

# 干旱监测预警指数研究<sup>①</sup>

宫德吉

(内蒙古气候中心, 呼和浩特 010051)

## 提 要

提出以降水的应时性、有效性、土层水的后效作用,以及大气温湿状况为依据,建立干旱指标的问题,给出了评价短期气候干旱状况的干旱实时监测和预警指数。同时对如何科学地度量干旱灾害程度也进行探讨。

**关键词:** 干旱指数 干旱预警 灾害程度

## 引 言

干旱是常见的气象灾害。影响干旱的因子,涉及大气、自然环境、受害对象等许多方面。这些因子之间的关系比较复杂,很难找到一个能普遍适用于各种用途的干旱指数。人们从不同的需要出发,已提出了数十种目的各异的干旱指数。事实上,虽然总的说来,干旱是个气候问题,但进行气候分类时所用的干旱指数与确定旱灾等级时所用的指数,完全是两回事。气候分类的干旱指数要反映的是某地长期的水热平衡状态,一般要用多年的平均降水和平均温度来表现。而旱灾指数要反映的是某个时期因异常缺雨对当地生态系统所产生的灾害性影响的程度,它要分辨的是短期降水气候的异常状况,以及受害对象对这种变异的发展变化的反映状况。我们进行短期气候监测服务和干旱预警时,需要一种能反映干旱实时发展变化的干旱指数。这种干旱指数必须能及时反映环境(包括天气过程或降雨特点)对旱情变化的影响。实践已经表明,即使总降水量相同,只要环境及降雨特点不同,干旱状况及其对作物的影响程度也就不一样。同时,实践还表明,进行实时

干旱监测所用的信息必须是可迅速获取的,否则就难以及时准确的服务。而人们可以迅速获得的主要气象信息是大气的温湿状况及降水资料。如何运用这些资料来反映干旱的实时变化,在目前仍是个需要探讨的问题。本文试图解决的就是建立起一种能快速对干旱进行实时监测和预警的干旱指数。

## 1 干旱因素分析

水的供需失衡,就会产生旱涝。影响干旱的因素主要有以下几种。

### 1.1 降水应时性问题

研究指出,通常一个地区某段时间的干旱程度,主要决定于降水量与平均状态相比的偏少程度,而不在于当地平均雨量的大小<sup>[1]</sup>。所以一般短期旱涝可以采用评价期的降水距平百分率表示。其中,负距平越大,表示越干旱。降水距平也是降水应时性的反映。应时性包括“应时”和“适量”两个方面。显然,降雨不应时——该下不下,则易旱;不该下还下,则易涝。至于判定干旱与否的最小评价期的长度,至今并没有一个公认的标准。旱灾通常是以作物不同生育阶段或月份作为评价期的依据。就一般的短期干旱评价来说,英国是

<sup>①</sup> 本研究得到国家重中之重项目 96-908-05-02 和内蒙古科委项目资助。

把15天无雨定为干旱。我们的调查表明,在内蒙古几天无雨形不成干旱,一句无雨可有旱象露头,两句无雨便可形成干旱。调查发现,只要土壤的耕作层缺水就会出现旱情,缺雨时间越长,旱情越严重。结合天气情报服务的实际需要,我们认为将10~15天作为干旱预警监测评价的基准长度是合适的。因为在作物的主要生长季,即使前期土壤含水量是适中的,只要10~15天无雨,耕作层就会因强烈的蒸散作用而造成缺水,以至出现“灾险”。当然,有了“灾险”不一定出现“灾害”,只要条件逆转或采取一定的措施,就有可能远离灾危临界点而脱离危险境地<sup>[2]</sup>。这正是进行干旱监测和干旱预警的目的。

### 1.2 有效水量问题

某地发生旱涝的状况与降雨特点及环境条件关系很大。在自然降水中,作为径流水流失掉的部分对当地是无效的,只有那些能被当地生态系统利用的部分才是有效的。这一部分雨水便被称为有效水资源量。影响自然降水有效水资源量的因素,主要是降水方式和地形。降雨过分集中和雨强过大,都会降低自然降雨的有效水资源量。内蒙古暴雨集中期的大部分水量变成径流水流失掉,就是例证。

单位时间的降雨程度在形成径流中是一个重要的影响因子。一般说来,只要降雨强度大于土壤水的下渗速度就会产生径流。雨强越大,径流量就越大。影响径流的另一个因子是地形。地形坡度越大,自然降水中的留存量便越小,而径流掉的水量却越大。此外,有效水量还跟土壤透水性及地表植被状况等有关。

### 1.3 土壤水的后效影响

自然降水在时间上是不连续的,它一般呈脉冲性的不规则状态。而生态系统的需水状况却基本上呈规律的连续状态。是土壤层把脉冲性的自然降水变成了有规律的供水。

但土壤层的含水量也是变化的,刚下雨时含水量很大,随后受下渗和蒸散的影响呈指数状减少。以致降水出现得越早,对当前作物可利用的水量便越少。

### 1.4 蒸散的影响

在同等的水分条件下,蒸散量越大,越易产生干旱。影响蒸散的主要有蒸发势诸因素及植被状况。通常蒸发起着决定的作用。在温度高、风大、相对湿度小的情况下,土壤水分耗损快,最容易发生干旱。对沙壤土的试验观测表明,在日平均气温 $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ ,平均风速 $1\sim 1.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,相对湿度60%左右的条件下,如果没有新的降水,大约每隔5天耕作层土壤湿度便下降为原来的80%。而在风大的春天及高温的夏天,土壤湿度下降到80%仅需3~4天。

## 2 干旱监测预警指数

可以将环境供水和生态系统需水之间的平衡状况,作为干旱监测预警指数。

### 2.1 参照水量

由于自然选择的结果,一个地区生态系统的供水与当地多年的平均雨量是一致的。所以作为评价一个地区旱涝状况参照水量的生态需水量,其实就是该地区的多年平均降水量。如果以 $R_0$ 代表评价期的参照水量, $\bar{R}_i$ 代表逐日平均日雨量,则:

$$R_0 = \sum_{i=1}^n \bar{R}_i \quad (1)$$

式中 $n$ 是评价期的长度(天数)。

### 2.2 环境可供水量

土壤水是作物吸水的主要来源。但现行的土壤水分监测方法费时、费力,还需要一定的专用设备,要随时进行监测很不容易。实际上土壤水主要来自降水,而自然降水是气象常规观测项目,资料易得。为了能随时了解土壤中的水分情况,需要根据降水和蒸散与土壤水的关系,采用一些相关统计方法,对土壤中的水份情况进行估算。考虑到土壤水的后

效影响,可以将评价期所涉及到的供水量表示为:

$$R = \sum_{j=1}^m k^j P_{r,j} \quad (2)$$

式中  $R$  是评价期的可供水量,  $m$  为供水期限,  $P_{r,j}$  为各日的补水量(包括自然降水量和人工补水量),  $k^j$  为土壤水的后效影响权重系数, 其中  $k = 0.8$ 。

在这里,我们有必要对供水期限的确定和土壤水的后效影响权重指数问题,进行一些讨论。

### 2.2.1 关于供水期限问题

实践表明,评价期的可供水量,除了此期间的降雨所留存于土壤中的水量之外,还有前期降雨贮存于土壤中的水量。

众所周知,土壤中的水量在土面蒸发及蒸腾作用下,会逐渐减少。首先是土面变干,然后下层土壤中的水分因向上部的干层传递也逐渐消耗。因此无雨的时间越长,变干的土层深度就越深。通常干旱预警主要是依据耕作层的水分情况。因为耕作层是作物根系的主要活动层,只要耕作层的土壤含水量在萎蔫系数以下,作物就进入灾危临界状态。而在生长季,耕作层的含水量由适宜状态降到萎蔫系数以下,最短只须 10 天左右的时间(这就是我们取的最短评价期)。耕作层一是指地表至地下 15~20cm 的土壤表层,从 Hillet 等人给出的降水入土后水分随时间在土壤中的分布可以看出<sup>[3]</sup>,大雨之后,耕作层得到的水分在下渗和蒸散等的作用下,一般可以维持 30 多天的时间。也就是说,最近 30 多天的降水对耕作层的水量起决定作用。于是得出影响供水的时间大约等于评价期的 3 倍以上。

一般说来,干旱评价期的时间长度与土壤层的深度有关,评价期越长,涉及到的土层就越深。而更深土层的水量又涉及更早时间的降雨分布。总的看来,“影响评价的供水期

约为评价期的三倍以上”这个关系,通常是能够成立的。所以在计算中我们取  $m = 3n$ 。

### 2.2.2 关于土壤水的后效影响指数问题

在式(2)中,我们用土壤水的后效影响权重系数  $k^j$  来描写降雨之后,土壤水受下渗和蒸散的影响随时间呈指数减少的情况。 $t$  是一个与时间以及蒸散状况有关的量。若以  $\tau$  表示补水日距当前的日数(显然  $\tau = j$ ),以  $A$  代表蒸散参数,则:

$$t = \tau/A \quad (3)$$

为了能用常规气象因子描写土壤水的变化,同时也是根据蒸散主要与蒸发势诸因子关系最密切的事实,我们设:

$$A = a_1 f + a_2 T + a_3 V + a_0 \quad (4)$$

式中  $f$ 、 $T$ 、 $V$  分别代表评价期的平均相对湿度、温度和风速,  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  为它们所对应的权重系数,  $a_0$  为常数。

据此,只要了解补水量及补水后一段时间的平均温度、相对湿度及风力情况,就可以求出土壤水量。从而解决了在干旱的逐日滚动监测中出现的土壤墒情不能随时掌握的困难。关于式(4)中的权重系数的确定,则可根据对实测资料的统计分析和验证协调得出。经过反复的迭代验证和对比试验,我们得到以沙壤土为代表的蒸散参数为:

$$A = 4.2 - 0.15T - 0.25V + 0.05f \quad (5)$$

这里  $T$ 、 $V$  和  $f$  分别以  $^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  和 % 为量度单位的无量纲数。

### 2.2.3 干旱监测预警指数

干旱监测预警指数可定义为:

$$G = (\beta R - R_0)/R_0 \quad (6)$$

式中  $G$  是干旱监测预警指数;  $R$  是可供水量;  $R_0$  是当地生态系统需水量;  $\beta$  是自然降水的有效系统,它等于有效水量与同期相应降水量之比,即  $\beta = \frac{R_e}{R}$ 。每次降水的有效系数不一样,为简便起见,采用地域性多年平均数值

代表,丘陵山区为 0.7~0.9,在平原区为 0.9~1.0。

观测统计表明,在作物生长季,当  $G \leq -0.5$  时,作物已受到缺水影响,有时甚至发生明显的萎蔫现象。因此可以把  $G \leq -0.5$  作为发布干旱的灾险预警指标。

### 3 关于灾情评估问题

旱灾具有渐变性及长灾险期的特点,短期缺雨只有“灾险”,不会产生灾情。所以旱灾的成灾状况应以月或作物的生育阶段作为评价期。另一方面,虽然作物对短期供水的余缺在一定程度上可以自行调节,但是前期干旱已造成的伤害是无法用后期的多雨来弥补的。也就是说,多雨月只对后期土壤水有贡献,而不能挽回前期旱灾的损失。若将单位评价期的缺雨指数用时段平均干旱监测预警指数表示,即

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i \quad (7)$$

则当  $D \geq 0$  时,应令  $D = 0$ 。式中  $N$  是被评价月份所含的天数。

对于旱灾的灾情必须根据缺雨程度、缺雨持续时间和缺雨时作物的水分敏感度等进行综合评价<sup>[4]</sup>。而干旱监测预警指数只是动态地反映了缺雨状况,并不能综合的反映灾情。所以要了解旱灾的灾情还需要采用旱灾成灾指数。旱灾成灾指数被定义为:

$$H = \sum_{i=1}^n D_i P_i \quad (8)$$

式中  $H$  是旱灾成灾指数, $D$  是被评价月的缺雨指数, $P$  是评价期的作物水分敏感度。

而作物的水分敏感度可用干旱发生的最大可能影响系数表示。按文献<sup>[4]</sup>的方法,将因干旱而造成 3 成以上减产的生长阶段的作物水分敏感度系数定义为 1,造成 1 成减产的水分敏感度为 0.3,用统计方法可以得出不同作物在各生长期的水分敏感度,附表给出了内蒙古大秋作物的综合水分敏感度。

各地的旱灾临界指标可根据当地的实际情况确定。一般来说,  $-0.2 > H \geq -0.4$ ,减产幅度 10%~20%,为轻旱,  $-0.4 > H \geq -0.6$ ,减产幅度 20%~40%,为中旱;  $H < -0.6$ ,减产 40%以上,为大旱。

附表 内蒙古大秋作物的综合水分敏感度

时间	4月	5月	6月	7月	8月	9月
敏感度	0.4	0.5	0.6	0.9	0.8	0.3

### 4 小结

干旱是初始灾险不明显的灾害,而一旦积险成灾,损失已难以挽回。及早识别灾险对抗御旱灾有重要意义。研究利用逐日常规气象信息监测干旱发生发展的方法和指标,实属必要。

分析表明,可以用降水的应时性、有效性、土壤水的后效作用特性,以及大气湿温状况对蒸散的影响,来反映或模拟环境供水的变化情况。并且可以将环境供水与生态系统需水之间的平衡状况作为干旱的监测预警指数。应用逐日的降水及湿温资料就可以动态地监测干旱的实时变化,达到及时识别灾险及进行预警的目的。在此基础上,再以单位评价期的平均干旱监测预警指数值来反映缺雨程度,根据缺雨程度、缺雨持续状况及作物的水分敏感度,进一步对旱灾的灾情作出评价。从而可以形成一套较完整的干旱监测、预警和评价系统。

### 参考文献

- 1 竺可桢. 华北之干旱及其前因后果. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979.
- 2 王鹏飞. 灾害学研究杂论. 空军气象学院学报, 1991, 12(2): 18~25.
- 3 D. Hillel and H. M. Van Bavel, Simulation of protille water storage as related to Soil hydraulic properties. Soil Science of America Journal. 1976, 40(6): 807~815.
- 4 宫德吉, 郝慕玲, 侯琼. 旱灾成灾综合指数的研究. 气象, 1996, 22(10): 3~7.

(下转第 13 页)

(上接第 17 页)

# Research on the Index of drought Monitoring and Forecast

Gong Deji

(Climate Centre of Inner Mongolia, Huhhot 010051)

## Abstract

The meteorological information, such as precipitation and thermo-hydric status in atmosphere, could be easily obtained at any time. How to use these data to report the seasonal drought change, for example, based on the characteristic of rainfall; seasonal and effective precipitation, the hysteresis of soil layer moisture and according to the thermo-hydric status in the atmosphere, the drought index was developed. The drought seasonal monitoring and forecast and the measurement of the drought disaster degree was also studied simultaneously.

**Key Words:** drought index drought forecast drought degree