

气象、农业干旱指标综述

姚玉璧^{1,2}, 张存杰¹, 邓振镛¹, 董安祥¹, 张秀云², 魏 锋², 杨金虎²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省定西市气象局, 甘肃 定西 743000)

摘要: 介绍了以降水量统计特征作为指标和以降水量、气温统计特征作为指标的气象干旱指标, 以土壤含水量、作物旱情、作物需水量、供需水比例、作物水分综合统计特征为指标的农业干旱指标。列出气象、农业干旱指标计算公式, 介绍计算方法和干旱指标的详细等级标准, 并对各指标计算所需统计资料观测、收集的难易程度, 各指标的优缺点、适用性及其适用区域范围评述, 为干旱的监测、评估、预警和研究提供依据。

关键词: 干旱指标; 气象干旱; 农业干旱

中图分类号: S 162.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)01-0185-05

干旱是全球最为常见的自然灾害, 据测算每年因干旱造成的全球经济损失高达 60~80 亿美元, 远远超过了其它气象灾害^[1]; 我国是一个幅员辽阔、地理环境复杂、各种灾害性天气频发的国家。而干旱又是我国影响面最广, 最为严重的气象灾害。据统计, 自然灾害中 70% 为气象灾害, 而干旱灾害又占气象灾害的 50% 左右。旱灾对农业生产带来的影响最严重, 我国常年农作物受旱面积约 0.20~0.27 亿 hm^2 , 每年损失粮食 250~300 亿 kg, 占各种自然灾害损失总量的 60%。遇到大旱之年, 我国粮食减产大约有一半以上来自旱灾。中国贫困县的分布和旱灾分布基本是一致的。近些年来, 随着全球温室效应的加剧、气温的不断升高, 我国的干旱问题日益突出, 干旱、缺水已严重妨碍了我国工农业生产的进一步发展, 也严重影响着城乡人民生活^[2,3]。

20 世纪 60 年代以来, 干旱问题的研究不断深入, 许多学者从不同角度研究干旱机理, 取得了大量成果, 建立了许多干旱指数计算方法^[4~9]。随着经济的迅速发展、人口增长及由此引起的以气候变暖为标志的全球变化的发生, 干旱有进一步加重的趋势^[3]。为此, 极有必要对干旱定义及国内外主要的干旱指标加以综述和评价, 为干旱的监测和评估, 特别是全球变化中的气候-植被关系研究提供方法和依据。

不同领域对干旱的定义不同, 所制定的干旱指标也不相同, 美国气象学会^[9]在总结各种干旱定义的基础上将干旱分为 4 种类型: 气象干旱(由降水和蒸发不平衡所造成的水分短缺现象)、农业干旱(以

土壤含水量和植物生长形态为特征, 反映土壤含水量低于植物需水量的程度)、水文干旱(河川径流低于其正常值或含水层水位降落的现象)、社会经济干旱(在自然系统和人类社会经济系统中, 由于水分短缺影响生产、消费等社会经济活动的现象)。由于干旱自身的复杂特性和对社会影响的广泛性, 某一个干旱指标很难达到时空上普遍适用的条件, 干旱指标大都是建立在特定的地域和时间范围内, 有其相应的时空尺度。为此, 本文概述了气象、农业干旱指标种类, 列出常用干旱指标计算方法和详细等级标准, 并对各指标初步评述, 为干旱的监测和评估提供依据。

1 气象干旱指标

1.1 降水指标

降水指标是气象干旱指标中最常见的指标, 主要有降水量值指标、降水距平指标和均方差指标, 由于降水量是影响干旱的主要因素, 降水量的多少基本反映了天气的干湿状况, 加之降水量指标具有简便、直观、资料准确丰富的特点, 在干旱分析评价和相关研究中应用较多。

1.1.1 标准差指标 假定年降水量服从正态分布, 用降水量的标准差划分旱涝等级^[10]。计算公式为:

$$K = \frac{R_i - \bar{R}}{\sigma} \quad (1)$$

式中: R_i 为年降水量; \bar{R} 为多年平均年降水量; σ 为降水量的均方差。其中 $K > 2.0, 2.0 > K > 1.0,$

收稿日期: 2005-09-07

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项(2004DIB3192); 国家自然科学基金项目(40205014); 甘肃省科学技术攻关计划项目(ZGS 042-A 44-017); 干旱气象科学研究基金项目(IAM200414)

作者简介: 姚玉璧(1962-), 男, 甘肃通渭人, 高级工程师, 主要从事农业气象业务和研究。E-mail: yaoyuyi_099@sina.com.

$1.0 > K > -1.0$, $-1.0 > K > -2.0$, $K < -2.0$ 分别为大涝、涝、正常、旱、大旱。

该指标虽然简单易行,但以年降水量作为参数时,无法反映季节变化,只能反映年际趋势。

1.1.2 降水距平百分率 指某时段降水量与历年同时段平均降水量的距平百分率。公式为:

$$Ipa = \frac{R_i - R}{R} \times 100\% \quad (2)$$

式中: R_i 为某时段降水量; R 为多年平均降水量。降水距平百分率旱涝等级标准^[1]见表 1。

表 1 降水距平百分率旱涝等级标准

Table 1 The standard grade of drought and flood with rainfall percent

旱涝等级 Grade	距平百分率 Ipa	旱涝类型 Damage type
1	$Ipa \geq 75\%$	重涝 Heavy water logging
2	$50\% \leq Ipa < 75\%$	大涝 Middle water logging
3	$25\% \leq Ipa < 50\%$	偏涝 Light water logging
4	$-25\% \leq Ipa < 25\%$	正常 Normal
5	$-50\% \leq Ipa < -25\%$	偏旱 Light drought
6	$-75\% \leq Ipa < -50\%$	大旱 Great drought
7	$Ipa \leq -75\%$	重旱 Severe drought

杨青等^[12]以月为时间尺度,根据降水距平百分率建立干旱指数:

$$X_i = \frac{Ipai}{a+b} + \frac{b}{a+b} X_{i-1} \quad (3)$$

式中: X_i 为当月干旱指数; X_{i-1} 为上月干旱指数; $Ipai$ 为当月降水距平百分率; a 、 b 为系数。 a 、 b 计算方法为:

$$\sum_{i=1}^t Ipai = At + B \quad (4)$$

式中: t 为干旱月长度, $A = t_i \times a$, $B = t_i \times b$ 。

冯利华^[13]参照地震等级确定法,用降水量距平提出了干旱等级计算公式:

$$N = dg(Ipa \times t) + b \quad (5)$$

式中: N 为干旱等级指数; t 为干旱持续天数; a 、 b 为待定系数。

当拟定 $a = 4$, $b = -9$ 时, $N \geq 8$ 级时为特大旱, $8 > N \geq 6$ 级时为大旱, $6 > N \geq 4$ 级时为旱, $N < 4$ 级时为轻旱。

降水距平百分率以历史平均水平为基础确定旱涝程度,反映了某时段降水量相对于同期平均状态的偏离程度。这种方法在我国气象台站中经常使用,但是降水距平百分率对平均值的依赖性较大,对于降水时空分布极不均匀的西北地区不宜使用统一的降水距平百分率标准。

1.1.3 降水 Z 指数 由于某一时段的降水量一般并不服从正态分布,假设其服从 Person-III 型分布,通过对降水量进行正态化处理,可将概率密度函数 Person-III 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布,公式为:

$$Z = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \Phi + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (6)$$

式中: Φ 为降水的标准化变量; C_s 为偏态系数,其计算公式为

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R)^3}{nS^3} \quad (7)$$

式中: n 为样本数; S 为样本均方差。

Z 指数是对不服从正态分布的变量经过正态化处理以后而得到的,因而对于降水时空分布不均匀的西北地区可使用。张存杰等^[14]在对 Z 指数的旱涝等级划分标准进行修正后,提出西北地区 Z 指数分级标准见表 2。

表 2 西北地区 Z 指数分级标准

Table 2 The standard grade of drought and flood with Z index in northwest of China

等级 Grade	Z 值 Z Value	旱涝类型 Damage type
1	$Z > 1.6485$	重涝 Heavy water logging
2	$1.0364 < Z \leq 1.6485$	大涝 Middle water logging
3	$0.5244 < Z \leq 1.0364$	偏涝 Light water logging
4	$-0.5244 < Z \leq 0.5244$	正常 Normal
5	$-1.0364 < Z \leq -0.5244$	偏旱 Light drought
6	$-1.6485 < Z \leq -1.0364$	大旱 Great drought
7	$Z < -1.6485$	重旱 Severe drought

1.1.4 Bhal me-Mooley 干旱指标 Bhal me 与 Mooley 在 1980 年提出了 BMDI 指标^[15],其表达式为:

$$BMDI = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n i_k \quad (8)$$

$$i_k = c_1 i_{k-1} + c_0 p_k \quad (9)$$

其中: p_k 是第 k 个月的标准化降水量; c_1 和 c_0 为参数,可以通过历史旱涝资料来估算。BMDI 为干旱指标,当 BMDI 满足 $-1.0 < BMDI < 1.0$, $-2.0 < BMDI < -1.0$, $-3.0 < BMDI < -2.0$, $-4.0 < BMDI < -3.0$, $BMDI < -4.0$ 时的干旱程度分别为正常,轻旱,中旱,大旱,极旱。

Bogard 等曾采用该指标研究了不同环境模式对干旱现象的影响,并认为 BMDI 指标仅考虑了降水量,可视为 Palmer 指标的简化形式^[19]。BMDI 指标

采用 n 个月的降水量资料, 这比采用年降水量的指标更加合理, 因为它考虑了降水量的年内分配。

1.1.5 标准化降水指标

$$SPI = \pm \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (10)$$

式中: t 为累积概率的函数; c 、 d 均为系数; 当累积概率小于 0.5 时取负号, 否则取正值。

Hayes^[17] 使用 SPI 监测美国的干旱得到了很好的效果, 但是 SPI 假定了所有地点旱涝发生概率相同, 无法标识频发地区, 此外没有考虑水分的支出。

1.1.6 下次降水平均等待时间(AWTP) 梁巧倩等在对广东冬半年干旱进行分析的过程中, 以无降水日作为统计日, 引入了下次降水平均等待时间(AWTP)^[18], 以表述干旱的指数。对于给定时间长度为 L 的时间序列, 有:

$$AWTP = \sum_{i=1}^N \left| F(I) \times \sum_{j=1}^I \left[J \times \frac{1}{L} \right] \right| \quad (11)$$

式中: I 为相邻两次降水的干期(无降水期)(d); N 为该时间序列出现的最长干期(d); $F(I)$ 为在 L 天内出现长度为 I 的干期次数。

AWTP 反映了时段里干期持续时间及它们在整个时间序列中分布的综合效果, 可以用来衡量平均干期的长短或干旱的轻重程度。但 AWTP 只是用来描述干旱(趋势)程度的指数, 而不是用于描述降水的多少或旱涝, 并且对于 AWTP 值划分干旱等级的标准还有待于进一步探讨。综上所述, 各项降水指标在描述和分析特定干旱方面具有各自的特点和优势, 但由于降水指标只考虑了降水, 没有考虑农作物、下垫面及其它相关因素的影响情况, 因此, 难以判别干旱的起迄时期等。

1.2 降水量和气温

1.2.1 德马顿(De martonne) 干旱指标

$$I = R / (T + 10) \quad (12)$$

式中: I 为德马顿(De martonne) 干旱指标; R 为月降水量; T 为月平均气温^[19]。

李建芳等在对宝鸡地区干旱进行分析时, 根据德马顿(De martonne) 的干旱指标, 提出湿润指数 m 作为干旱的判据。其计算公式:

$$m = R [T + (T + 10)] \quad (13)$$

式中: R 为月降水量; T 为月平均气温。并且确定该月 $m < 2$ 时为干旱月。

1.2.2 降水温度均一化指标 降水温度均一化指标(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:

$$I_s = \frac{R - \bar{R}}{\sigma_R} - \frac{T - \bar{T}}{\sigma_T} \quad (14)$$

式中: R 为时段降水量; \bar{R} 为多年平均降水量; σ_R 为降水量均方差; T 为时段平均气温; \bar{T} 为多年平均气温; σ_T 为气温均方差。

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, 高温将加剧干旱地发展或导致异常干旱, 反之将抑制干旱地发生与发展, 从气温对干旱地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^[20]。

2 农业干旱指标

农业干旱的发生有着及其复杂的机理, 在受到各种自然因素如降水、温度、地形等影响的同时也受到人为因素的影响, 如作物布局、作物品种及生长状况等。因此, 农业干旱指标涉及到大气、作物、土壤环境等因子。

2.1 降水量指标

在地下水位较深且无灌溉条件的旱作农业区, 基于降水的指标基本能够反映农业干旱的发生程度, 一般采用的指标为降水距平百分率、无雨日数及百分比法等, 此类指标资料容易获取, 计算方便, 但是不能直接反映农作物遭受干旱的程度。

2.2 土壤含水量指标

农作物生长的水分主要靠根系直接从土壤中吸取, 土壤水分变化是影响作物生长发育的主要因子。常用的土壤水分指标是根据土壤水分平衡原理和水分消退模式计算各个生育时段土壤含水量, 并以作物不同生长状态下(正常、缺水、干旱等)土壤水分的试验数据作为判定指标, 预测农业干旱是否发生^[21]。

2.2.1 土壤湿度 土壤湿度是指土壤水分重量占干土重的百分数, 土壤相对湿度是土壤湿度占田间持水量的百分比。用土壤相对湿度作干旱指标时, 干旱程度界定为: 土壤相对湿度 s_d 满足 $s_d < 60\%$, $s_d < 50\%$, $s_d < 40\%$ 时的干旱程度分别为轻旱, 中旱, 大旱。

2.2.2 土壤有效水分存储量 土壤某一厚度层中存储的能被植物根系吸收的水分叫土壤有效水分存储量 s , 当 s 小到一定程度植物就会发生凋萎, 因此可以用它来反映土壤的缺水程度及评价农业旱情。公式如下:

$$s = 0.1(w - w_w) \theta \quad (15)$$

式中: w 为土壤湿度; w_w 为凋萎湿度; ρ 为土壤容重; h 为土层厚度。

该指标范围需要根据土质、作物和生长期的具体特性决定。

2.3 作物旱情指标

利用作物生理生态特征的突变和最优分割理论而建立的反映农业干旱程度的作物旱情指标已得到广泛应用,是目前国内外普遍认可的直接反映作物水分供应状况的最灵敏的指标^[22,23]。这类指标可以分为作物形态指标和作物生理指标两大类,作物形态指标是定性地利用作物长势、长相来进行作物缺水诊断的指标;作物生理指标是包括利用叶水势、气孔导度、产量、冠层温度等建立的指标。

作物冠层温度与其能量的吸收与释放过程有关,作物蒸腾过程的耗热将降低其冠层温度值。水份供应充足的农田冠层温度值低于缺水时冠层温度值。因此,农田冠层温度可作为作物旱情诊断指标。一般采用的形式有:农田冠层温度的变异幅度、与供水充足对照区的冠层温度差和冠层-空气温度差。遥感及卫星资料的应用加速了其技术的发展^[24]。

Moran 等^[23]在能量平衡双层模型的基础上,建立了水分亏缺指数 WDI (Water deficit index):

$$WDI = \frac{(T_s - T_a) - (T_s - T_a)_m}{(T_s - T_a)_x - (T_s - T_a)_m} \quad (16)$$

式中: $(T_s - T_a)_m = c_0 - c_1(SAVI)$; $(T_s - T_a)_x = d_0 - d_1(SAVI)$; T_s 为地表混合温度; T_a 为空气温度; $(T_s - T_a)_m$ 和 $(T_s - T_a)_x$ 分别为地表与空气温差的最小值和最大值; SAVI 为植被指数; c_0, c_1, d_0 和 d_1 可以利用植被指数-温度关系梯形解除。WDI 采用地表混合温度信息,引入植被指数变量,成功地扩展了以冠层温度为基础的作物缺水指标在低植被覆盖下的应用及其遥感信息源。

2.4 作物需水指标

作物需水量是指土壤水分充足、作物正常发育状况下,农田消耗与作物蒸腾和株间土壤蒸发的总水量。目前国内外常用方法是计算出标准蒸散量,再经过作物需水系数的订正,算出实际作物需水量。标准蒸散量是指不匮乏水分、高度一致并全面遮覆地表的矮小绿色植物群体的蒸散量。在各种计算方法中,常用联合国粮农组织(FAO)推荐的“改进的彭曼(Penman)公式”。

2.4.1 积分湿度指标 元来福定义了一个定量而又比较简单的积分湿度指标^[29]:

$$I = \sum_{i=1}^n K \times T_i \sum_{i=1}^n T_i \quad (17)$$

式中: I 为年内月平均气温 $> 0^\circ\text{C}$ 时期的积分湿度指标; T_i 为月平均气温; n 为月平均气温 $> 0^\circ\text{C}$ 的月

数; K 为月湿润指数, $K = R/0.16 \sum t$; 其中, R 是月降水量, $\sum t$ 是大于 0°C 的月积温。0.16 是根据灌溉试验资料确定的,在干旱地区可取小一点,在湿润地区可取大一点。用它评价全国范围内自然降水对农业需水的满足程度和干旱程度,结果定量客观。但只适用于月平均气温 $> 0^\circ\text{C}$ 时期,难以评价北方冬季干旱状况。

2.4.2 供需水比例指标 王密侠等在陕西省作物旱情预报系统的研究中提出修订的作物供需水比例指标^[27],其公式为:

$$K_d = \frac{P + G + W_1 - W_0 + I}{(W_2 - W_0) + ET} \quad (18)$$

式中: K_d 为作物旱情指标; P 为时段降雨量; G 为时段内地下水补给量; W_1 为时段初作物根系活动层内土壤含水量; W_2 为时段末作物根系活动层内土壤适宜含水量; W_0 为作物根系活动层内土壤凋萎含水量; I 为时段内灌溉量; ET 为时段内充分供水条件下作物潜在需水量。

当干旱指标 $K_d \geq 1.0$ 时,表示农田水分满足作物水分需求外尚有盈余; $K_d < 1.0$ 时,表示农田水分对作物供应出现亏缺,作物可能受旱, K_d 越小受旱程度越重。

这一指标考虑了多种水分因素对作物干旱的影响,概念明确,所用参数为常规气象监测资料,使用较方便。

2.4.3 农作物水分综合指标 农作物水分综合指标公式如下:

$$D = \frac{P - R_e + \rho_0/\rho_g + R_g}{E_0 + \rho_m/\rho_g} \quad (19)$$

式中: P 为作物生长期降雨量; R_e 为径流量及深层渗漏雨量; ρ_0 为作物生长初期根系层土壤含水量; ρ_g 为每 1 mm 降水量增加的土壤含水量; R_g 为地下水补给量; E_0 为可能蒸散发量; ρ_m 为适应作物正常生长所需土壤含水量。

农作物水分指标 D 满足 $D > 1.3, 0.8 < D < 1.3, 0.5 < D < 0.8, D < 0.5$ 时的干旱程度分别划分为水分过多、正常、半干旱、干旱。

这个指标综合考虑了水量平衡的各个因素,并与农作物需水量相关联,在我国旱作农业区应用较广,但它的缺点同样是某些参数难以确定。

2.5 Palmer 指标

Palmer 指标是一种被广泛用于评估旱情的干旱指标。该指标不仅列入了水量平衡概念,考虑了降水、蒸散、径流和土壤含水量等条件;同时也涉及到一系列农业干旱问题,考虑了水份的供需关系,具有

较好的时间、空间可比性。用该指标的方法基本上能描述干旱发生、发展直至结束的全过程。因此,从形式上用Palmer方法可提出最难确定的干旱特性,即干旱强度及其起迄时间。Palmer于1965年在原有研究成果的基础上,提出了PDSI干旱指标^[28,29]:

$$PDSI = K_j d \quad (20)$$

$$d = P - P_0 = P - (\alpha P_E + \beta P_R + \lambda P_{R0} - \sigma P_L) \quad (21)$$

$$K_j = 17.67 K' / \sum DK' \quad (22)$$

$$K' = 1.1g \{ (P_E + R + R_0) / (P + L) + 2.8 / D \} + 0.5 \quad (23)$$

式中: P 为实际降水量; P_0 为气候上所需要的降水量; P_E 为可能的蒸散量; P_R 为可能土壤水补给量; P_{R0} 为可能径流量; P_L 为可能损失量; R 为土壤水实际补给量; R_0 为实际径流量; L 为实际损失量; D 为各月 d 的绝对值的平均值; α 、 β 、 γ 、 σ 分别为各项的权重系数,它们依赖于研究区域的气候特征。

3 结语

干旱指标是否能够描述干旱的强度、范围和起止时间;是否包含明确的物理机制,充分考虑降水、蒸散、径流、渗透以及土壤特性等因素对水分状况的影响;是否具有实用性等,是判断干旱指标的重要条件。由于干旱自身的复杂特性和对社会影响的广泛性,某一个干旱指标很难达到时空上普遍适用的条件,干旱指标大都是建立在特定的地域和时间范围内,有其相应的时空尺度,因此,在研究区域干旱时必须选择适宜区域范围的指标。

由于篇幅所限,文中所列气象、农业干旱指标有很大的局限性,在干旱监测预警中须分区域、分类建立修订指标。

参考文献:

- [1] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions [A]. Wilhite D A. Drought: A Global Assessment [C]. London & New York: Routledge, 2000. 3—18.
- [2] 秦大河, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国西部生态环境变化与对策建议 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 314—319.
- [3] 宋连春, 邓振镛, 董安祥, 等. 干旱 [M]. 北京: 气象出版社, 2003. 54—55.
- [4] 谭桂容, 孙照渤, 陈海山. 旱涝指数的研究 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(2): 153—158.
- [5] 张强, 李淑华. 三种干旱指标的比较和新指标的确定 [J]. 气象科技, 1998, (2): 48—52.
- [6] 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.
- [7] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望 [J]. 地球科

学进展, 2004, 19(6): 982—991.

- [8] 王玲玲, 康玲玲, 王云璋. 气象、水文干旱指标计算方法研究概述 [J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(3): 15—18.
- [9] American Meteorological Society. Meteorological drought Policy statement [J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1997, 78: 847—849.
- [10] 冯平, 李绍飞, 王仲钰, 等. 干旱识别与分析指标综述 [J]. 中国农村水利水电, 2002, (7): 13—15.
- [11] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究 [J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26—32.
- [12] 杨青, 李兆元. 干旱半干旱地区的干旱指数分析 [J]. 灾害学, 1994, 9(2): 12—16.
- [13] 冯利华. 干旱等级和旱灾程度的定量表示法 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(3): 230—231.
- [14] 张存杰, 王宝灵, 刘德祥, 等. 西北地区旱涝指标的研究 [J]. 高原气象, 1998, 17(4): 381—386.
- [15] Bahlme H N, Mooley. Large scale drought flood and monsoon circulation [J]. Mon Weather Rev, 1980. 108.
- [16] Bogard H, Matgasovszky I. A hydroclimatological model of aerial drought [J]. Journal of Hydrology, 1994, 153(1—4): 245—264.
- [17] Hayes M J, Svoboda M D, Wilhite D A, et al. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1999, 80: 429—438.
- [18] 梁巧倩, 简茂球. 干旱指数AWTP在广东冬半年干旱分析中的应用 [J]. 广东气象, 2001, (4): 7—9.
- [19] 李建芳, 李建军, 陈卫东. 宝鸡地区的干旱研究 [J]. 陕西农业科技, 2002, (7): 16—19.
- [20] 吴洪宝. 我国东南部夏季干旱指数研究 [J]. 应用气象学报, 2000, 11(2): 137—144.
- [21] 孙荣强. 旱情评定与灾情指标的探讨 [J]. 自然灾害学报, 1994, 3(3): 49—55.
- [22] 宋凤斌, 徐世昌. 玉米抗旱性鉴定指标的研究 [J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 127—129.
- [23] Duff G A, Myers B A, Williams R J, et al. Seasonal patterns in soil moisture, vapour pressure deficit, tree canopy cover and pre-dawn water potential in a northern Australian savanna [J]. Australian journal of Botany, 1997, 45(2): 211—224.
- [24] 袁国富, 唐登银, 罗毅, 等. 基于冠层温度的作物缺水研究进展 [J]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 49—54.
- [25] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y, et al. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index [J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 49: 246—263.
- [26] 元来福, 王继琴. 从农业需水量评价我国的干旱状况 [J]. 应用气象学报, 1995, 6(3): 356—360.
- [27] 王密侠, 胡彦华. 陕西省作物旱情预报系统的研究 [J]. 西北水资源与水工程, 1996, 7(2): 52—56.
- [28] Panler W C. Meteorological Drought Research paper 4 [R]. us: Weather Bureau, 1965.
- [29] Palmer W C. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index [J]. Weatherwise, 1968, 21: 156—161.

(英文摘要下转第211页)

Protective cultivation technology research and practice of minor grain crops

FENG Bai li¹, DAI Hui ping¹, CHAI Yan¹, XUE Shao ping², ZHU Rui xiang²

(1. Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract : As our country's characteristic agricultural product, minor grain crops has vast market prospects. This paper analyzes existing problem of drought, wind and soil erosion, soil fertility decline; advances the technology system of protective cultivation on minor grain crops; Put forward research ideas and directions in order to solving the problems of research applications. The research has great guiding significance in promoting the standardization of the technology of protective cultivation on minor grain crops, the increase of farmers' incomes, the protection of the ecological environment of the minor grain crops producing area, and the realization of the sustainable development of minor grain crops.

Key words : minor grain crops; protective cultivation techniques; cultivation systems

(上接第 189 页)

Overview of meteorological and agricultural drought indices

YAO Yu bi^{1,2}, ZHANG Cun jie¹, DENG Zhen yong¹, DONG An xiang¹,

ZHANG Xiu yun², WEI Feng², YANG Jin hu²

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change, Reducing Disaster of Gansu Province,

China Meteorological Administration Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological

Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Meteorological Bureau of Dingxi, Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract : Meteorological and agricultural drought indices are main index system to measure and evaluate drought. This paper introduces meteorological drought indices in aspect of precipitation, precipitation and temperature, and agricultural drought indices in aspect of soil water, crop ravages by drought, crop required water, proportion of supply and required water, and crop moisture. Formulas for computing meteorological and agricultural indices are listed, computation method and grade criterion also are introduced. In addition, difficulty degree in collecting data, merit and shortcoming, applicability and suitable area of every index are commented, which provides basis for measuring, evaluating, forecasting and researching drought.

Key words : drought indices; meteorological drought; agricultural drought