

帕默尔旱度模式的修正*

安顺清 邢久星

(气象科学研究院天气气候研究所)

提 要

本文阐述了帕默尔干旱指标的原理、优点及其计算方法。根据其思路,我们用济南和郑州两站的对帕默尔模式进行了修正,建立了我国的气象旱度模式,并利用此模式计算了我国140个站点(1951年1月~1980年12月)的帕默尔指数值。我们发现计算的帕默尔指数值与一些文献记载的旱情和实际调查的旱情是较一致的。这表明,修正的帕默尔气象旱度模式能够用于我国。

一、概 述

干旱指标是干旱程度的量度,是干旱研究的一项基础工作。有关干旱定义和干旱指标的研究工作,在国外开始于上世纪末本世纪初。美国、苏联和澳大利亚等国学者对此进行了许多专门工作,文献[1]是国外这方面工作的总结。我国自三十年代以来也进行了大量的旱涝研究工作,应用的旱情指标也颇多。对于国内的干旱指标,有些人已进行了归纳评述,其中欧阳海先生在“农业干旱问题”(油印本,1984)一文中归纳得较全面,评述得也合理。她把国内所用干旱指标分为四大类:一是降水类,二是水分平衡类,三是土壤水分结合作物生长状况类,四是利用年径流量小于某一定值所对应的气象条件类。她对这四类指标的优缺点、局限性及应用范围还进行了客观的评述。

干旱是气象现象。干旱过程是水分短缺状况的积累过程,开始是轻旱,逐渐变成严重干旱。以往许多干旱指标只考虑某一时段的水分短缺量的大小,不考虑持续时间和程度的变化,用它描述一整个严重干旱期的具体过程和特征(譬如干旱开始和结束时间、持续期及早度)就不能很客观。例如,以下问题就不好解决:(1)某地5个月的降水量持续比正常年份明显偏少,那么第一个月的干旱程度和第五个月的干旱程度是否一样呢?各月差异如何体现?(2)某地前一个月异常湿润,紧接着下一个月是较干燥的天气,那么这下个月是否算旱?(3)与上述相反,在一个异常干旱期之后,降了一场雨,对于农作物来说可能会解除旱情,但是对于作物整个生长发育过程和经济来说,干旱的影响仍会存在,这种情况如何处理?(4)按照一般的雨量距平来表示的指标有可能出现这样的情况:前一个月是极端湿润,而紧接着下个月有可能会评为严重干旱,这种突然的差异是否符合实际情况?显然,一个较理想的干旱指标应能够解决这些问题。

* 本文于1985年2月6日收到,1985年8月19日收到修改稿。

1983年我们接受了国家气象局下达的一个重点课题——“了解水分短缺和干旱”。在这一课题中，拟主要进行干旱指标的研究，并使用研制的干旱指标对我国的干旱情况及其对农业的影响进行分析。帕默尔干旱指标 (Palmer Drought Index) 是美国所广泛采用的，美国商业部和农业部联合发布的《天气和作物周报》中，作为干旱监测报道，刊登全国作物生长季节期间的帕默尔指数分布已有几十年之久。在许多干旱研究中，如北美近三十多年的旱情比较、分析旱情的时空分布特征、气候评价、干旱面积与火灾、城市和灌溉供水问题等许多方面，都应用帕默尔干旱指数。这个干旱指标比其他干旱指标更全面、实用。这个指标是在水分平衡计算的基础上算出气候适宜降水量，然后用它求出距平值，并对距平进行权重，再综合考虑持续时间因子，最后得出指数值。由于这个指标考虑得较全面，对于前面提出的一些

表 1 干湿期等级

帕默尔指数值 (x)	等 级
> 4.00	极端湿润
$3.00 \sim 3.99$	严重湿润
$2.00 \sim 2.99$	中等湿润
$1.00 \sim 1.99$	轻微湿润
$0.50 \sim 0.99$	初始湿润
$0.49 \sim -0.49$	正 常
$-0.50 \sim -0.99$	初始干旱
$-1.00 \sim -1.99$	轻微干旱
$-2.00 \sim -2.99$	中等干旱
$-3.00 \sim -3.99$	严重干旱
< -4.00	极端干旱

问题能够给予较好的解决，所以能够较客观地描述干旱期的特征，并且有较好的时空比较性。另外，帕默尔干旱指数计算程序虽然较复杂，但程序确定后，在计算机上计算是方便的。根据输出的每月指数值，按划分的等级表示出干旱度。表1是美国用的等级（正值指数也用来划分湿润等级）。

我们根据帕默尔旱度模式的思路，试建立我国的旱度计算方法，以便用于干旱分析，并希望为我国农业气象情报中旱的评价提供一种依据。

二、旱度计算法的建立

帕默尔旱度是根据这样的干旱定义研制出来的，即“干旱期是这样一个时段，一般为数月或数年，在此时段内水分供应持续地低于气候上所期望的水分供应”。因此干旱强度应是水分亏缺量及其持续时间的函数。帕默尔指数的计算有一套较完整的程序，基本上可分为两大部分。一是用水分平衡方法计算出气候适宜降水量 (\hat{P})，以考虑本地实际气候状况。二是求出本月的水分距平指数，并综合考虑持续时间因子后得出旱度计算公式。

$$\text{气候适宜降水量 } \hat{P} = E\hat{T} + \hat{R} + \hat{R}_0 - \hat{L} \quad (1)$$

也就是，本月气候状况所决定的蒸散、土壤补水、径流量所要求的降水量。式中 $E\hat{T}$ = 气候适宜蒸散量 = αPE ， \hat{R} = 气候适宜土壤补水量 = βPR ， \hat{R}_0 = 气候适宜径流量 = δPR_0 ， \hat{L} = 气候适宜土壤失水量 = γPL ； α = 蒸散系数 = $E\hat{T}/PE$ ， β = 土壤补水系数 = R/\hat{R} ， γ = 径流系数 = \hat{R}_0/PR_0 ， δ = 土壤失水系数 = L/\hat{L} 。

$E\hat{T}$ 、 PE 、 R 、 PR 、 R_0 、 PR_0 、 L 、 PL 分别为实际蒸散量和最大可能蒸散量，实际土壤补水量和可能土壤补水量，实际径流量和可能径流量，实际土壤失水量和可能土壤失水量。它们是通过逐月水分平衡计算出来的，各月有不同的系数。

$$\text{水分距平指数 } Z = Kd \quad (2)$$

上式中 $d = P - \hat{P}$, P 为该月实际降水量, K 为权重因子, 取决于平均水分供给 ($\bar{P} + \bar{L}$) 和平均水分需要 ($\overline{PE} + \bar{R} + \bar{R}_0$), 并与 d 的绝对值平均 \bar{D} 有关。美国利用 9 个地区的资料求得:

$$K = \frac{17.67}{\sum_1^{12} (DK')} K' \quad (3)$$

$$\text{其中: } K' = 1.5 \lg \left[\left(\frac{\overline{PE} + \bar{R} + \bar{R}_0}{\bar{P} + \bar{L}} + 2.8 \right) / \bar{D} \right] + 0.50 \quad (4)$$

根据堪萨斯和依阿华两个地区的资料求出干旱指数, 公式如下:

$$x_i = Z_i / 3 + 0.897x_{i-1} \quad (5)$$

式中 x_i 和 x_{i-1} 分别为该月和前一个月的干旱指数值, Z_i 为该月水分距平指数值。

然后, 根据干湿期结束和开始的概率, 确定干湿期开始和结束日期。

以上是美国帕默尔指数计算程序的概述。中美两国气候虽然有许多相似之处, 但也有明显的差异, 故有必要建立我国的旱度计算公式。

在建立我国的旱度计算式中, 所用站点和资料如下。选取济南 (1919~1980年)、郑州 (1951~1980年) 逐月气温和降水资料作为建立干旱指数公式的基本资料。在修正权重因子过程中选用了 14 个站的资料, 即北京 (1941~1980年)、青岛 (1899~1980年)、西安 (1932~1980年)、徐州、呼和浩特、太原、汉中、佳木斯、沈阳、汉口、梧州和昆明 (1951~1980年), 另外又加上济南和郑州。根层土壤分为两层, 上层 (即犁底层) 的有效土壤持水量, 各站均取 25 毫米; 下层各站有差异, 其中西安、汉中、沈阳、汉口、昆明和梧州取 175 毫米, 其余各

表 2 郑州、济南的气候常数

月 份	地 名 系 数	郑 州					济 南				
		α	β	γ	δ	k^*	α	β	γ	δ	k^*
1		1.0000	0.1036	0.0027	0.6238	0.9789	0.9781	0.0665	0.0054	0.4273	0.9521
2		1.0000	0.1282	0.0107	0.2820	0.9358	0.9713	0.0775	0.0164	0.2701	0.8908
3		0.9785	0.1674	0.2580	0.3184	0.9448	0.9433	0.0299	0.0011	0.4905	1.0492
4		0.8992	0.1583	0.0660	0.3892	0.9985	0.6877	0.0240	0.0100	0.5910	1.4125
5		0.6926	0.0048	0.0246	0.6269	1.4040	0.4984	0.0081	0.0055	0.6709	1.9846
6		0.5741	0.0548	0.0247	0.6170	1.6788	0.5179	0.0324	0.0348	0.5637	1.8903
7		0.7709	0.1932	0.2902	0.3996	1.1985	0.8422	0.3012	0.6532	0.2443	1.0942
8		0.7302	0.1952	0.1157	0.4843	1.2659	0.8631	0.2536	0.3052	0.2844	1.0318
9		0.7370	0.1392	0.0000	0.5444	1.2945	0.7120	0.0448	0.0618	0.4558	1.3168
10		0.7494	0.0754	0.0339	0.3259	1.2399	0.6048	0.0376	0.0246	0.5786	1.5413
11		0.8973	0.1659	0.0247	0.3457	1.0187	0.7494	0.0801	0.0262	0.3445	1.1345
12		0.9605	0.0726	0.0233	0.2507	0.8641	0.9102	0.0884	0.0058	0.1778	0.9828

* k 为气候特征系数: $k = \frac{PE+R}{P+L}$

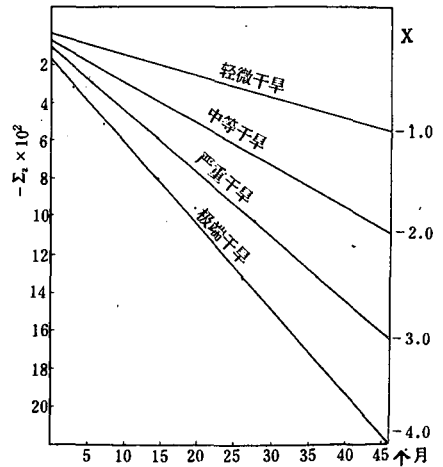
站取125毫米,这主要取决于土壤的性质。

通过济南和郑州两站的水文帐分别求出水分平衡各项及其平均值和各项气候系数。现将两站的系数列于表2。

利用上述各量求出各月水分距平指数 z 值(即未经修正的 Z),因为严重的干旱要考虑其持续时间和水分亏缺量,所以在表3中给出了济南、郑州两站历史资料中不同持续期最早时段的累积 z 值,并根据这些结果给出附图。

表3 济南、郑州两站最早时段的 Σz 值

站名	起止时间	持续月数	$-\Sigma z$
济南	1920年4—6月	3	321.47
济南	1926年4—6月	3	318.05
济南	1968年5—9月	5	608.63
郑州	1952年4—10月	7	506.25
济南	1938年11月—1939年10月	12	701.66
郑州	1960年8月—1961年8月	13	602.91
郑州	1960年4月—1961年8月	17	858.60
济南	1938年11月—1940年10月	24	1185.23
郑州	1959年7月—1961年8月	26	1326.78
济南	1938年11月—1941年10月	36	1881.72
济南	1938年11月—1942年6月	46	2164.83



附图 不同时间长度最干旱时段的累积 z 指数值

根据附图,并假定历史资料中最早时段为极端干旱, $x \leq -4.0$,则某月干旱指数值为

$$x_i = \sum_{t=1}^i z_t / (11.120t + 46.016) \quad (6)$$

式中 t 为持续月数。

式(6)并不能立即应用,因为早期起始时的累积值不同,甚至会出现这样的情况,即某两个月的 z 值虽相同,但一个出现在几个较湿月之后,另一个出现在几个较干月之后,则后者的干旱指数会大于前者。因此,必须确定每个月的 z 值对干旱指数 x_i 的影响。

令 $i = 1, t = 1$,则

$$x_1 = z_1 / 57.136 \quad (7)$$

设这个月是干旱期的开始,则

$$x_1 - x_0 = \Delta x_1 = z_1 / 57.136 \quad (8)$$

如果要维持上个月的旱情,随着时间 t 的增加, $-\Sigma z$ 必须增加。但 t 的增值是恒定的,即每月增加1,因此,维持上个月的值所需要增加的 z 值取决于 x 值,故令

$$\Delta x_i = (z_i / 57.136) + C x_{i-1} \quad (9)$$

当 $t = 2, x_{i-1} = x_i = -1$ 时,则 $C = -0.195$ 。

将其代入(9)式得:

$$x_i = 0.805 x_{i-1} + z_i / 57.136 \quad (10)$$

此式即是计算干旱指数的基本公式之一。

(10) 式是根据济南和郑州两站的资料建立起来的, 用于其它地区肯定不适合。要解决这个问题, 使(10)式计算出的干旱指数有较好的空间比较性, 就要对权重因子进行修正。假设一年中每个月 $x = -4.0$, 则 $t = 12$ 代入 (6) 式得

$$\sum z = -717.824$$

因假设这12个月对于任何地区都表示极端旱, 所以如果每个站实际资料计算的最干的12个月累积 d 值为 $\sum d$, 则该站的权重因子

$$K = -717.824 / \left(\sum_1^{12} d \right)$$

根据前述14个站的结果作出回归方程如下:

$$K' = 4.0 \left[\frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{R}_0}{(\overline{P} + \overline{L})\overline{D}} \times 25.0 + 1.0 \right] + 0.5 \quad (11)$$

如果 K' 值从空间比较性的角度来说是完全合理的话, 则每个站的 $\sum_1^{12} DK'$ 应相等。但实际上差异颇大, 最高的是梧州, 为777.68; 最低的是佳木斯, 为450.88; 因此需对 K' 值再作一次调整, 才能得到最后的权重因子 K :

$$K = \frac{584.08}{\sum_1^{12} (DK')} K' \quad (12)$$

经过最后区域权重的 z 值写为 Z , 且 $Z = Kd$, 这就是最后所用的水分距平指数值。

应当指出, 对应于 Z 值, 应用 (10) 式计算干旱指数时, 还必须确定干旱开始与结束。表1中将 $x = -0.5$ 作为干旱与正常的临界值, 当 $x_i > -0.5$ 时干旱就结束。现在要问在一个月內使 x 达到 -0.5 需要多少水分 (Z) 值。根据 (10) 式得到:

$$Z_e = -28.568 - 45.995x_{i-1} \quad (13)$$

若令 $\Delta x_i = 0$, $x_{i-1} = -0.5$, 则 $Z = -5.571$, 这表明若某月达到干旱标准, 其后的月份即使天气比正常略干, 干旱也趋于结束。

$$U_w = Z + 5.571 \quad (14)$$

把 U_w 定为“有效增湿量”。

如果第一个湿润月结束一次干旱所要求的 Z 值大于 U , 那么旱情将减轻, 但旱情不一定会结束, 则下个月结束这次干旱所需 Z 值将减小, 故结束一次干旱所需总 Z 值为

$$Z_e + \sum_{j=1}^{j^*} U_{i-j}$$

其中 $U = U_w$, 下标 i 是指第 i 个月, j 表示与 i 相差的月数, U_{i-j} 当 $j = 1$ 时, 是指前一个月的 U_w 值, j^* 为出现湿期的第一个月。因此, 干旱结束概率可用下式表示:

$$P_e = \sum_{j=0}^{j^*} U_{i-j} / \left(Z_e + \sum_{j=1}^{j^*} U_{i-j} \right) \quad (15)$$

只要将上述结果稍加改动, 即可用于湿润期。如将 $x = +0.5$ 代入 (10) 式, 得

$$Z_t = 28.568 - 45.995x_{i-1}$$

则“有效增干量”为

$$U_d = Z - 5.571 \quad (16)$$

湿润期结束的概率仍用(15)式表示。

三、计算结果及其验证

我们利用新建立起来的旱度模式计算了我国东部季风区144个站点的逐年逐月干旱指数值，现就几个点的结果作一介绍。

表4列出了郑州(1951—1980年)和济南(1919—1980年)两站的主要干旱时段。这些干旱时段与实际旱情是比较吻合的，这说明新建的旱度模式是可用的。

表4 郑州、济南主要干旱时段

郑 州					济 南				
起始年月	终止年月	持续月数	极端最大指数	出现时间	起始年月	终止年月	持续月数	极端最大指数	出现时间
1951.8	1952.10	15	-6.1	1952.8	1919.7	1921.6	24	-6.0	1920.6
1957.9	1958.2	6	-2.5	1957.9	1924.8	1925.5	10	-3.5	1925.4
1959.7	1960.2	8	-3.9	1959.9	1925.9	1926.6	10	-6.0	1926.6
1960.4	1961.8	17	-5.6	1961.8	1927.6	1928.5	12	-3.6	1927.9
1965.6	1967.2	21	-4.8	1966.10	1932.9	1933.2	6	-3.0	1932.11
1968.3	1968.9	7	-5.2	1968.7	1938.8	1943.7	60	-7.8	1939.7
1976.12	1977.6	7	-3.4	1976.10	1944.4	1945.6	15	-3.6	1944.10
1978.3	1978.6	4	-3.6	1978.6	1957.8	1958.9	14	-4.1	1957.10
1979.10	1980.5	8	-2.1	1979.11	1959.7	1959.11	5	-4.0	1959.10
					1960.2	1961.6	17	-4.1	1961.5
					1965.6	1966.2	9	-4.0	1965.10
					1966.8	1967.2	7	-4.0	1966.10
					1967.4	1968.9	18	-7.7	1968.9
					1970.8	1971.5	10	-2.9	1971.5
					1972.8	1973.5	10	-2.2	1973.5
					1977.8	1978.5	10	-3.8	1978.5
					1979.7	1979.11	5	-3.0	1979.11

根据河南省气象局资料室整理的“河南省灾害性天气气候概况”的记载，1952年豫北伏旱严重，一些地区久旱不得透雨，干土层达1—2尺，秋禾枯萎，棉花落桃，减产四成；而郑州1952年7—10月份连续4个月的 $x < -4.0$ ，8月份 $x = -6.1$ ，是极旱情况。

郑州30年中最长的干旱是1959年7月—1961年8月。1961年8月 $x = -5.6$ ，这3年粮食连年歉收，造成严重困难。

济南62年中最为严重的干旱出现在本世纪30年代到40年代初，持续时间长。1939年7月份 $x = -7.8$ ，是济南最早的记录。从1938年夏到1945年夏连续7年干旱，据记载，这次干旱造成“赤地千里”、“村庄绝户”的惨景。

上述两站各时段的干旱都能得到印证, 在此不一一列举。

1982年秋我们对烟台地区发生的特大旱灾进行了实地调查, 后来又计算了烟台地区的干旱指数, 结果实际旱情与计算的干旱指数值也相当一致。

从表5中看出, 烟台地区从1980年到1983年的干旱是颇为严重的。这4年中有22个月属极端干旱, 另有7个月属严重干旱。干旱最重的是1981年8月到1982年10月, 此期间连续极端

表5 烟台1980—1983年的帕默尔指数值

指 数 值 年 份	月 份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980	-1.75	-2.27	-2.81	-1.94	-2.06	-0.73	-2.60	-4.85	-3.83	-3.03	-3.79	-2.12
1981	-1.88	-1.98	-1.68	-2.62	-3.55	-4.66	-3.94	-4.80	-5.95	-5.38	-4.91	-5.17
1982	-4.99	-5.38	-6.08	-7.03	-7.67	-5.90	-7.19	-5.20	-6.05	-5.74	-3.31	-2.27
1983	-1.98	-1.65	-1.01	-1.08	-1.05	-2.74	-3.07	-4.42	-4.46	-5.05	-4.79	-4.54

干旱, 其中1982年4、5、7三个月的 $x < -7.0$ 。调查事实是1982年4月份地面水干涸, 地下水下降5—7米, 许多水库和河流干涸, 有5996条小河断流和干涸, 10983个水库或池塘干涸, 48000口井干涸。不少地区凭票供水, 有的地区需到外地运水。该年农业受到严重影响, 冬小麦、夏玉米等作物干死很多, 产量大大减少。由于缺水, 不少工厂处于停产或半停产状态。

上述验证结果说明, 根据我们新建立的旱度模式所计算出来的干旱指数值能够较好地表示出干旱特征; 特别是对一些严重干旱期, 更是如此。

四、结 语

通过以上所述, 可以归纳出以下几点:

1. 帕默尔旱度模式考虑因子比较全面, 比其它简单的干旱指标有明显的优点。它反映出一个气候分析系统, 在这个系统中, 旱度取决于异常水分亏缺量及其持续时间, 能够较客观地描述旱情, 在一定程度上有时空比较性。

2. 据验证, 根据帕默尔旱度模式的思路建立起来的我国旱度模式, 其计算结果与实际旱情相近。

3. 在帕默尔旱度模式建立的过程中使用的一些方法、参数及假设并非完美无缺, 在今后的工作中尚需进一步改进。

参 考 文 献

- [1] Drought and Agriculture, WMO TN-138, Geneva, 1975.
 [2] Wayne C. Palmer, Meteorological Drought, Research paper, No. 45, Weather Bureau, U.S. Department of Commerce, 1965.

A MODIFIED PALMER'S DROUGHT INDEX

An Shunqing Xing Jiuxing

(Institute of Synoptic Meteorology and Climatology, A.M.S.)

Abstract

This paper expounded the principle and the advantage of the Palmer's drought index and its procedure of computation of the index. Based on the analysis of the observational data from Jinan and Zhengzhou we modified the Palmer's drought index to fit the observational data. With this modified index we have calculated the drought index for 140 stations in China from Jan.1951 to Dec. 1980. It is found that the computed drought indices are consistent with the descriptions on drought conditions in some official publications and with the actual observations on drought conditions by the authors. We have the opinion that the modified Palmer's drought index is suitable for use in China.