

黄土高原西北部地区的旱度模式^{*}

黄妙芬

(新疆地理所)

提 要

本文应用帕尔默旱度模式的基本原理,选取平凉等11个站点的资料,建立了适用于黄土高原西北部地区的修正的帕尔默旱度模式。并用此模式分析了本区的干旱特征。结果表明,此模式是分析本区干旱的一个良好工具。

引 言

干旱是黄土高原西北部地区(包括宁夏南部、甘肃东部和中部地区)经常发生而且危害最严重的一种自然灾害,大气干旱发生时,土壤干旱随之发生,对农业生产威胁很大。因而对于本区干旱的研究具有十分重要的现实意义。

一、帕尔默旱度模式

帕尔默干旱研究方法^[1]的基本依据是水分平衡。它是根据如下原理研制的:即干

早期是一个水分持续亏缺的阶段,旱度可以认为是水分亏缺量及其持续时间的函数。其方法的基本思想是:在某一时期一个地区固有的经济接近于正常活动时所要求的雨量取决于该地区的气候,取决于现在的以及前期的天气条件。计算这种所需求的降水量的方法涉及到长期记录的气候学分析所得到的五个系数,要求对长期的气候资料进行气候学分析。其详细计算过程参见文献^[2]。

帕尔默模式不仅考虑了水分亏缺量,而

^{*}本文原为作者在北京师范大学地理系所写硕士论文,导师为张如一,施尚文先生。本文还承蒙气象科学研究院安顺清先生多方指导,谨此一并致谢。

且也考虑了持续时间。它具有如下的优点:

(1) 它反映了干旱是一个累积过程,即干旱的发生与水分亏缺的累积有关;反映了前期天气条件以及当前情况下亏缺量的多少。

(2) 它能定量地给出各月的旱度。(3) 由于水分距平值加了权重,所以在一定程度上,具有时间和空间的可比性。(4) 帕尔默指数虽然是一个大气干旱指标,但因考虑了土壤根层的水分平衡,所以在一定程度上具有农业意义。(5) 帕尔默方法具有严密的系统性,而且比较完整、全面地反映干旱情况。

二、帕尔默模式应用于本区时的修正

1. 原模式应用中存在的问题

为了将帕尔默旱度模式应用到本区,本文选取了平凉、固原等11个站点的资料,严格遵循帕尔默所描述的过程来计算其指数值。由所得的指数值看,本区属于偏湿和大多数属于正常的情况,这显然与本区的实际情况是不相符的。作者又用安顺清等^[3]修正后的旱度模式做了计算,由于该模式是大范围的,对小范围的局部地区仍没能得出理想的结果。

作者对帕尔默模式应用于本区时的每个计算步骤与假定作了仔细的分析与检查,并参考以往的工作成果,对其应用于本区时存在的问题,试图给以合理地解决,以期得到适用于本区的帕尔默旱度模式修正式。

2. 存在的问题及修正

(1) 可能蒸散的计算

帕尔默原模式中用索恩斯维特方法计算可能蒸散值。而索恩斯维特方法应用于本区时所得的可能蒸散值与已有资料对比,其值明显偏小。而且此方法假定在月平均温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 时,该月可能蒸散值取零,这与实际情况不符。故作者以彭曼公式修正式^[4]来代替索恩斯维特方法,减小由于可能蒸散值的不合实际而产生帕尔默指数值的偏差。

(2) 土壤水分的计算

帕尔默原模式以两层模式来计算土壤水分和水分散失量。有人曾用两层模式对宁南山区部分麦田1m土层土壤水变化与实际蒸散量进行了试验模拟,其结果与实测值偏差较大(模拟的实际蒸散量偏高,而土壤有效含水量偏低)。这里主要问题可能在于两层模式本身的一个假定:即表层蒸散无论在土壤含水量多少时,均以可能速率发生。许多已有的研究成果(略)表明,在本区的自然条件下,这种假定是不合适的。另外,两层模式假定在表层有效土壤水耗尽后,底层方始散失,这在作物生长旺季尤其不符合实际情况。

针对这些不足,作者综合分析比较之后,采用李彦^[5]的三层模式输出的土壤含水量作为计算帕尔默干旱指数的基础数据。

(3) 径流的计算

帕尔默在计算径流时采用了蓄满产流假定,即土壤水达饱和时,径流才产生。而本区的实际产流方式以超渗产流为主,即降雨强度超过入渗速度时即产流。据此,本文采用董永祥^[6]的计算式,其基本思想是以某一具有代表性地点的推算或实测值作为一个常规值,以此值来代表一个地区的径流量。其式:

$$S_t = S_{t-1} + \rho P - D_t - PE \Rightarrow \rho = (S_t - S_{t-1} + D_t + PE) / P \Rightarrow RO = (1 - \rho) \cdot P \quad (1)$$

式中 ρ 为降水有效系数, PE 为可能蒸散量, S_{t-1} 为时段初1m土层土壤含水量, S_t 为本时段土壤含水量, D_t 为1m土层与下层的交换,在本区条件下视 $D_t = 0$, P 为降水量, RO 为径流量。(1)式即为径流计算式,经验证该式适于本区。

(4) 权重因子与旱度模式

帕尔默模式的建立是以美国中部两个地区(堪萨斯州西部和衣阿华州中部)多年气象资料为基础。本区与上述两地具有相近的温

度带和年降水量,但又具有降水年际变化、季节分配、蒸发力、地形地貌等方面的不同。因此,帕尔默模式应用于本区时,在做了前述基础数据(可能蒸散、土壤水分、径流)计算方法的修正后,还需对权重因子与旱度模式本身做必要的修正。而对权重因子与旱度模式自身的修正过程,实际上也就是本区旱度模式建立的过程。

三、本区旱度模式的建立

本文选取平凉(32年)、固原(31年)逐年、逐月的气温、降水、风速、湿度、日照时数作为建立本区气象旱度模式的基本资料。在修正权重因子过程中,又选择了海原(30年)、西吉(32年)、环县(27年)、西峰(35年)、华家岭(27年)、陇县(27年)、泾源(27年)、隆德(27年)、天水(32年)的资料,本区旱度模式的建立过程可参见图1。计算过程中,田间持水量均取250mm。具体计算过程如下(以固原为例)。

1. 水文统计

(1) 首先对长时期的资料进行逐月的水文统计,求出土壤水分 S ,补充量 R ,散失量 L ,蒸散量 ET ,可能蒸散 PE ,径流量 RO ,可能补充 PR ,可能散失 PL ,可能径流 PRO 。对于固原地区,从1957年1月份开始计算,并假定其前一月份的土壤有效含水量为200mm,其中第一层(0—20cm)为40mm,第二层(20—50cm)为60mm,第三层(50—100cm)为100mm。

(2) 计算上述各量的月平均值 $\overline{ET}$ 、 $\overline{PE}$ 、 $\overline{R}$ 、 $\overline{PR}$ 、 $\overline{RO}$ 、 $\overline{PRO}$ 、 $\overline{L}$ 、 $\overline{PL}$ 及降水量的月平均值 $\overline{P}$ 。

2. 确定各月的五个气候系数

蒸散系数 $\alpha = \overline{ET} / \overline{PE}$; 补充系数 $\beta = \overline{R} / \overline{PR}$; 损失系数 $\delta = \overline{L} / \overline{PL}$; 径流系数 $\gamma = \overline{RO} / \overline{PRO}$; 系数 K , 是经验性的权重因子,该因子取决于气候的水分供给与水分需求, $K = (\overline{PE} + \overline{R}) / (\overline{P} + \overline{L})$ 。

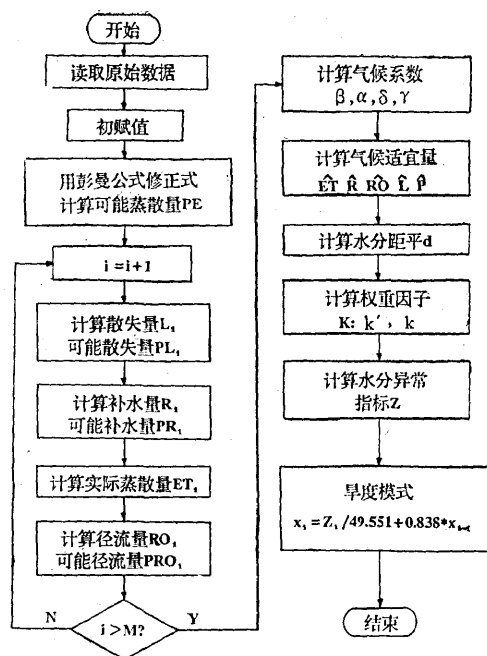


图1 帕尔默旱度模式修正式计算过程

3. 计算水分盈亏

(1) 计算各月为了维持正常和当时条件下(考虑了前期的湿度状况),气候上适宜的蒸散、径流和水分贮存需要的降水量 $\hat{P}$ 。计算公式如下:

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

式中, $\hat{P}$ 为气候适宜降水量; $\hat{ET} = \alpha \cdot PE$ 为气候适宜蒸散量; $\hat{R} = \beta \cdot PR$ 为气候适宜补充水量; $\hat{RO} = \gamma \cdot PRO$ 为气候适宜径流量; $\hat{L} = \delta \cdot PL$ 为气候适宜失水量。

在长时期,这个估算的降水量($\hat{P}$)的平均值等于实际降水量的平均值,但对一定月份,实际降水量减去估算的降水量,提供了一个表示该月是异常潮湿还是异常干旱的程度指标(d),即 $d = P - \hat{P}$ (3)

(2) 计算各月水分距平指数

用 d 乘以权重因子 K ,得到水分距平指数 Z : $Z = K \cdot d$ (4)

Z 值是一个可供时空对比的相对水分异常指数,其值的正负表示水分盈亏,绝对值大小表示盈亏(湿或干)程度。但 Z 值还不

是我们所求的干旱指标。因为它没有考虑前期水分状况(时间因子)对本时段的影响。

4. 考虑持续时间因子,建立旱度模式

依帕尔默模式的基本思想,干旱强度是水分亏缺量与持续时间的函数。因而本模式必须包含时间因子。为此,我们选取固原,平凉两地历史资料中不同持续期的最早时段的累积 Z 值(ΣZ_i),如表1。

表 1 固原、平凉不同持续期最早时段的累积 Z 值

站名	起始时间	持续月数	累积 Z 值
固原	1971.7—8	2	-164.49
平凉	1974.6—8	3	-196.59
固原	1973.6—9	4	-229.21
固原	1986.7—11	5	-205.87
平凉	1986.8—12	5	-210.62
平凉	1972.6—12	7	-234.24
固原	1982.4—12	9	-356.44
平凉	1982.4—1983.3	12	-355.84
固原	1982.5—1983.7	15	-583.06

我们以 Z 的累积值(ΣZ_i)为纵坐标,以累积时段为横坐标,则坐标上的任一点 X_i 均为水分亏缺累积值 ΣZ_i 与持续时间 T 的函数,即为我们所求的干旱指数(见图2)。将表1中的 ΣZ_i 值与 T 对应点绘于图2中,明显得一回归直线。这条直线表示在各种长度的极干期中, Z 值以所观察到的最大速率累积的累积值,因此这条直线可以表示极端干旱,而其它的 X_i 均应处于这条直线的右上方。我们对于干湿等级做如表2所示的假定,将纵坐标从正常到极端分成四等份,在图2中还可以绘出三条直线,则这些直线上

表 2 帕尔默指数干湿等级

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

的 X_i 代表了轻微、中等与严重干旱的上限指标,分别令它们为-1.0,-2.0与-3.0,极端干旱为-4.0,从图2中,右纵直线上定义 X_i 为零值的点画一水平直线则为理论干湿分界线。该线以下各直线所包围的范围即为 X_i 的不同值域亦即各旱度范围。

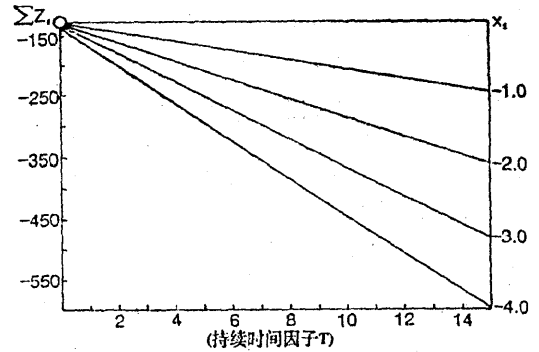


图 2 旱度指数 x_i 、累积 Z 值(ΣT_i)、持续时间因子(T)之间的关系

由图2不难求出 X_i 与 ΣZ_i 及 T 的关系,即某月干旱指数为:

$$X_i = \sum_{i=1}^i Z_i / (8.018T + 41.533) \quad (5)$$

但是,由上式计算出的 X_i 值,仅是 Z_i 的一种线性累加。从直观上我们可以想象它的不足:出现在 $i-1$ 时段与出现于 $i-3$ 时段的同一 Z 值对 i 时段的旱度贡献显然是不一样的,但按上式其贡献则是一样的。因此,我们仍需在上述的基础上,推求出一种更为合理的旱度模式。

令 $i=1$,则 $T=1$,并由(5)式有

$$X_1 = Z_1 / 49.551 \quad (6)$$

这是我们假定的一种初始情况,即前期(0时段) $X_0=0$,亦即有

$$\Delta X_1 = X_1 - X_0 = Z_1 / 49.551 \quad (7)$$

而对时段 i ,则可以设想有

$$\Delta X_i = X_i - X_{i-1} = Z_i / 49.551 + A \quad (8)$$

A 表示所有前期旱度对 i 时段旱度的贡献。我们可以认为旱度的影响是一个递推过程。因而, i 时段之前的所有时段对于 i 时段

的旱度贡献, 均可由 $i-1$ 时段的旱度 X_{i-1} 对 X_i 的贡献来代表, 据此, (8)式可写成

$$\Delta X_i = X_i - X_{i-1} = Z_i / 49.551 + CX_{i-1} \quad (9)$$

我们可以在初始假定条件下求得 C 值, 即设 $i=1$ 时, $X_1 = -1$, $i=2$ 时, $X_2 = -1$, 此假定代入(6)和(9)式, 联立即可求得 C 值为

$$C = -0.162$$

代入(9)式有

$$X_i = Z_i / 49.551 + 0.838X_{i-1} \quad (10)$$

此式即为计算旱度的基本式。式中虽然没有出现时间因子 T , 但 $Z_i / 49.551$ 项实为本月水份状况对旱度的贡献, 而 $0.838x_{i-1}$ 实为所有前期时段对本月旱度的累积(递推)影响。

(10)式是根据固原、平凉站资料建立起来的, 要使其适合于本区的其它地区, 并使旱度指标具有空间可比性, 就须对权重因子 K 进行修正, 具体方法如下。

在各站中选取 ΣZ_i 最大的连续9个月, 视为极端干旱, 则 $x_i = -4.0$, $t=9$, 据(5)式有 $\Sigma Z_i = -454.78$, 因假设这9个月对任何站点均视为极端干旱, 故在理论上各站的 ΣZ_i 均应为 -454.78 , 而实际上各站点的实际累积值并不如此, 因此理论值与实际累积值有表3所示的比例系数 $\bar{k}$ 。我们以 k' 替代 K , 使 ΣZ 在各站点处于同一旱度时, 数值统一。

由前文分析, k' 应取决于平均水分供应与平均水分需要。但是很明显, 平均水分需要除平均可能蒸散 $\overline{PE}$ 及平均补充 $\overline{R}$ 外, 还应包括平均径流 $\overline{RO}$, 此外, k' 与 d 的绝对平均值 $\overline{D}$ 也有关。据此, 我们以表3所示的 $\bar{k}$ 与各站点对应的 $(\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}) / (\overline{P} + \overline{L}) \cdot \overline{D}$ 的值, 建立如下回归方程:

$$k' = 0.5568 \times \lg \left[\frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{(\overline{P} + \overline{L}) \cdot \overline{D}} \right]$$

表 3 各站 $\bar{k}$ 值

地点	平凉	西峰	海原	固原	隆德	陇县
$\bar{k}$	1.32	1.55	1.23	1.28	2.32	1.62
地点	泾源	华家岭	天水	西吉	环县	
$\bar{k}$	1.71	1.59	1.61	1.27	1.58	

$$\times 25.0 + 1 \Big] + 1.13 \quad (11)$$

式中 $\overline{PE}$ 、 $\overline{R}$ 、 $\overline{RO}$ 、 $\overline{P}$ 、 $\overline{L}$ 、 $\overline{D}$ 分别为9个月的平均值。把各站逐月的 $\overline{PE}$ 、 $\overline{R}$ 、 $\overline{RO}$ 、 $\overline{L}$ 、 $\overline{D}$ 代入上式, 即可求得各站点逐月的 k' 值。

计算结果表明, 经上述修正后, 本区各站点的权重距平的年总和仍不一致, 平均为417.23。我们将 k' 订正到使所有站点权重距平年总和为417.23, 则使得其结果更具可比性。最终权重因子方程为:

$$k = 417.23k' / \sum_i (\overline{D}k') \quad (12)$$

以上式代替前文的 K , 则由(10)式得出理论上时空绝对可比的旱度指数。

四、结语

通过分析修正后的旱度模式计算出来的指数值, 并查阅了有关记载旱情的文献资料, 可见计算结果与记载的旱情吻合较好。

结果表明, 帕尔默旱度模式方法考虑的因子比较全面, 应用性好, 而且是为分析半干旱半湿润地区的气候干旱情况而建立起来的, 因而将其应用于本区, 从理论上是可行的。本文在保持其基本依据、思路、原理不变的情况下, 对其中的某些计算方程和权重因子及旱度模式进行了修正, 最后得到了适应本区的旱度模式, 该模式表达式为:

$$x_i = Z_i / 49.551 + 0.838x_{i-1}$$

经过比较、分析、验证, 表明经过该模式算出来的帕尔默干旱指数比较真实地反映本区的干旱特征, 为本区的干旱研究提供了良好的工具。

参 考 文 献

- (1) W.C Palmer, Meteorological Drought, RZSZARCH PAPER, No.45.
- (2) 范嘉泉、郑剑非, 帕尔默气象干旱研究方法介绍, 气象科技, 84.1期。
- (3) 安顺清、邢久星、帕尔默旱度模式的修正, 气象科学研究院院刊, 1986年6月, 第1卷, 第1期。
- (4) 陶祖文、裴步祥, 农田蒸散和土壤水分变化的

计算方法, 气象学报, 1979, 12。

- (5) 李彦, 宁夏西海固地区SPAC系统水动态模拟与分析, 北京师大研究生毕业论文, 1987, 6。
- (6) 董永祥, 宁南山区径流的一种计算方法, 宁夏气象, 1989, 1。
- (7) E. O. Oladipo, 三种干旱的比较分析, 气象科技, 1987.5。

A drought severity model for the northwest Loess Plateau

Huang Miaofen

(Xinjiang Institute of Geography)

Abstract

Based on the principles of the drought severity model of developed by W.C.Palmer, a revised model of drought severity for the northwest Loess Plateau has been established in this paper. And the model has been used to analyse the drought character of this region. The results proved that this model is a good tool for drought researching on the region.