

文章编号: 1007-4929(2007)03-0006-04

西北牧区干旱指标分析及旱情实时监测模型研究

佟长福¹, 郭克贞¹, 余国英¹, 畅利毛², 戴佳信², 段恒荣³, 郭瑞萍³

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010; 2. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;
3. 甘肃省天祝藏族自治县水利局, 甘肃 天祝 733200)

摘要:对常用的4种干旱指标,即降水量指标、供需水关系(土壤含水量)指标、Palmer干旱指标和综合指标进行了分析,在指出各评估指标不足的基础上,建立了农牧业干旱评估指标的量化模型,即农牧业干旱评估指标的静态模型和动态模型,该模型能定量计算而且能较准确的反映出干旱给农牧业造成的损失。利用实时气象资料,根据近期降水、土壤底墒(前期降水)和气温3种因素计算干旱指数,对旱情进行实时监测,以便减轻干旱灾害的影响和避免各种工程与非工程防灾减灾措施实施过程中的盲目性,为牧区制定合理的抗旱方案提供参考。

关键词:西北牧区;干旱指标;旱情;实时监测

中图分类号:S165 文献标识码:A

Analysis of Drought Indices and Study on Real-time Monitoring Model for Drought in Pasturing Area of Northwest China

TONG Chang-fu¹, GUO Ke-zhen¹, SHE Guo-ying¹, CHANG Li-mao², DAI Jia-xin², DUAN Heng-rong³, GUO Rui-ping³

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Huhhot 010010, China;

2. College of Hydraulic and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

3. Bureau of Water Conservancy of Tianzhu Tibetan Autonomous County, Tianzhu 733200, Gansu Province, China)

Abstract: Four kinds of drought indices, namely rainfall index, soil-water index, Palmer draught index and comprehensive index, were discussed in this paper. Based on the analysis of the shortcoming of above evaluation indices, the quantitative models of drought evaluation index for agriculture-stockbreeding, namely static model and dynamic model, were set up. The models not only can describe the drought quantitatively, but also can reflect the agriculture-stockbreeding losses caused by drought. According to three factors, such as rainfall in recent time, soil moisture and air temperature, the authors used real-time weather information to calculate drought index and monitor drought in real-time to abate the effect of drought disaster and avoid blindness of performing engineering measure or no-engineering to prevent and reduce disaster. The research result gave good reference for the decision of reasonable anti-drought scheme.

Key words: pasturing area in Northwest China; drought index; drought; real-time monitoring

目前,干旱是全球性气象灾害,特别是在我国西北牧区的农牧业生产中干旱是最为严重的气象灾害,春旱年份天然草场牧草的正常返青和人工牧草播种、出苗往往受到严重影响,从而导致生长期的缩短,产草量下降。资料分析表明,凡是发生春旱的年份,牧草返青期比正常年推迟10~15 d,而且春旱越严重,返青期越迟。夏季是牧草形成的关键时期,如果旱早发生,往往导致产量降低,品质变劣,适口性差^[1,2]。近年来,随着

社会经济发展和人口增长,水资源短缺现象日趋严重,因此干旱灾害的风险评估已越来越受到人们的广泛关注,相关研究在国内外也开展较多。我国是一个农牧业大国,因此历来比较重视农牧业干旱问题,而且拥有较完整的农牧业干旱记载,这为农牧业干旱的研究提供了良好的基础,也使得我国在农牧业干旱研究方面处于较领先的水平,其干旱评价指标较多,但至今尚未形成一种能被广泛接受的指标。因此,本文对西北牧区

收稿日期:2006-08-18

基金项目:农业科技成果转化资金项目(04EFN216800349)。

作者简介:佟长福(1979-),男,硕士研究生。

(农业以种植牧草为主)干旱指标进行了定性和定量分析,以便确定适合于该地区的干旱指标,为提前预测旱情并及时制定有效的防灾减灾方案,合理地进行抗旱工程的规划建设提供科学的依据^[3]。

1 常用定性干旱指标分析^[4]

干旱是一种缓慢连续的过程,它的发生发展包含了很多复杂的过程和因子,不仅与降水的多少及其分配有关,而且还与蒸发、土壤含水量、径流量、土壤土质、植被等多种因素有关。目前国内外研究干旱有各种各样的定性指标,比较常用的有降水量指标、Palmer 干旱指标、土壤含水量指标、综合性旱情指标等^[5]。

1.1 降水量指标

降水是牧草供水的主要来源之一,是影响农牧业干旱的重要因素。尤其在西北牧区,降水直接决定着土壤水分的多寡,因而降水的多少明显影响甚至支配着该地区的农牧业生产。降水量指标一般多采用降雨距百分率法、百分比法及无雨日数等。这些指标本质都是以某地某一时段(年、季、月、旬或作物某一生长阶段)的降雨量(观测值或预报值)与该地区该时段内的多年平均降雨量相比较而确定其旱涝标准,它是反映某一时段内降水与其多年平均降水值相对多少的一项定量指标。不仅可以直观地反映出时段内降雨量与多年平均值的相对多少,还能大致反映出干旱的发生趋势,但因降水的不均匀分布,使其不能直接表示牧草遭受干旱影响的程度。

1.2 土壤含水量指标

牧草的水分供应主要是靠根系直接从土壤中吸取,土壤中水分不足或过剩都会影响牧草的正常发育及其产量,当土壤水分降到一定程度时,作物即呈现旱象。常用的土壤含水量指标有两种:一种是以作物不同生长状态下(正常、缺水、干旱等)土壤水分的实验数据作为判定指标,以实时监测的土壤实际含水率判定旱情。另外一种是用土壤水分消退模式来拟定旱情指标,根据农田水量平衡原理,计算各时段末的土壤含水量,预测干旱是否发生。土壤含水量指标是目前研究比较成熟,且能较好反映作物旱情状况的可行指标,但要评估大范围内的旱情必须进行大量取样布点测定各点的含水量,工作量、投资量都很大,因此要在经济基础薄弱的西北牧区进行推广还存在一定的困难。

1.3 Palmer 干旱指标

Palmer 干旱指标,即 Palmer Severity Drought Index,简称 PSDI。它是 1965 年由 Palmer 提出的综合考虑降水、蒸散发以及土壤水分等条件,同时也涉及到一系列农牧业干旱问题,在获得干旱指标时,对资料条件要求较高,公式中涉及的权重系数较多,且随不同地区和季节而异,有些资料也难以准确得到。因此,难以对干旱程度评估指标进行量化分析^[6]。

1.4 综合干旱指标

干旱的发生可同时受到气象、水文、土壤、作物、农牧业布局、耕作措施及水利设施等多种因素的综合影响,因而要准确、全面、客观反映农牧业干旱状况,必须抓住形成农牧业干旱的主导因素。目前常用的综合干旱指是作物水分亏缺指标,它以

作物的水分供需作为研究对象,常用蒸发力及相对蒸发蒸腾量的减少来表示。由于影响作物实际耗水量和潜在最大需水量的因素极为复杂,计算时还存在一些假定条件且操作过于繁杂,因而作物水分亏缺指标难以推广应用。

2 干旱指标的定量分析

2.1 静态模型指标的分析与计算

2.1.1 静态模型指标的分析

静态模型是描述作物最终产量损失与水分胁迫的关系,而不考虑作物生长过程中各个阶段损失和水分胁迫的关系。

设某一地区共种植 m 种作物,利用 Jensen 模型,设作物 k ($k=1,2,\dots,m$) 全生育期共分 t 个阶段,

$$\text{令 } D_k = 1 - \prod_{t=1}^j \left(\frac{ET_a}{ET_m} \right)_t^{\lambda_t^k} = 1 - \frac{Y^k}{Y_{\max}^k} \quad (1)$$

式中: D_k 为作物 k 的土壤水分胁迫产量损失函数; ET_a 和 ET_m 分别为作物 k 第 t 阶段的实际腾发量和最大腾发量, mm; 不考虑供水大于需水的情况, 当 $ET_m - ET_a > 0$ 时, 土壤含水率降至适宜含水率下限, 表示作物 k 在第 t 阶段有了水分亏缺, 其亏缺达到了使作物受损的程度, 即产生了水分胁迫; λ_t^k 为作物 k 第 t 阶段的敏感系数; Y^k 为作物 k 的实际产量, kg/hm²; Y_{\max}^k 为作物 k 的最大产量, kg/hm²。

当 $D_k = 0$ 时, 说明作物 k 未减产, 则认为旱情程度为 0; $D_k = 1$ 时, 表示作物 k 没有产量, 认为旱情程度为 1; 由此可知: $0 \leq D_k \leq 1$, 如已知作物 k 各个阶段的实际腾发量和最大腾发量, 则可以使用式(1)来静态评估作物 k 干旱的程度。

2.1.2 静态模型指标计算

根据式(1)计算出各种作物的干旱程度后, 可以使用加权的方法得出农牧业的干旱程度, 而权值的确定以经济损失的大小为依据。设作物 k 的种植面积为 A_k , hm², 市场的价格为 P_k (元/kg), 则 $D_k Y_{\max}^k A_k P_k$ 表示作物 k 因干旱而造成的经济损失。经济损失越大, 对应的作物的权值就越大, 则权值可由下式计算:

$$W_k = \frac{Y_{\max}^k A_k P_k}{\sum_{k=1}^m Y_{\max}^k A_k P_k} \quad (2)$$

式中: W_k 为第 k 种作物的权重。

则该地区的农牧业干旱的程度为:

$$D = \sum_{k=1}^m W_k D_k \quad (3)$$

式中: D 为农牧业干旱程度, 它是各种作物干旱程度的加权和, 反映整个农牧业的损失程度。

2.2 动态模型指标的分析与计算

2.2.1 动态模型指标的分析

动态模型描述作物生长到某阶段时的累计损失与水分胁迫的关系, 可以用来描述作物干旱受损的过程。首先确定新的作物水分生产函数的动态模型, 可以动态地描述作物生长过程中缺水对总产量的影响。设某一地区共种植 m 种作物, 作物 k 共有 t 个生育阶段, 则:

$$f_t^k = \begin{cases} \frac{Y_t^k}{Y_{\max}^k} = f_{(t-1)}^k \left[\frac{(ET_a)_t^k}{(ET_m)_t^k} \right]^{\alpha_t^k} e^{\beta_t^k} \phi \left[\frac{(ET_a)_t^k}{(ET_m)_t^k} \right], & (4) \\ t = 1, 2, \dots, j & \text{当 } f_t^k \leq 1 \\ 1 & \text{当 } f_t^k > 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中: f_t^k 为作物 k 生长到 t 阶段时的作物水分生产函数; Y_t^k 为作物 k 从第一阶段生长到第 t 个阶段时对应的产量; α_t^k 为作物 k 第 t 阶段时的损失系数, $\alpha_t^k > 0$; β_t^k 为作物 k 第 t 阶段时的恢复系数, $\beta_t^k > 0$; ϕ 为判别函数:

$$\phi = \begin{cases} e^{-\beta_t^k} & \text{当 } \frac{(ET_a)_t^k}{(ET_m)_t^k} \neq 1 \\ 1 & \text{当 } \frac{(ET_a)_t^k}{(ET_m)_t^k} = 1 \end{cases} \quad (6)$$

其他符号意义同前。

模型的意义为: 如果作物 k 生长到 t 阶段时, 均为充分灌溉, 则从第一阶段到第 t 阶段这段时期不会因缺水而对作物总产量造成损害, 可认为 $Y_t^k = Y_{\max}^k$; 当这段时期的某个或某些阶段有不同程度的水分胁迫时, 则将对作物最终总产量造成损失, 得 $Y_t^k < Y_{\max}^k$; 若 $t+1$ 阶段起均为充分灌溉, 则作物情况得以恢复, 设最终产量为 Y , 则 $Y_t^k < Y$ 。即 Y_t^k 根据作物 t 阶段及 t 阶段以前阶段的水分胁迫情况得出的相应产量, 则 f_t^k 表示相对产量。

利用公式(4)、式(5)可以得出动态的水分胁迫生产损失函数。

$$D_t^k = 1 - f_t^k \quad (7)$$

式中: D_t^k 为作物 k 第 t 阶段时的水分胁迫生产损失函数。

D_t^k 意义是依据作物 k 第 t 阶段及 t 阶段以前阶段的水分胁迫情况得出的相应产量减产率。易知 $0 \leq D_t^k \leq 1$, D_t^k 越大表明作物 k 生长到 t 阶段时旱情程度越大, 则可以使用式(7)来动态评估作物干旱的程度。

2.2.2 动态模型指标计算

动态模型指标计算与静态模型完全相同, 根据式(2)可以得出各种作物的权重。设某研究时段为 t , 此时 m 种作物分别处在第 t_k 阶段 ($k=1, 2, \dots, m$), 则此时农牧业干旱的程度可由下式计算:

$$D_t = \sum_{k=1}^m W_k D_t^k \quad (8)$$

式中: D_t^k 为第 k 种作物 t 时的干旱程度; D_t 为 t 时期的农牧业干旱程度, 它反映此时农牧业的整体损失。

3 实例分析

天祝藏族自治县龙潭河灌区灌溉面积 393 hm^2 , 主要种植燕麦和披碱草为主, 种植面积分别为 236 hm^2 和 157 hm^2 , 2005 年燕麦和披碱草在充分灌溉条件下青干草产量分别为 0.95 万 kg/hm^2 和 1.07 万 kg/hm^2 , 燕麦和披碱草的青干草价格均为 0.3 元/ kg , 设 W_1 和 W_2 分别为燕麦和披碱草的权重, 由式(2)可得: $W_1=0.57, W_2=0.43$ 。

3.1 静态模型计算

燕麦各阶段的敏感指数为: 0.486 3, 0.335 1, 0.515 4, 0.499 1, 对应各阶段相对水分胁迫分别为: 0.293 4, 0.147 5, 0.187 7, 计算可得燕麦的干旱程度为 0.295 7, 说明燕麦因干旱而减产 29.57%。

披碱草各阶段的敏感指数为: 0.727 4, 0.154 4, 0.588 8, 0.396 4, 0.214 3, 对应各阶段相对水分胁迫分别为: 0.223 5, 0.259 5, 0.043 5, 0.126 2, 0.096 4, 计算可得披碱草的干旱程

度为 0.282 3, 说明披碱草因干旱而减产 28.23%。

燕麦和披碱草的各阶段敏感指数根据 2005 非充分灌溉试验求得。

由公式可得: 整个灌区的干旱程度为 0.289 9, 说明因干旱而使整个灌区损失 28.99%。

3.2 动态模型计算

该模型可以计算某一时段的干旱程度, 现假设灌区处于 7 月中旬, 采用该模型计算在该阶段整个灌区的损失。此时, 燕麦正处于第一生长阶段, 相对水分胁迫为 0.210 5; 披碱草处于第二生长阶段, 第一阶段相对水分胁迫为 0.235 1, 第二阶段为 0.270 6; 利用公式可得燕麦的干旱程度为 0.176 4; 披碱草的干旱程度为 0.137 5。

由公式可得出该阶段整个灌区的干旱程度:

$$D = 0.176 4 \times 0.57 + 0.137 5 \times 0.43 = 0.159 7$$

通过上面计算可以看出, 使用静态模型和动态模型不但可以定量计算出作物全生育期或各阶段的干旱程度, 而且也可以对作物全生育期以及各个阶段的旱情做出定量的、连续的描述, 较好地反映干旱给农牧业造成的损失。

4 旱情实时监测模型

4.1 模型确定

为便于利用实时天气资料建立能够反映旱情变化的客观指标, 以近期降水、土壤墒情(前期降水)和气温三因子建立旱情实时监测模型:

$$I = A + B + C$$

式中: I 为干旱指数; A 为近期降水, 以降水量距平百分率为参数; B 为墒情, 用过去一段时期内的降水来反映墒情情况; C 为气温, 以近期气温距平为参数。

其中:

$$A = -C_1(R - \bar{R})/\bar{R}$$

$$B = -\sum_{i=1}^n C_2(R_i - \bar{R}_i)/\bar{R}$$

$$C = C_3(T - \bar{T})$$

式中: R 为近期的降水总量; \bar{R} 为同期的降水量多年平均值; R_i 为前期第 i 个时段的降水量, \bar{R}_i 为相应时段的降水多年平均值; n 为需要考虑的前期降水时段数; T 为近期的平均温度; \bar{T} 为同期温度的多年平均值; C_1, C_2 ($0 < C_2 < 1$), C_3 均为权重系数。

4.2 参数确定

权重系数 C_1, C_2, C_3 的具体数值以及划定干旱等级的界限, 则是根据历史资料来逐步调整与确定的^[11,12]。

选取 1999~2004 年的气象资料, 计算 6~8 月各旬的干旱指数, 并对分析干旱指数的范围、大小、旱情变化和降雨过程出现时间及降雨量之间的对应关系, 逐步调整计算公式中各项系数的大小, 使计算得出的干旱指数能较好地反映出干旱范围、程度及早情的变化。

经过反复试算、调整, 选定权重系数: $C_1=8.12, C_2=0.27, C_3=0.15$ 。根据权重系数计算得出干旱指数, 其 I 指标等级见表 1^[13]。

表1 I指标的旱涝等级表

等级	I值	类型
1	< -4.4	重涝
2	$-4.4 \leq I < -1.9$	涝
3	$-1.9 \leq I < -0.3$	轻涝
4	$-0.3 \leq I \leq 0.3$	正常
5	$0.3 < I \leq 1.9$	轻旱
6	$1.9 < I \leq 4.4$	中旱
7	> 4.4	重旱

因此,只要给定该地区预测的气象资料就可以较准确地预测旱情并及时制定有效的防灾减灾方案,合理地安排抗旱工作。因此,该地区的旱情实时监测模型为:

$$I = -8.12(R - \bar{R})/\bar{R} - 0.27 \times$$

$$\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R}_i)/\bar{R} + 0.15(T - \bar{T})$$

4.3 模型检验

根据2005年的气象资料计算得出6~8月各旬的干旱指数分别为: $I_{6上}=4.6$ 、 $I_{6中}=7.9$ 、 $I_{6下}=7.0$; $I_{7上}=-0.9$ 、 $I_{7中}=5.6$ 、 $I_{7下}=1.5$; $I_{8上}=-1.3$ 、 $I_{8中}=-3.4$ 、 $I_{8下}=5.5$ 。从图1中可以看出,干旱指数出现最大的时刻是在6月中旬,而此时的降水量最小,并且随着降水量的增加干旱指数逐渐降低,可见降水量与干旱指数对应的关系较好;而温度变化较平缓,对干旱指数影响较小,从而说明在该地区降水量是影响干旱指数的主要因子。并且该干旱指标所反映出的旱涝动态变化与农牧业干旱发生的实况基本吻合,能够较好地反映旱情及其变化的情况,可以用于旱情的实时监测。

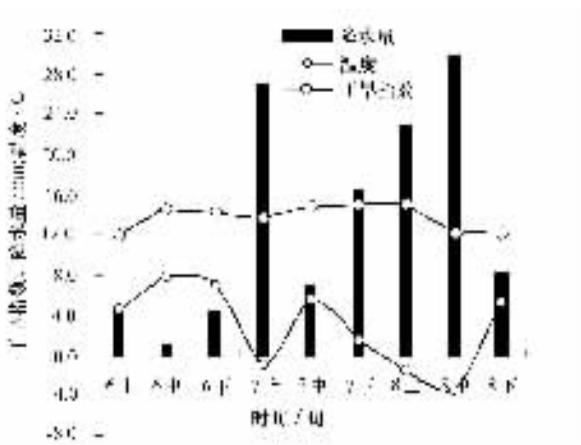


图1 干旱指数与降水量、温度之间关系

5 结 语

(1)本文建立了农牧业干旱程度评估模型,该模型不但能够对作物全生育期以及各个阶段的旱情做出定量的、连续的描述,而且还能够解决旱情的量化分析问题和定量计算出作物全生育期或各阶段因干旱而给农牧业造成的损失。

(2)利用天气资料,建立的旱情实时监测模型,用以实时监测大范围旱情变化快捷方便,为决策部门及时提供干旱及其变化提供有力工具。

(3)旱情实时监测模型中的权重系数和划定干旱等级的界限,是仅根据有限的历史资料确定,还需对各项参数再作进一步验证或修正,并扩大到其他地域和季节,以检验其适用性和实用性。

参考文献:

- [1] 张国祥. 天祝牧区干旱防治对策与措施[J]. 中国农村水利水电, 2003, 12: 73-74.
- [2] 谢金南, 李栋梁, 董安祥, 等. 甘肃省干旱气候变化及其对西部大开发的影响[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(3): 359-369.
- [3] 王密侠, 马成军, 蔡焕杰. 农业干旱指标研究与进展[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(3): 119-124.
- [4] 王志兴, 岳平, 李春红, 等. 对农业干旱及干旱指数计算方法的探讨[J]. 黑龙江水利科技, 1995, 2: 77-81.
- [5] 陈雷, 杨兴国, 把多辉, 等. 甘肃农业干旱动态监测指标的确定及其应用[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 144-148.
- [6] 刘庚山, 郭安红, 安顺清, 等. 帕默尔干旱指标及其应用研究进展[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(4): 21-27.
- [7] 邱林, 陈晓楠, 段春青, 等. 农业干旱程度评估指标的量化分析[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(3): 34-37.
- [8] 陈亚新, 康绍忠. 非充分灌溉原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995, 70-112.
- [9] 沈荣开, 张瑜芳. 作物水分生函数与农田非充分灌溉研究述评[J]. 水科学进展, 1995, 6(3): 248-253.
- [10] 吕金印. 非充分灌溉及其生理基础[J]. 西北植物学报, 2002, 22(6): 1512-1517.
- [11] 王春乙, 王石立, 霍治国. 近10年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 659-671.
- [12] 李小泉, 顾秋瑾, 牛若芸. 用天气资料实时监测和评估北方的旱情变化[J]. 气象, 24(1): 13-19.
- [13] 王晓红, 胡铁松, 吴凤燕, 等. 灌区农业干旱评估指标分析及应用[J]. 中国农村水利水电, 2003, 7: 4-6.

(上接第5页)

参考文献:

- [1] Appan A. Opening Address at the 9th International Rainwater Catchment Systems Conference at Petrolina[A]. Proceeding of the 9th International Rainwater Catchment Systems Conference [C]. Brazil, 1999: 6-9.
- [2] 张建新, 郑大玮. 国内外集雨农业研究进展与展望[J]. 干旱地区

- 农业研究, 2005, 23(2): 223-229.
- [3] 孙惠民, 程满金, 郑大玮. 北方半干旱集雨补灌旱作区节水农业发展模式[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1072-1076.
- [4] 山仓, 康绍忠, 吴普特. 中国节水农业[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 11, 601-604.
- [5] 康国玺. 集雨节灌增产效应及对甘肃农业的作用[J]. 节水灌溉, 2004, (6): 49-50.