

# 三种干旱指标的比较和新指标的确定\*

张强 鞠笑生 李淑华

(国家气候中心, 北京, 100081)

**摘要** 通过以北京为例对三种干旱指标作了对比分析,在吸取  $I_{sp}$  和  $I_s$  指标优点的基础上,建立了新的干旱指标—— $I_k$  指标。经试验, $I_k$  能较好地确定不同时间尺度的旱情强度,可应用于气象业务监测干旱的发生。

**关键词** 干旱指标 对比分析  $I_k$  指标

## 1 引言

干旱和洪水、台风、地震、火山爆发等一样,都是对人类威胁十分严重的自然灾害,而干旱又有一个不同于其它自然灾害的特点,即其“确定”问题。洪水、台风、地震和火山爆发等许多自然灾害的发生相对来讲是突然发生的,发展演变迅速,一旦形成或发生就很容易观测到。但干旱的发生非常缓慢,灾前无明显的征兆,有时甚至直到灾害已形成人们还未能意识到一次干旱已构成了危害<sup>[1]</sup>。其起

始和终止时间并不清楚,只有灾后评估时才能明确界定。这是干旱的特点,也是干旱监测研究的难点。但由于干旱出现频率高、持续时间长、波及范围大,对国民经济特别是对农业生产有严重影响,使人们对干旱指标的研究更加重视和关注<sup>[2,5]</sup>。干旱指标的确定是监测、评价、研究干旱的发生、发展的基础,也是采取措施预防和减轻干旱灾害造成严重损失的先决条件。

众所周知,干旱的发生包含了很多复杂的过程和因子,它不仅与降水的多少和分配

\*“九五”攻关课题 908-04-07 资助

有关,而且还与蒸发、土壤含水量、径流量等多种因子有关。因此研究干旱最关键的问题是明确干旱定义和确定干旱指标,从气候干旱的定义角度出发,前人已建立了许多定量指标。这些指标的大多数对于描述异常少水或多水状况及其潜在影响方面是有用的。干旱指标的一个重要性能是必须具有足够的普遍适用性,以便能在不同气候地区、不同时间尺度下模拟干旱的发生。干旱指标就其复杂程度而言,是多种多样的,从简单的降水距平指标直到更为精确的作物-水分参数模式,该模式把同一个气候区的土壤温度和土地使用管理结合起来加以考虑。但因为人、物、财的要求太高,所以对于大范围的干旱实时监测评价,尤其是当考虑许多气象站资料时,运用考虑多因子的复杂指标是几乎不可能的。

本文着重对三种与气象条件有关的简单的指标进行比较,并评价它们在描述不同时间尺度干旱发生和干旱强度方面的性能,指出这些方法在作单站干旱分析时的优缺点,在吸收三种指标优点的基础上,探求一种新的既实用又简单的干旱监测指标。

## 2 三种气象干旱指标

### 2.1 降水距平百分率

降水距平百分率<sup>[3]</sup>(简称  $I_{pa}$ )是标征某时段降水量异常的方法之一,在我国气象日常业务中经常使用,其计算方法为:

$$I_{pa} = \frac{R - \bar{R}}{\bar{R}} \quad (1)$$

式中:  $R$  为某时段降水量,  $\bar{R}$  为多年平均降水量。

### 2.2 降水温度均一化指标

降水温度均一化指标<sup>[4]</sup>(简称  $I_s$ )实际上就是降水标准化变量与温度标准化变量之差,即:

$$I_s = \frac{R - \bar{R}}{\sigma_R} - \frac{T - \bar{T}}{\sigma_T} \quad (2)$$

式中:  $R$  为某时段降水量,  $\bar{R}$  为多年平均降水量,  $\sigma_R$  降水量均方差,  $T$  为某时段平均气

温,  $\bar{T}$  为多年平均气温,  $\sigma_T$  为气温均方差。

### 2.3 标准化降水指标

由于不同时间尺度、不同地区降水量变化幅度很大,直接用降水量在时空尺度上很难相互比较,而且降水分布是一种偏态分布,而不是正态分布,所以在许多降水分析中,采用  $\Gamma$  分布概率来描述降水量的变化。标准化降水指标<sup>[5]</sup>(简称  $I_{sp}$ )就是先求出降水量  $\Gamma$  分布概率,然后再正态标准化而得,其计算步骤为:

1) 假设某时段降水量为随机变量  $x$ , 则其  $\Gamma$  分布的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} \quad (x > 0) \quad (3)$$

其中:  $\beta > 0, \gamma > 0$  分别为尺度和形状参数,

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (4)$$

$\beta, \gamma$  值可用极大似然估计方法求得<sup>[6]</sup>, 即:

$$\hat{\gamma} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad (5)$$

$$\hat{\beta} = \bar{x} / \hat{\gamma} \quad (6)$$

其中  $A = \lg \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i$  (7)

式中  $x_i$  为降水资料样本,  $\bar{x}$  为多年平均值。

确定概率密度函数中的参数后,对于某一年的降水量  $x_0$ , 可求出随机变量  $x$  小于  $x_0$  事件的概率为:

$$P(x < x_0) = \int_0^{x_0} f(x) dx \quad (8)$$

利用数值积分可以计算用(3)式代入(8)式后的事件概率近似估计值。

2) 降水量为 0 时的事件概率由下式估计:

$$P(x = 0) = \frac{m}{n} \quad (9)$$

式中  $m$  为降水量为 0 的样本数,  $n$  为总样本数。

3) 对  $\Gamma$  分布概率进行正态标准化处理, 即将(8)、(9)式求得的概率值代入标准化正态分布函数, 即:

$$P(x < x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_0} e^{-z^2/2} dz \quad (10)$$

对(10)式进行近似求解可得<sup>[5]</sup>:

$$Z = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + C_0}{((d_3 t + d_2)t + d_1)t + 1.0} \quad (11)$$

其中  $t = \sqrt{\ln \frac{1}{P^2}}$ ,  $P$  为(8)式或(9)式求得的概率, 并当  $P > 0.5$  时,  $P = 1.0 - P$ ,  $S = 1$ , 当  $P \leq 0.5$  时,  $S = -1$ .  $C_0 = 2.515517$ ,  $C_1 = 0.802853$ ,  $C_2 = 0.010328$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $d_2 = 0.189269$ ,  $d_3 = 0.001308$ . 由(11)式求得的  $Z$  值也就是标准化降水指数  $I_{sp}$ .

### 3 干旱指标的等极划分标准

由于研究目的和出发点不同, 对于干旱指标的定义, 以及指标等级的划分标准常常是不相同的. 本文为了进行三种指标的比较, 统一将三种指标的等级分成 7 个等级, 并且各等级出现的频率定义为: 1 级重涝 5%, 2 级中涝 10%, 3 级轻涝 15%, 4 级正常 40%, 5

级轻旱 15%, 6 级中旱 10%, 7 级重旱 5%. 根据这一划分原则, 我们以北京地区为例, 统计了 1951~1997 年 47 年年尺度三种指标的旱涝等级序列值, 按各等级出现频率得三种指标等级划分标准如表 1.

### 4 结果和分析

图 1 是按表 1 等级划分的北京地区 1951~1997 年三种指标的旱涝等级变化曲线. 从图 1 可以看出  $I_{pa}$  和  $I_{sp}$  两种指标确定的等级是基本一致的, 重旱年份均是 1965 年, 中旱年份则为 1962、1968、1972、1975、1980 和 1981 年.  $I_s$  指标确定的重旱年份为 1989、1997 年, 中旱年份为 1962、1981、1983、1993、1995 年. 从  $I_s$  表征的大旱(重旱和中旱)年份看, 遗漏了公认可大旱年份 1965、1972、1975 年等<sup>[7,8]</sup>, 这显然与实际不相符, 其主要原因是  $I_s$  指标中考虑气温的影响太大, 夸大了气温变化对于干旱强度的作用. 而  $I_{pa}$  和  $I_{sp}$  指标

表 1 北京地区三种指标干旱等级划分标准

等级	类型	频率	$I_{pa}$ 值范围	$I_{sp}$ 值范围	$I_s$ 值范围
1	重涝	5%	$I_{pa} \geq 0.60$	$I_{sp} \geq 1.65$	$I_s \geq 3.25$
2	中涝	10%	$0.30 \leq I_{pa} < 0.60$	$1.04 \leq I_{sp} < 1.65$	$1.60 \leq I_s < 3.25$
3	轻涝	15%	$0.15 \leq I_{pa} < 0.30$	$0.52 \leq I_{sp} < 1.04$	$0.85 \leq I_s < 1.60$
4	正常	40%	$-0.20 < I_{pa} < 0.15$	$-0.52 < I_{sp} < 0.52$	$-0.85 < I_s < 0.85$
5	轻旱	15%	$-0.35 < I_{pa} \leq -0.20$	$-1.04 < I_{sp} \leq -0.52$	$-1.60 < I_s \leq -0.85$
6	中旱	10%	$-0.50 < I_{pa} \leq -0.35$	$-1.65 < I_{sp} \leq -1.04$	$-2.25 < I_s \leq -1.60$
7	重旱	5%	$I_{pa} \leq -0.50$	$I_{sp} \leq -1.65$	$I_s \leq -2.25$

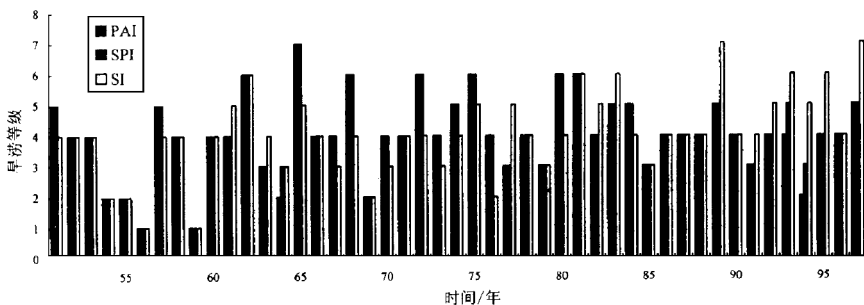


图 1 三种干旱指标的旱涝等级直方演变图

表 2 三种指标确定的各季旱涝出现频率/%

旱涝等级	冬季			春季			夏季			秋季		
	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$
重涝	19.5	4.3	0.0	17.0	6.4	6.4	6.4	6.4	2.1	17.0	4.3	2.1
中涝	4.3	13.0	13.0	10.6	8.5	8.5	6.4	6.4	13.0	6.4	13.0	14.9
轻涝	8.7	13.0	19.6	0.0	13.0	8.5	14.9	14.9	17.0	10.6	13.0	14.9
正常	15.2	47.8	39.1	23.4	44.1	42.6	34.0	46.8	44.7	25.5	44.7	38.3
轻旱	8.7	13.0	10.9	13.0	14.9	17.0	19.1	8.5	8.5	10.6	13.0	17.0
中旱	10.8	6.5	13.0	14.9	6.4	8.5	14.9	13.0	6.4	13.0	2.1	4.3
重旱	32.6	6.5	4.3	21.2	6.4	6.4	4.3	4.3	6.4	17.0	10.6	10.6

表 3 三种指标确定的各月旱涝出现频率/%

旱涝等级	1 月			4 月			7 月			10 月		
	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$	$I_{pa}$	$I_{sp}$	$I_s$
1	25.5	6.4	8.5	17.0	6.4	4.3	8.5	4.3	2.1	21.2	4.3	4.3
2	2.1	8.5	4.3	6.4	4.3	6.4	10.6	4.3	10.6	6.4	6.4	12.8
3	0	12.8	6.4	8.5	19.1	12.8	17.0	21.2	21.2	4.3	19.1	8.5
4	4.3	42.6	55.3	10.6	38.3	51.1	27.7	51.0	38.3	8.5	40.4	42.5
5	0	29.8	14.9	6.4	19.1	17.0	17.0	6.4	14.9	12.8	19.1	23.4
6	6.4	0.0	4.3	10.6	2.1	6.4	6.4	4.3	8.5	4.3	4.3	4.3
7	61.7	0.0	6.4	40.4	10.6	2.1	12.6	8.5	4.3	42.5	6.4	4.3

未考虑气温、蒸发对干旱的影响,以致 1989 和 1997 年<sup>[10]</sup>这两年较大的干旱年份没有能列入中旱等级。从三种指标的综合和 80 年代以来干旱发生频繁加剧的事实看,除降水偏少影响外,气候变暖蒸发加大也是造成干旱发生的重要因素<sup>[9]</sup>。三种指标确定的重涝、中涝年份均为 1959、1956、1954、1969、1955 年。

为了进一步比较三种指标用于确定月、季等尺度旱涝情况,我们分别统计了北京 4 个季节和 1、4、7、10 月的三种指标数值,并按表 1 标准进行等级划分,各等级旱涝出现频率分别列于表 2 和表 3。

由表 2 和表 3 可见适合确定年旱涝等级的  $I_{pa}$  标准,显然是不适合确定季、月等尺度的旱涝等级,该标准大大夸大了干旱程度,例如 1 月份和冬季  $I_{pa}$  重旱频率分别高达 61.7% 和 32.6%,而正常级别仅为 4.3% 和 15.7%,这与表 1 所规定的各级别所占频率

相差较大,也不符合实际情况。由此可见,用  $I_{pa}$  指标确定旱涝,不同时间尺度划分旱涝等级的标准是不同的。 $I_{sp}$  和  $I_s$  指标所确定的月、季旱涝等级频率差异不显著,且正常级别所占比例最大,约在 38%~55% 之间。这种频率分配与年旱涝等级频率分配基本一致。其原因是  $I_{sp}$  和  $I_s$  指标均属标准化指数,它们基本消除了时间尺度不同引起的降水量方差不同的影响,由此可知,这两种指标的等级划分标准适合确定不同时间尺度的旱涝等级。

综上分析,三种指标在确定旱涝等级时存在如下优缺点:

1)  $I_{pa}$  的优点是方法简单;能直接标征某时段降水量偏离常年的程度,意义明确。其不足之处是没有考虑降水的分布特征,在确定不同地区、不同时间尺度的旱涝时,没有统一的标准该指标不能适用于时空尺度的旱涝等级对比分析。

2)  $I_s$  指标是降水、气温服从正态分布的标准化变量,同  $I_{sp}$  一样消除了时空尺度变量的离散程度差异,并且  $I_s$  考虑了气温对干旱发生的影响,一般地,在其它条件相同时,高温有利于地面蒸发,反之则不利于蒸发,因此当降水减少时,高温将加剧干旱的发展或导致异常干旱,反之将抑制干旱的发生与发展,从气温对干旱的影响物理机制上讲是完全正确的。但气温对干旱的影响程度是随地区和时间不同的,因此在运用  $I_s$  指标时,应对温度影响项加适当权重。

3)  $I_{sp}$  指标不仅考虑了降水服从偏态分布的实际,而且又进行了正态标准化处理,从而使  $I_{sp}$  适合确定不同时间尺度的干旱监测、评价,具有相同干旱等级划分标准,能进行多时间尺度旱涝等级对比分析,是一种较好的气候干旱指标,其不足是没有考虑影响干旱

发生的其它因子。

## 5 新干旱指标的确定

经过上述对  $I_{pa}$ 、 $I_{sp}$  和  $I_s$  三种指标的对比分析,结合  $I_{sp}$  和  $I_s$  两种指标的的优点我们提出一种新的干旱指标  $I_k$ ,其计算方法:

$$I_k = Z - \alpha \frac{T - \bar{T}}{\sigma_T} \quad (12)$$

式中, $Z$  为  $I_{sp}$  值由(11)式求得, $\alpha$  为系数, $T$ 、 $\bar{T}$ 、 $\sigma_T$  含义同(2)式。

经多次计算验证,北京地区系数  $\alpha$  取 0.2,  $I_k$  指标旱涝等级划分标准与  $I_{sp}$  相同。表 4 是由  $I_k$  指标所监测的北京各季、年干旱发生情况。由表 4 结果可以看出,  $I_k$  确定的干旱年份基本与实际相符<sup>[7,10]</sup>,可作为北京地区监测干旱的发生应用于业务。

表 4 北京各季、年干旱发生情况

时间	重旱年份	中旱年份	轻旱年份
冬季	83,84	63,68,74,91	58,65,71,88,92,93,94,95,96
春季	72,75	60,76,81,86,93,96	59,61,65,68,73,74
夏季	65,68,72	51,62,80,89,97	75,81,83,84,92
秋季	63,75,79,82	62,66,94	54,65,70,83,85,88,90
全年	65	62,68,72,75,80,81,89,97	51,74,82,83,84,92,93,95

## 6 结语

干旱是一种复杂的气象灾害,影响干旱发生的因子是多方面的,并有区域性差异,  $I_k$  指标考虑了降水和气温对干旱影响的权重,是定量描述旱情的一个较好的指标,在气象业务工作和干旱研究中可以进一步探索应用。

## 参考文献

- 1 Wilhite D A. Drought planning: A process for state government. Water Resource Bulletin, 1991, 27 (1): 29~38
- 2 陈玉琼. 旱涝灾害指标的研究. 灾害学, 1989(4)
- 3 鞠笑生, 杨贤为等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱

涝级别划分的研究. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26~32

- 4 давыдов н н 等. 前苏联干旱预报及其研究的现状与前景. 气象科技, 1984. 3
- 5 McKee T B, Doesken N J, Kleist J. Drought monitoring with multiple timescales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, 1995, Dallas, TX, 233-236
- 6 么枕生. 气候统计学基础. 北京: 科学出版社, 1984
- 7 北京市人民政府防汛抗旱指挥部办公室. 北京市解放后旱涝灾害大事记, 1984
- 8 冯佩芝等. 中国主要气象灾害分析. 气象出版社, 1985
- 9 方修琦等. 1978~1994 年分省农业旱灾灾情的经验正交函数 EOF 分析. 自然灾害学报, 1997, 6(1)
- 10 国家气候中心. 全国气候影响评价, 1997