势图(图 3~5)。不同等级干旱频率较大的 5 年时段统计见表 3~5。

从以上图表可以看出,40 年来,本区干旱发生的频率和发生范围呈总体上升的趋势,其中极端干旱呈现出缓慢上升的趋势,而严重干旱则呈现出较明显的上升趋势。

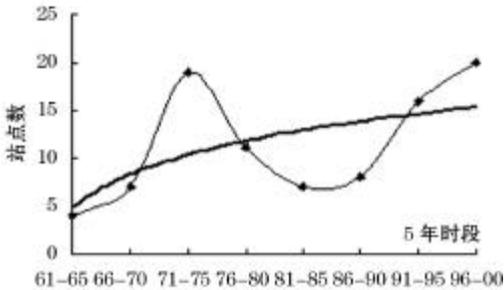


图 2 甘肃中东部干旱频率大于 40% 的站点数
Fig.2 The number of stations in which the drought frequency is bigger than 40%

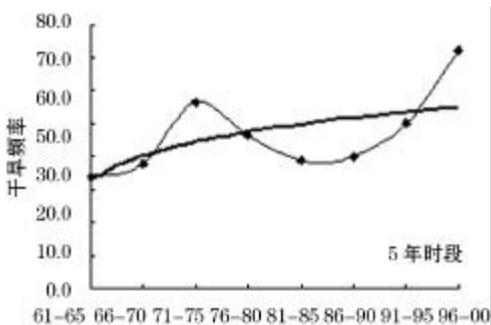


图 3 甘肃中东部每 5 年时段干旱频率变化图
Fig.3 The drought frequencies of every five year in mid and eastern Gansu

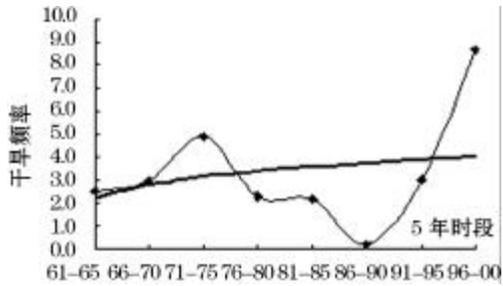


图 4 甘肃中东部每 5 年时段极端干旱频率变化
Fig.4 The extreme drought frequencies of every five year in mid and eastern Gansu

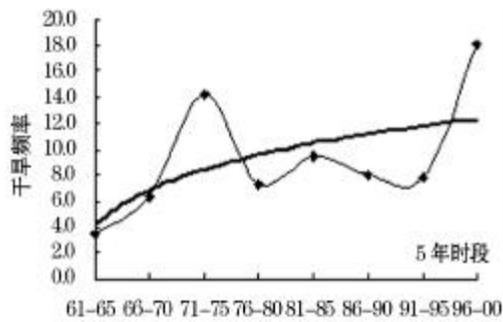


图 5 甘肃中东部每 5 年时段重旱频率变化图
Fig.5 The severe drought frequencies of every five year in mid and eastern Gansu

表 3 甘肃中东部 1961—2000 年干旱频率较大的 5 年时段
Table 3 The five-years period in which the drought frequency is bigger

	1966—1970	1971—1975	1996—2000
平均干旱频率(%)	37.8	56.6	72.7
最大干旱频率(%)	60.0(正宁)	85.0(岷县)	98.3(岷县)
干旱频率大于 40% 的 站点数百分比(%)	35.0	95.0	100.0

表 4 甘肃中东部 1961—2000 年极端干旱频率较大的 5 年时段
Table 4 The five-years period in which the extreme drought frequency is bigger from 1961—2000

	1966—1970	1971—1975	1991—1995	1996—2000
平均干旱频率(%)	2.9	4.9	3.0	8.7
最大干旱频率(%)	15.0(临夏)	16.7(正宁)	13.3(西峰)	35.0(岷县)
干旱频率大于 40% 的 站点数百分比(%)	30.0	45.0	25.0	50.0

3.3 主要干旱时段

对所计算的旱度值进行统计分析,发现 1961—2000 年间的 40 年中,甘肃中东部几乎年年都有不

同程度的干旱发生,40 年中发生范围广、持续时间长的干旱有 4 次,即 1965—1967 年、1971—1975 年、1980—1983 年、1994—2000 年(表 6),持续时间最长的干旱达到 7 年,在几个主要旱段中,1994—2000 年的干旱在发生范围、持续时间及强度上均为最大。

3.4 干旱周期分析

用功率谱方法分析了甘肃中东部各站点的干旱周期,以泾川为例,用泾川 40 年 480 个月的逐月干旱指数时间序列资料作功率谱分析,取最大滞后时

表 5 甘肃中东部 1961—2000 年严重干旱频率较大的 5 年时段
Table 5 The five-years period in which the server drought frequency is bigger from 1961-2000

	1971—1975	1981—1985	1996—2000
平均干旱频率(%)	14.3	9.5	18.1
最大干旱频率(%)	26.7(岷县)	16.7(永登)	48.3(天水)
干旱频率大于 40%的	75.0	55.0	65.0
站点数百分比(%)			

表 6 甘肃中东部 1961—2000 年主要干旱时段及最大强度
Table 6 The main drought period and the most severe drought index in mid and eastern Gansu

时段	1965—1967	1971—1975	1980—1983	1994—2000
最长持续时间及最强旱度	景泰 1965.1 ~1966.10(22 个月) - 4.11(1965.9)	正宁、秦安 1971.1 ~1974.8(44 个月) - 4.73(1973.6) - 4.60(1971.10)	永登 1980.1 ~1983.12(48 个月) - 4.46(1980.10)	天水 1994.1 ~2000.12(84 个月) - 5.28(1997.8)
极端最强旱度	永登 - 5.64(1966.7)	静宁 - 5.11(1971.10)	正宁 - 5.57(1980.4)	岷县 - 6.76(1997.8)

间为 5 年,即最大落后长度 $m = 60$,功率谱分析如图 6 可以看出,在波数为 1、2、3 时谱密度值最大。用典型的红噪音过程检验,在波数 $I = 2$ 时,信度水平为 0.05 的检验置信下限的红噪音谱 $SK(2) = 0.1037$,而平滑功率谱值 $S(2) = 0.2167$, $S(2) > SK(2)$ 通过 0.05 的显著性检验; $I = 3$ 时, $SK(3) = 0.0474$, $S(3) = 0.1385$, $S(3) > SK(3)$ 亦通过 0.05 信度的显著性检验;而 $I = 1$ 时, $SK(1) = 0.3634$, $S(1) = 0.2734$, $S(1) < SK(1)$ 不能通过显著性检验,因此,其周期 $T = 2m / I$,存在 40 ~60 个月即 3 ~5 年的周期。如果最大滞后时间 $m = 80$,则在 $I = 2$ 、 $I = 3$ 、 $I = 4$ 时均通过 0.05 信度的显著性检验,其显著性周期为 80、53、40 个月,即 3 ~6 年的周期。如果最大滞后时间 $m = 120$,则在 $I = 3$ 、 $I = 4$ 时通 0.05 的信度检验,因而存在 60 ~80 个月即 5 年至 6 年半的周期。综合分析,可以认为泾川县的显著性周期为 3 ~6 年。

4 结 论

(1) 本区地处黄土高原西部,区域内地形相似,属半干旱半湿润气候,而 PDSI 是在半干旱半湿润地区气候干旱的背景下建立的,因而在理论上也应适用于本区,经过针对本区实际的本地化修正,得到适用于本区的 PDSI,用修正后的 PDSI 的计算结果与历史旱情记录进行比较,发现具有较好的吻合性,尤其对一些重大旱段反映明显,进一步说明该指标的可靠

性。

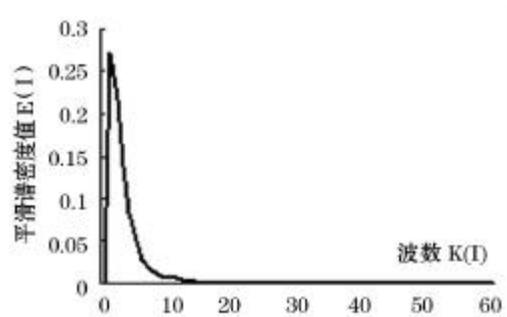


图 6 泾川 1961—2000 年帕默尔旱度值功率谱周期分析图($m = 60$)

Fig.6 Power spectra analysis of PDSI in Jingchuan

(2) 应用修正的 PDSI,计算了各代表站的旱度值,并以此分析了甘肃中东部的干旱分布、干旱月数频率和干旱周期等基本特征,发现几乎年年都有不同程度的干旱发生,1961—2000 年的 40 年中,本区干旱发生频率和发生范围均呈上升趋势,其中极端干旱呈缓慢上升趋势,而严重干旱则呈明显上升趋势。

(3) 与我国修正的 PDSI 的计算结果相比,应用修正后的本区的 PDSI 计算的旱度值,其范围更加合理,但尽管如此,仍有一些个别的 PDSI 的值较小,如岷县 1997 年 8 月的旱度值达到 -6.76,这与该站降水变异性大(变差系数为 56.24)、易出现干旱的特点有关,1997 年 8 月该站降水仅有 15.8 mm,与气

候适宜降水的距平达到 -83.9 mm , 因而其旱度值明显较小。

(4) PDSI 建立在半干旱的气候背景下, 其水分平衡计算中的一些方法并不适用于干旱地区, 因此, 要将其应用于干旱地区, 还需做进一步的研究。

(5) PDSI 考虑到作物耕作层的水分平衡, 在一定程度上具有农业意义, 但在严格意义上仍是气象干旱指标, 要想利用该指标评价农业干旱, 就要与作物的水分供需特征, 如作物的水分敏感度等结合起来, 并考虑到人类活动的干预等, 才能做出正确的评价。

参考文献 (References):

- [1] Qian Zheng'an, Wu Tongwen, Song Minhong, et al. Arid disaster and arid climate researches over northwest China [J]. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(1): 28-38. [钱正安, 吴统文, 宋敏红, 等. 干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题 [J]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 28-38.]
- [2] Ren Jün, Xu Minghua. The characteristics of droughts and influence on agriculture during the years of 1960-1989 in Gansu Province [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1993, 11(1): 85-90. [任瑾, 徐明华. 甘肃省 1960—1989 年的干旱特征 [J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(1): 85-90.]
- [3] Zhang Cunjie, Wang Baoling, Liu Dexiang, et al. Research on drought and flood indices in the Northwest China [J]. *Plateau Meteorology*, 1998, 17(4): 381-389. [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.]
- [4] Liu Dexiang, Wang Baoling, Qu Wen. Initial study of service drought index in Gansu [J]. *Gansu Meteorology*, 1998, 16(3): 17-20. [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.]
- [5] An Shunqing, Xing Juxing. The modified palmer drought index and its application [J]. *Meteorology*, 1985, 1(12): 17-19. [安顺清, 邢久星. 修正的帕默尔干旱指数及其应用 [J]. 气象, 1985, 1(12): 17-19.]
- [6] Huang Miaocen. A drought severity model for the northwest Loess Plateau [J]. *Meteorology*, 1990, 17(1): 23-28. [黄妙芬. 黄土高原西北部地区的旱度模式 [J]. 气象, 1990, 17(1): 23-28.]
- [7] Yu Xiaozhen. The modification and Application of the American Palmer drought severity model [J]. *Hydrology*, 1996, 6: 30-36. [余晓珍. 美国帕默尔旱度模式的修正和应用 [J]. 水文, 1996, 6: 30-36.]
- [8] Wayne C Palmer. *Meteorological Drought*, Research Paper, NO. 45 [R]. Washington DC: US Weather Bureau, 1965.
- [9] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. *Crop Evapotranspiration* [M]. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper, 1998. 24.
- [10] Yang Xingguo, Zhang Xudong, Yang Qiguo. Rainwater harvesting for agriculture in rainfed area of the Loess Plateau [J]. *Journal of Natural Resources* 2004, 19(3): 300-306. [杨兴国, 张旭东, 杨启国. 黄土高原雨养农业区雨水集蓄应用研究 [J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 300-306.]

MODIFICATION AND APPLICATIONS OF PDSI FOR MID AND EASTERN GANSU PROVINCE

YANG Xiao-li^{1,2}, YANG Xing-guo¹, MA Peng-li^{1,2},
WANG Ruo-sheng², DONG Yan-xiong²

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration Gansu Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, Lanzhou 730020, China; 2. Pingliang Meteorological Bureau, Pingliang 744000, China)

Abstract: On the base of fundamental and method of the PDSI, a further modified PDSI for mid and eastern Gansu province was developed. Stations, calculation of potential evapotranspiration and runoff etc, have been revised in this index. With this modified index, the PDSI was computed at 20 representative stations from 1961 to 2000, and the computed index was compared with the recorded drought situation. The basic characteristics of drought was analysed. It is found that the further PDSI can reflect the severity of drought in this region, and is applicable for mid and eastern Gansu.

Key words: Mid and eastern Gansu province; PDSI; Modification and application.