

气象与农业业务化干旱指标的研究与应用现状

李星敏^{1,2}, 杨文峰³, 高 蓓², 付万明²

(1 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, 甘肃 兰州 730020;

2 陕西省农业遥感信息中心, 陕西 西安 710015; 3 陕西省气象台, 陕西 西安 710015)

[摘 要] 分析了国内目前干旱监测业务中使用的气象干旱指标、农业干旱指标和逐日动态干旱指标的构成要素, 讨论了各指标揭示的干旱机理及其在各地使用的效果, 并提出了干旱指标的研究正朝着多因子综合、能够用于动态监测并与地理信息系统结合的方向发展。

[关键词] 气象干旱指标; 农业干旱指标; 逐日动态干旱指标

[中图分类号] S163+.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)07-0111-06

Study and application of the operational meteorology and agriculture drought indexes in China

LI Xing-min^{1,2}, YANG Wen-feng³, GAO Bei², FU Wan-ming²

(1 Lanzhou Institute of Arid Meteorology, the Gansu Key Laboratory of Arid Climate Changing and reducing Disaster, Lanzhou,

Gansu 730020, China; 2 Remote Sensing Information Center for Agriculture of Shaanxi province, Xi'an 710015, China;

3 Shaanxi Meteorology Observatory, Xi'an 710015, China)

Abstract: Based on analyzing the components of meteorology drought indexes, agriculture drought indexes and dynamic monitoring indexes which are used in drought monitoring and service, this paper discussed the principle and mechanism of these indexes and the application effects in different areas. At present, the study on the drought indexes are developing toward integration factors, which can be used for dynamic monitor drought and be combined with geographical information system.

Key words: meteorological drought index; agriculture drought index; daily dynamics drought index

干旱是指水分的收与支或供与求不平衡形成的水分盈亏现象。其发生频率高、分布广、面积大、持续时间长, 每次严重的旱灾都会给工农业生产带来巨大损失。尤其是 20 世纪下半叶以来, 随着全球气候变暖、冰川大面积退缩, 干旱问题已直接或间接地影响到人类的生存和生活质量, 对可持续发展构成了十分严重的威胁, 干旱化问题已日益引起人们的高度重视。

在对干旱的研究和旱情的评价中, 最关键的问题是明确干旱定义和确定干旱指标。对干旱指标的研究, 很多学者已作了大量的研究工作, 但由于影响

干旱的因素很多, 干旱造成的影响也是多方面的; 再加上研究的目标和研究区域不同, 所建立的指标各有侧重。为了更好地了解干旱发生的机理, 袁文平等^[1]对气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱这 4 种类型干旱指标的理论进行了分析; 王密侠等^[2]对农业干旱指标的研究进行了分析。综合目前已研究的干旱指标可以看到, 由于干旱是一个复杂的复杂过程, 用 1 个指标全面地描述干旱是非常困难的。根据不同的研究目标, 选择适宜的干旱指标来预测、评估旱情的发生、发展和变化情况, 才能更好地为水资源的合理利用和科学抗旱提供依据。本

* [收稿日期] 2006-06-09

[基金项目] 中国气象局兰州干旱气象研究所基金项目(IAM200509); 陕西省科学技术研究发展计划项目(2005 K01-G24)

[作者简介] 李星敏(1968-), 女, 甘肃武威人, 高级工程师, 主要从事遥感与应用气象业务与研究。

文对我国各地气象干旱和农业干旱指标及气象与农业逐日动态干旱监测指标的研究和应用现状进行了分析,以期为更好地研究干旱指标和客观地分析评估干旱提供依据。

1 气象干旱指标

造成干旱的根本原因是水分短缺,主要原因有两方面:一是降水不足,二是高温、地面风速等的影响又加剧了地面水分的蒸发。气象干旱指标主要是从降水、蒸发等方面定义和描述干旱,根据指标涉及的因子可以将气象干旱指标分为单因子指标和多因子指标。

1.1 单因子指标

1.1.1 降水距平百分率 该指标反映了降水与同期平均状态的偏离程度。其优点是方法简单,意义明确;不足之处是未考虑降水的分布特征,因此不适用于时空尺度的旱涝等级对比分析。可用下式计算:

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

式中: I_{pa} 为降水距平百分率, R 为某时段降水量, \bar{R} 为同一时段多年平均降水量。

1.1.2 标准差指标^[3] 该指标的优点是简单易行,但未考虑降雨量在年内分配不均匀这一特性,即:

$$k = (R - \bar{R}) / \quad (2)$$

式中: k 为标准差, R 为某时段降水量, \bar{R} 为同一时段多年平均降水量,为降雨量的均方差。

1.1.3 无雨日数 以连续无降水的日数来确定的干旱指标。该指标简便直观,可以用来衡量平均干期的长短和干旱(趋势)程度。黄德星^[4]用作物生长期的连续无雨日数研究了作物干旱。

1.1.4 标准化降水指数(SPI) 由于降水分布是一种偏态分布,所以在降水分析中,采用分布概率来描述降水量的变化,然后再经正态标准化求得SPI值:

$$SPI = S \frac{t - (c_1 t + c_2) t + c_0}{((d_3 t + d_2) t + d_1) t + 1.0} \quad (3)$$

式中: $t = \sqrt{\ln \frac{1}{P}}$,其中 P 为概率; S 为系数,且当 $P > 0.5$ 时, $S = 1$,当 $P < 0.5$ 时, $S = -1$;式中各系数如下:

$$c_0 = 2.515\ 517, c_1 = 0.802\ 853, c_2 = 0.010\ 328;$$

$$d_1 = 1.432\ 788, d_2 = 0.189\ 269, d_3 = 0.001\ 308.$$

标准化降水指数对应的各干旱等级可根据中国气象局下发的“干旱监测和影响评价业务规定”划

分。

1.1.5 Z指数 Z指数是假设某时段的降水量服从Person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型分布转换为以Z为变量的标准正态分布。公式为:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left[\frac{C_s}{2} X_i + 1 \right]^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (4)$$

式中: Z_i 为样本 i 的Z指数, i 为样本序号, X_i 为降水的标准化变量, C_s 为偏态系数,即约翰逊(Johnson)偏度系数,计算公式为:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^3}{n^3} \quad (5)$$

式中: n 为样本数, R_i 为样本 i 的降水量, \bar{R} 为同一时段降水的多年平均值,为降水量的均方差。

根据Z变量的正态分布曲线,确定其相应的Z界限值及对应的干旱指标。据黄道友等^[5]和王志伟等^[6]的研究,中国北方地区和南方地区Z界限值及对应的干旱指标是不同的。

程炳岩等^[7]在分析了干旱指标在河南的应用后认为,利用降水Z指数评定干旱程度时,干旱指数界限值的确定应考虑干旱过程发生频率的季节与时空变化。袁文平等^[8]将标准降水指数SPI与Z指数比较分析后认为,SPI消除了降水的时空分布差异,能有效地反映旱涝状况,优于Z指数。苏志等^[9]分析了广西1959~1996年各月的降水资料,分别用干旱指数(降雨总量和有效雨日数据的标准化之和)、湿度指标、降水距平百分率和Z指数4种旱涝指标进行统计分析,并作了相互比较认为,降水距平百分率作为单站旱涝指标效果最优。

以上研究表明,在不同地区、不同的分析方法对干旱的描述是有差异的。气象干旱指标,抓住了引起干旱的主要因子是降水缺少,但仅从降水情况并不能完全反映干旱的程度。

1.2 多气象要素结合的干旱指标——多因子指标

1.2.1 相对湿度指数(M_i) 相对湿度指数指某时段降水量与同一时段有植被地段最大可能蒸发量相比的百分率,计算公式为:

$$M_i = \frac{R - E}{E} \quad (6)$$

式中: R 为某时段的降水量, E 为某时段的可能蒸散量,用彭曼(Penman)或桑斯威特(Thornthwaite)方法计算。相对湿度指数反映了降水供给的水量与最大水分需要量的关系。利用相对湿度指数划分干旱等级,在不同地区和不同时间尺度也有较大差

别。与相对湿度指数相对应的干燥度,也可以用来表示干旱的程度。

1.2.2 降水温度均一化指标 该指标考虑了气温对干旱发生的影响。

$$Z_q = K_1 \frac{T}{\sigma_t} - K_2 \frac{R}{\sigma_R} \quad (7)$$

式中: Z_q 是降水温度均一化指标, T 为温度距平, R 为降水距平, σ_t 为温度标准差, σ_R 为降水标准差, K_1 和 K_2 是权重系数。一般地,在其他条件相同时,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。但气温对干旱的影响程度随地区和时间不同, K_1 和 K_2 在不同地区也是不同的。吴洪宝^[10]利用此指标分析了我国东南部的干旱指数;刘德祥等^[11]在式(7)基础上加入 $K_3 \frac{P}{\sigma_P}$ 项(P 、 σ_P 分别为前期降水及其标准差, K_3 是权重系数),考虑了前期降水对当前干旱的影响。

1.2.3 德马顿(De. martonne)干旱指标 该指标同样考虑了降水和温度对干旱的影响。

$$I = \frac{R}{T + 10} \quad (8)$$

式中: I 为德马顿干旱指标, R 为月降水量, T 为月平均气温。

1.2.4 标准化降水和温度指标 张强等^[12]分析了降水距平百分率、降水温度均一化指标和标准化降水指标对描述北京地区旱情的优缺点,得出了综合考虑标准化降水指标和温度的新指标,计算公式为:

$$I_{RT} = SPI - \frac{T - \bar{T}}{\sigma_T} \quad (9)$$

式中: I_{RT} 为标准化降水和温度指标, SPI 为标准化降水指标, σ_T 为系数, T 为某时段平均气温, \bar{T} 为该时段多年平均气温, σ_T 为气温均方差。依此指标确定的北京地区的干旱年份与实际基本相符^[12]。

1.2.5 对数形式的干旱等级指标 冯利华^[13]从风力和地震等级公式的结构得到启示,认为干旱指标所选用的特征量应能反映事物的本质,所计算的等级应便于普通百姓的理解和记忆,并能够准确地传递干旱信息,为此设计了如下干旱指标:

$$N = \lg I_{pa} T_i + b \quad (10)$$

式中: N 为干旱等级, I_{pa} 为降水距平百分率, T_i 为干旱的持续时间, a 、 b 均为待定参数。

冯利华^[13]在分析以往大量干旱数据的基础上得出: $a = 4$, $b = -9$;同时拟定:当 $N \geq 8$ 级时为巨旱, $6 \leq N < 8$ 级时为重旱, $4 \leq N < 6$ 级时为中旱, $N < 4$ 级时为轻旱。

1.2.6 严重干旱的评估方法 庄锡潮等^[14]利用蒸发量、月有雨日数、月无雨日数和降水量,建立了综合描述浙江省严重干旱的指标,并在表述浙江省的干旱中取得了较好的效果。计算公式为:

$$F_i = D r_i - E_i D r_i \quad (11)$$

$$E_i = \left[\frac{R_i}{D r_i} - L_i \right] \frac{1}{L_i} \quad (12)$$

$$L_i = \bar{L}_i \frac{T_i}{\bar{T}_i D_i} \quad (13)$$

式中: F_i 为严重干旱日数的估计指标; i 为月序数(1, 2, 3, ..., 12); $D r_i$ 为月无雨日数; $D r_i$ 为月雨日数; R_i 为月降水量; L_i 为 i 月经气温订正后的平均日蒸发量的估计值, \bar{L}_i 为月蒸发总量的累年月平均值; $R_i / D r_i$ 为有雨日中的日平均降水量; E_i 为负值,说明降水量不抵蒸发量,有可能会发生干旱; T_i 为月平均气温; \bar{T}_i 为累年月平均气温; D_i 为月天数。 F_i 可考虑 1 个月为一时段,也可多个月累加计算 F_i 值。

2 农业干旱指标

农业干旱是指农作物体内水分发生亏缺影响正常生长发育的一种农业气象灾害。因此,农业干旱的评判标准应是作物体内水分含量是否影响到作物的生长发育过程。气象干旱发生时并不一定就有农业干旱,以色列虽然气候干旱,但其耕地中灌溉面积的 90% 以上实现了喷灌甚至滴灌,根本不会发生农业干旱^[15]。表述农业干旱的指标主要有以下 9 种。

2.1 土壤湿度

土壤湿度是使用最为广泛的农业干旱指标,一般以土壤水分质量占干土质量的百分数来表示(也有以土壤水分的容积占土壤总体积的百分数来表示的)。用其作干旱指标时,干旱程度的界限可以根据不同的作物来确定。土壤湿度干旱指标使用起来比较方便,可以直观地表示作物生长的供水状况。

2.2 供需水比例指标^[3]

这一指标考虑了多种水分因素对作物干旱的影响,但有些因素,如径流深较难计算,这给其推广应用造成了困难。

$$K_w = \frac{R - R_a - R_g - R_s}{D_w} \quad (14)$$

式中: K_w 为供需水比例指标, R 为时段降雨量, R_a 为前期降雨量, R_g 为时段补给深层的地下水量, R_s 为时段地表径流量, D_w 为作物在同一时段的需水量。该指标 K_w 满足 $K_w \geq 1.0$, $0.7 < K_w < 1.0$,

0.4 $K_w < 0.7$, $K_w < 0.4$ 时的干旱程度分别为正常、轻旱、中旱和大旱。

2.3 农作物水分指标

该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,在我国旱作农业区应用较广,但其缺点同样是某些参数难以确定^[3]。

$$D_k = \frac{R - R_g + W_0/W_g + R_d}{E_0 + W_m/W_g} \quad (15)$$

式中: D_k 为农作物水分指标, R 为作物生长期降雨量, R_g 为径流量的深层渗漏雨量, W_0 为作物生长初期根系层土壤含水量, W_g 为每 1 mm 降水量增加的土壤含水量, R_d 为地下水补给量, E_0 为可能蒸散发量, W_m 为适应作物正常生长所需的土壤含水量。将农作物水分指标 D_k 满足 $D_k > 1.3$, $0.8 < D_k < 1.3$, $0.5 < D_k < 0.8$, $D_k < 0.5$ 时的干旱程度分别划分为水分过多、正常、半干旱和干旱。

2.4 温度差指标^[3]

以每日 13:00~15:00 时的作物冠层温度与气层温差值作为干旱指标。

$$S_w = \sum_{n=1}^N (T_c - T_a) \quad (16)$$

式中: S_w 为植物水分亏缺指数, n 为作物冠层温度高于气温时的起始日期, N 为 S 值达到预定缺水指标时的天数, T_c 为作物冠层温度(冠温), T_a 为作物顶层以上 2.0 m 处的气温。当土壤含水量减小到某一值以下时,作物冠层温度就开始高于气温,连续 N 天正值温差累加大于 S 时,表示农田缺水。该指标的优点在于其可以与遥感技术相结合,通过遥感技术迅速而准确地测得大面积作物的冠温,对旱情进行评价。

2.5 作物干旱指标

$$I_c = (R - E_0) / D_w \quad (17)$$

式中: I_c 为干旱指标, R 为同期降水量, E_0 为可能蒸散量, D_w 为同期作物需水量。当降水量小于可能蒸散量,即说明此阶段农田水分供应不足,植物出现缺水;当此值达到某一临界值时,即出现干旱。缺水值占同期农作物需水量比例越大,表明干旱程度越重^[16]。

马延庆等^[17] 利用气候适宜降水量和水分供求差,分析了农田和作物干旱形成的条件及其发展规律,建立了适合陕西渭北旱塬地区特点的旱情指标模式。

此外,卞传恂等^[18] 考虑了土壤的降水、蒸发、下渗和径流,依据水分平衡计算土壤缺水量,并确定出相应的干旱指标。

2.6 减产程度干旱指标^[19]

$$CSDI = Y / Y_m \quad (18)$$

式中: Y 为作物实际产量, Y_m 为作物最大产量。 $CSDI$ 反映的是由于缺水导致的作物减产程度,其值越小,则减产率越大,旱情越严重。据袁国富等^[20] 的研究,当 $CSDI > 0.9$, $0.7 \sim 0.9$, $0.4 \sim 0.7$, $0.2 \sim 0.4$, < 0.2 时,分别对应为不早、轻旱、中旱、重旱和特大旱;并用此指标对京津冀平原地区一年两熟条件下农业干旱进行了时空分析,认为该指标可更直接、更准确地反映农业实际旱情。但袁国富等^[20] 提出的计算方法仅适用于半湿润半干旱地区,在干旱半干旱地区不适用。

2.7 综合农业干旱指标^[21]

$$D_i = (R_i + W_{\alpha} + R_{wi} + R_{di} - R_{si} - R_{gi}) / (D_{wi} + W_{mi}) \quad (19)$$

式中: D_i 为生育期的农业干旱指标, i 为作物生育期, R_i 为该生育期降水量(mm), W_{α} 为该生育期初作物根系层土壤有效含水量(mm), R_{wi} 为该生育期对作物的灌溉水量(mm), R_{di} 为该生育期地下水补给根系层水量(mm), R_{si} 为该生育期地面径流量(mm), R_{gi} 为该生育期深层渗漏量(补给地下水量)(mm), D_{wi} 为该生育期作物需水量(mm), W_{mi} 为该生育期作物生长适宜土壤含水量(mm)。当 $D_i = 0.9$ 时,为 1 级干旱; $D_i = 0.8$ 时,为 2 级干旱; $D_i = 0.7$ 时,为 3 级干旱……依此类推,可根据作物生育期农业干旱指标,考虑不同生育期缺水对产量影响的敏感性差异,建立作物全生育期旱情评价模型。

2.8 有效含水量指标

$$K_0 = \frac{D}{W_H - W_p} = \frac{W_H - W}{W_H - W_p} \quad (20)$$

式中: W_H 和 W_p 分别为 1 m 土层中的田间持水量和凋萎湿度; $W_H - W_p$ 为土壤有效水分最大含量; W 为土壤含水量,用月初和月末土壤含水量的平均值表示。干旱指数的分级为:当 $K_0 = 0 \sim 0.44$ 时为无旱, $K_0 = 0.45 \sim 0.79$ 时为轻旱, $K_0 = 0.80 \sim 1$ 时为重旱。

2.9 缺余水量指标

对于指定地区,某一作物在某一生长期的缺余水量方程为:

$$D_q = D_w - R - R_w \quad (21)$$

式中: D_q 为作物缺水量, D_w 为作物需水量, R 为降水量, R_w 为灌溉水量。可计算作物生长期缺水率为 $v = D / X$,将 v 与实际旱灾程度建立关系,作为模拟旱情的依据。徐向阳等^[22] 利用此指标对徐州市不

同作物的受灾程度和受灾面积进行了模拟,取得了较好的效果。

此外,魏瑞江等^[15]选用自然降水量与作物需水量作比较,以自然降水量低于作物需水量的多少作为评价秋作物干旱的标准,并与遥感距平植被指数差、土壤湿度等评价指标结合,对河北夏旱进行评价,取得了较好的效果。

3 逐日动态干旱指标

3.1 综合干旱指数 C_i

该指数是以标准化降水指数、相对湿润指数和降水量为基础建立的一种综合指数。

$$C_i = SPI_3 + M_3 + SPI_9 \quad (22)$$

式中: C_i 为综合干旱指数; SPI_3 、 SPI_9 分别为前30 d和90 d的标准化降水指数; M_3 为前30 d的相对湿润度指数;、、为权重系数,分别取为0.4、0.8和0.4。

通过 C_i 的计算式,利用逐日平均气温、降水量,可滚动计算每天综合干旱指数 C_i ,进行逐日实时干旱监测。

气象综合干旱指数 C_i 主要用于实时干旱监测、评估。当 $-0.6 < C_i$ 时,为无旱; $-1.2 < C_i < -0.6$ 时,为轻旱; $-1.8 < C_i < -1.2$ 时,为中旱; $-2.4 < C_i < -1.8$ 时,为重旱; $C_i < -2.4$ 时,为特旱。

3.2 旱涝动态指标 Z_x 指数

朱炳瑗等^[23]认为,某一日旱涝指标 Z_x 值的计算,可以采用前30 d的资料,公式为:

$$Z_x = 0.5 Z_1 + 0.4 Z_2 + 0.1 Z_3 \quad (23)$$

式中: Z_1 为监测日往前第1个10 d段的 Z 值, Z_2 为往前第2个10 d段的 Z 值, Z_3 为往前第3个10 d段的 Z 值。用监测日前3旬不同权重系数确定的 Z_x 指数作为逐日旱涝实时动态监测旱涝指标,不但能准确地反映农田水分状况,而且能比较准确地反映旱涝起止日期,从而能揭示旱涝等级的演变和发展过程^[23]。

3.3 干旱动态评估指标

田宏等^[24]在土壤水分盈亏理论基础上,建立了干旱动态评估指标,该指标具有清晰明确的物理意义,综合考虑了降水、温度、地理纬度、季节等主要因子对干旱的影响,使干旱的评估不仅具有时间上的可比性,还具有空间上的可比性(具体计算略)。

4 Palmer 干旱指标

Palmer 指标是一种重要的综合干旱指标。该

指标考虑了降水、蒸散、径流和土壤含水量等条件及水分的供需关系,能够反映干旱的起因、程度、发生、发展和持续时间,在国内外具有广泛影响。自20世纪70年代引入我国后,安顺清等^[25-26]许多学者对其在我国的应用作了修正,由于该指标源于美国,指标中的参数需要根据我国的实际情况作进一步的调整和完善^[27]。

5 干旱指标的评述与研究展望

5.1 干旱指标的评述

(1)气象干旱指标主要从天气状况出发,抓住了干旱形成的主要因子,围绕干旱形成过程中降水和蒸发的多少或温度的高低来定量地表达干旱,具有大范围监测干旱及不同地区旱情具有可比性等优点。但由于气象干旱指标没有考虑下垫面的水分需求状况,不能准确表达出干旱造成的影响。

(2)人们主要从农田、农作物水分平衡或干旱对农作物的影响,如降水、蒸发、温度等方面对农作物的干旱程度作了研究,并提出了相应的干旱指标,但这些指标中有一些参数很难获得,某些指标与当地作物种植制度有关,不便于大范围推广应用。

(3)大多数干旱指标描述的是固定时段的干旱状况,不能反映干旱的动态变化过程。动态的干旱指标可以表达干旱的累积效应,更好地描述干旱的发生、发展和变化规律,为抗旱决策提供依据。

(4)干旱及其影响是一个复杂的综合过程,在描述与评价干旱时应综合考虑干旱的表达和对各个方面的影响,单靠一种指标或某一种模式全面表述干旱和揭示干旱的机理是很困难的。对干旱的理解应综合考虑各个方面的因素和影响;在使用干旱指标时,还应该注意干旱指标所描述的干旱机制、时间尺度和地域的局限性,应根据不同的适用范围选择合适的指标。

5.2 干旱指标的研究展望

5.2.1 基于干旱形成机理的多因子指标 虽然不能用一种指标来全面描述干旱的发生、发展及干旱造成的影响,但干旱指标的研究正在逐步完善,从考虑单一因子到多因子的干旱指标,从单一地考虑土壤水分含量到考虑土壤水分平衡的农业干旱指标,对干旱的描述越来越准确。目前,对干旱指标的研究更加重视干旱形成的机理,就农作物干旱指标来说,可以根据作物的生长模型,按不同作物在不同生育期的水分需求,制定能准确反映干旱影响的干旱指标,同时提出抗旱决策依据。

5.2.2 综合动态干旱指标 干旱过程是一个动态持续的过程,通过对旱情动态变化过程的及时了解,适时调整抗旱措施。动态干旱指标不仅能描述已经发生干旱的严重程度,而且能表述干旱发生、发展的变化过程,更好地为抗旱决策提供服务。

5.2.3 与地理信息系统技术结合的综合干旱指标体系 气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱,这 4 种类型的干旱都有各自的指标体系,可以就某一方面对干旱作出详细地描述,但不能给决策者以总体印象和同时解决各方需水的决策支持系统。地理信息系统技术可以综合考虑综合下垫面的水分收支状况、植被覆盖、蒸散、土壤水分传输、径流和下渗、水库、人口、耕地等因素,全面反映和分析干旱造成的影响。因此,探求综合的精细化的干旱综合评价指标体系,应该也是干旱指标体系和干旱评价的方向。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 冯平,李绍飞,王仲珏. 干旱识别与分析指标综述[J]. 中国农村水利水电,2002(7):13-15.
- [4] 黄德星. 三明市干旱指标与规律的探讨[J]. 水利科技,2001(4):14-15.
- [5] 黄道友,彭廷柏,王克林,等. 应用 Z 指数方法判断南方季节性干旱的结果分析[J]. 中国农业气象,2003,24(4):12-15.
- [6] 王志伟,翟盘茂. 中国北方近 50 年干旱变化特征[J]. 地理学报,2003,58(增刊):61-68.
- [7] 程炳岩,钱晓燕,朱业玉. 河南干旱指标的客观性研究[J]. 河南气象,2001(1):32-33.
- [8] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [9] 苏志,李艳兰,黄雪松. 广西旱涝指标的初步研究[J]. 广西气象,1998,19(2):26-32.
- [10] 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.
- [11] 刘德祥,王宝灵,瞿汶. 甘肃省服务干旱指标的初步研究[J]. 甘肃气象,1998,16(3):17-20.
- [12] 张强,鞠笑生,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.
- [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):230-236.
- [14] 庄锡潮,张文坚,王镇铭. 浙江省严重干旱灾情评估方法和研究[J]. 浙江气象科技,2000,21(4):22-25.
- [15] 魏瑞江,李春强,姚树然. 农业气象、遥感和农业信息在夏旱灾损评估中的应用[J]. 气象科技,2000(1):41-44.
- [16] 李书睿,刘敏,倪国裕. 用“条件”水分平衡法分析湖北省干旱的时空分布规律[J]. 长江流域资源与环境,1995,4(3):264-270.
- [17] 马延庆,刘长民. 渭北旱塬农田旱情分析与抗旱增产途径研究[J]. 西北农业学报,1997,6(4):69-72.
- [18] 卞传恂,黄永革,沈思跃,等. 以土壤缺水量为指标的干旱模型[J]. 水文,2000,20(2):5-10.
- [19] 王晓红,乔云峰,沈荣开,等. 灌区干旱风险评估模型研究[J]. 水科学进展,2004,15(1):77-81.
- [20] 袁国富,吴连海. 京津冀平原地区一年两熟条件下农业干旱时空分析[J]. 中国农业气象,2000,21(2):5-9.
- [21] 傅学功,高文海,胡新锁,等. 衡水地区农业旱情综合评价[J]. 水文,1998(1):47-52.
- [22] 徐向阳,刘俊,陈晓静. 农业干旱评估指标体系[J]. 河海大学学报,2001,29(4):56-60.
- [23] 朱炳瑗,谢金南,邓振镛. 西北干旱指标研究的综合评述[J]. 甘肃气象,1998,16(1):35-36.
- [24] 田宏,徐崇浩,彭骏,等. 四川盆地干旱动态评估指标的研究[J]. 气象,24(4):11-15.
- [25] 安顺清,邢久星. 修正的帕默尔干旱指数及其应用[J]. 气象,1985,11(12):17-19.
- [26] 安顺清,邢久星. 帕默尔旱度模式的修正[J]. 气象科学研究院院刊,1986,1(1):75-81.
- [27] 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.