

旱年模糊评价方法及其应用*

冯民权¹, 荣丰涛², 周孝德¹

(1 西安理工大学 水利水电学院水力学所, 陕西 西安 710048; 2 山西省水利科学研究所, 山西 太原 030002)

[摘要] 在分阶段水分生产函数的基础上, 建立了旱情与旱年的模糊评价方法。按照模糊方法, 以梯形形式建立隶属函数。对某一作物在某一年份, 根据 K_λ 值计算隶属函数进行旱情评价。以该作物的产值占各种作物产值之和的比重作为权重, 计算旱年的综合评价向量进行旱年评价。最后用该方法对山西省的分区旱年进行评价, 评价结果与旱灾结果对应良好, 说明该方法是切实可行的。

[关键词] 旱情; 旱年; 模糊方法; 隶属函数; 旱灾

[中图分类号] S165+.25

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)03-0102-05

干旱是农业生产的大敌。建国以来, 农业抗旱能力有了很大提高, 但主要集中在农业干旱的治理上, 在系统地总结和 research 农业干旱的自然特点、发展规律方面还是一个极其薄弱的环节。从而使得抗旱减灾工作很难摆脱盲目性和主观随意性。随着集约、持续、高效农业的发展, 迫切要求全面系统地总结和揭示农业干旱的特点和规律, 以便探索减轻干旱的途径和对策。

目前在农业干旱的评价问题上, 无论是有关农业干旱基本概念的表述还是评价方法和指标体系的建立皆存在一些不同的见解与问题。相关因子比值体系只反映了各时段的气象特征, 与农作物的需水量未直接发生关系。供需水量比值体系虽在指标中包括了农作物的需水量, 但无法对全生育期的旱情给出一个明确的总体综合评价等级。作物全生育期的总体旱情评价指标抹杀了因供水分配时间不同而导致的后果。另外, 对一个评价区还需要有一个兼顾各种不同季节作物的统一评价指标, 用来评价这一年的农业气象条件。

本文提出了旱情与旱年的模糊评价方法, 并将其应用于山西省的分区旱年评价。

1 旱情与旱年评价方法

1.1 旱情评价方法

旱情指在作物生育期内, 由于土壤水分供应不

足, 农作物的实际腾发量达不到潜在腾发量, 从而受旱, 出现水分胁迫, 使作物的生长受到抑制的情况。

旱情评价建立在 1968 年 Jensen 提出的分阶段水分生产函数的基础上^[1], 即

$$K_\lambda = \frac{Y}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_i}{ET_{mi}} \right)^{\lambda_i} \quad (1)$$

式中, K_λ 为某一作物敏感指数型旱情评价指标; Y , Y_m 分别为作物在全生育期各生长阶段实际腾发量的组合 $\{ET_1, ET_2, \dots, ET_n\}$ 及 $\{ET_{m1}, ET_{m2}, \dots, ET_{mn}\}$ 情况下的产量; ET_i, ET_{mi} 分别为某一作物在第 i 个生长阶段的实际腾发量与潜在腾发量; λ_i 为作物在第 i 个生长阶段的敏感性指数。敏感性指数随作物及具体生长阶段而异, 应通过灌溉试验确定。

用敏感指数型旱情评价指标体系的 K_λ 值评价作物是否受旱或受旱的严重程度, 应给 K_λ 划定属于‘极重旱’、‘轻旱’或‘不旱’的取值范围^[2]。由于干旱程度属模糊概念, 因此采用模糊数学的方法进行评价。

按照模糊方法, 以梯形形式建立隶属函数如图 1。

当 $j=1$ 时,

$$\mu_j(K_\lambda) = \begin{cases} 1; & (K_\lambda \leq K_1) \\ \frac{K_2 - K_\lambda}{K_2 - K_1}; & K_1 < K_\lambda < K_2 \end{cases}$$

* [收稿日期] 2001-05-30

[作者简介] 冯民权(1964-), 男, 山西永济人, 高级工程师, 博士, 主要从事水旱灾害与计算流体力学的研究。

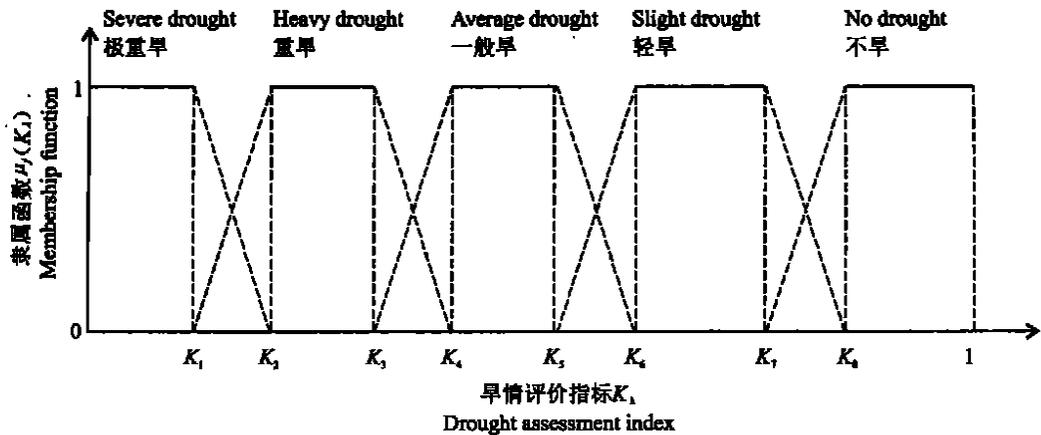


图 1 隶属函数图

Fig. 1 Membership function

当 $j = 2, 3, 4$ 时

$$\mu_j(K_\lambda) = \begin{cases} \frac{K_\lambda - K_{2j-3}}{K_{2j-2} - K_{2j-3}}, & (K_{2j-3} < K_\lambda < K_{2j-2}) \\ 1, & (K_{2j-2} < K_\lambda < K_{2j-1}) \\ \frac{K_{2j} - K_\lambda}{K_{2j} - K_{2j-1}}, & (K_{2j-1} < K_\lambda < K_{2j}) \end{cases}$$

当 $j = 5$ 时,

$$\mu_j(K_\lambda) = \begin{cases} \frac{K_\lambda - K_7}{K_8 - K_7}, & (K_7 < K_\lambda < K_8) \\ 1, & (K_\lambda > K_8) \end{cases}$$

式中, $j = 1, 2, \dots, 5$ 分别对应于“极重旱”、“重旱”、“一般旱”、“轻旱”、“不早”; K_1, K_2, \dots, K_8 是隶属函数的 8 个界限值, 在 0~1 依次由小到大取值。

从以上各隶属函数图及方程式可见, 隶属函数值最大为 1, 最小为 0。对某一作物在某一指定年份按照降雨及播前旱地墒情计算出 K_λ 值, 代入各隶属函数求出 $\mu(K_\lambda)$ 值, 旱情级别的 $\mu(K_\lambda)$ 大, 则该年该作物的旱情隶属于这一干旱级别的程度越高, 该作物的旱情即为这一干旱级别。

1.2 旱年评价

除了建立评价作物旱情的指标体系外, 农业生产上也要求针对某一特定的评价区建立宏观评价某一年度农业干旱程度的指标体系, 或简称为评价旱年的指标体系。

1.2.1 单因素评价矩阵 $r_{ij} = \mu_{ij}(K_\lambda)$,

式中, i 为农作物编号, $i = 1, 2, \dots, n$; j 为旱情严重程度编号; $\mu_{ij}(K_\lambda)$ 为第 i 种作物某一年度的 K_λ 值代入第 j 种旱情严重程度隶属函数式所求得的隶属函数值。

1.2.2 权重向量 对于一个评价区来说, 往往一年

内不同季节农作物的受旱程度是不相同的, 评价该区这一年的旱情应当兼顾各种不同季节的农作物, 考虑夏粮和秋粮旱情之不同。因此, 权重的计算应考虑作物当年的播种面积及其在国际市场上的价格, 以农作物产值为基础。

$$W_i = \frac{A_i Y_i C_i}{\sum_{k=1}^n A_k Y_k C_k} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中, W_i 为第 i 种作物的权系数; A_i 为第 i 种作物在评价区当年播种面积 (hm^2); Y_i 为第 i 种作物在评价区农业生产条件下获丰收时单位面积产量 (kg/hm^2); C_i 为第 i 种作物的价格 (元/kg)。

计算综合评价向量

$$DY = W \cdot R = (W_1, W_2, \dots, W_n) \begin{Bmatrix} \mu_{11}(K_\lambda) & \mu_{12}(K_\lambda) & \dots & \mu_{1m}(K_\lambda) \\ \mu_{21}(K_\lambda) & \mu_{22}(K_\lambda) & \dots & \mu_{2m}(K_\lambda) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{n1}(K_\lambda) & \mu_{n2}(K_\lambda) & \dots & \mu_{nm}(K_\lambda) \end{Bmatrix}$$

$$= \left[\sum_{i=1}^n W_i \mu_{i1}(K_\lambda), \sum_{i=1}^n W_i \mu_{i2}(K_\lambda), \dots, \sum_{i=1}^n W_i \mu_{im}(K_\lambda) \right],$$

$$\text{即 } DY_j = \sum_{i=1}^n W_i \mu_{ij}(K_\lambda). \quad (3)$$

式中, i 为农作物编号, $i = 1, 2, \dots, n$; j 为旱情严重程度编号, $j = 1, 2, \dots, m$; W 为权重向量。若 DY_j 最大, 则被评价年度属于第 j 类旱年。

2 应用

本文以山西省为例进行旱年评价。

2.1 数据库的建立

全省农业干旱的分析与评价按流域水系和行政

区域划分为 19 个分区,以各分区为单元,在各分区选择典型县为分析评价的对象^[3,4]。时间从 1955~1990 年。作物旱情分析上夏收作物以冬小麦和春小麦为对象,秋粮以玉米为代表,经济作物以棉花为代表^[5]。

建立 4 个数据库:冬小麦、春小麦、玉米、棉花,分别记为 DXM, CXM, YM 和 MH。数据库里记录了区号、年份、县名、旱情评价指标 K_{λ} 值、作物播种面积 A 值的信息。 K_{λ} 值来自逐年各作物旱情评价模型计算结果, A 值取自统计年报。DXM, CXM, YM, MH 数据库里分别有 14 个区 22 个县 792 条记录;7 个区 12 个县 432 条记录;19 个区 30 个县 1080 条记录;9 个区 16 个县 576 条记录。

2.2 数据库的整理

对同一区不同县的敏感指数型旱情评价指标

表 1 旱情评价指标界限值

Table 1 The critical value of drought assessment index

K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
0.15	0.20	0.35	0.40	0.55	0.60	0.75	0.80

表 2 旱年评价结果

Table 2 The results of drought year assessment

年份 Year	分区 Division																		
	II2-1	II3-3	II3-4	II3-11	II3-14	IV4-5	IV4-6	IV4-7	IV4-8	IV5-13	IV5-14	IV5-15	IV5-17	IV5-18	IV5-19	IV6-2	IV6-3	IV6-4	IV6-5
1955	H	A	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	Se	H	A	S1	H
1956	A	S1	S1	No	No	H	A	A	A	S1	S1	No	S1	S1	A	No	No	No	A
1957	A	A	A	A	A	A	H	H	H	A	A	A	H	H	Se	A	H	No	H
1958	A	S1	A	A	A	A	A	S1	H	A	S1	A	A	H	H	S1	No	No	A
1959	A	S1	A	A	A	A	S1	A	S1	A	A	S1	H	H	H	A	S1	S1	A
1960	H	A	H	A	A	Se	H	H	H	H	A	H	H	H	H	S1	A	A	H
1961	A	A	A	A	A	A	A	A	H	A	A	H	H	H	H	A	A	S1	H
1962	H	H	H	A	A	H	H	A	H	A	A	H	H	H	H	A	H	S1	A
1963	H	A	A	No	S1	A	A	No	A	No	No	S1	A	S1	A	No	No	No	S1
1964	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	A	S1	S1	A	S1	A	S1	A	No	S1	No	S1
1965	H	H	H	A	A	H	H	H	S1	H	H	H	H	A	A	A	H	H	A
1966	A	S1	A	S1	S1	A	A	S1	H	A	S1	S1	A	H	H	S1	S1	No	H
1967	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	H	H	H	H	H	A	A	S1	S1
1968	H	A	H	A	A	H	H	H	H	A	A	H	H	H	H	A	A	S1	H
1969	A	S1	A	S1	A	A	S1	S1	A	H	S1	No	A	S1	A	A	No	A	S1
1970	A	S1	A	A	S1	A	H	H	S1	A	A	H	A	A	H	No	S1	S1	H
1971	A	H	A	S1	No	A	A	H	A	H	A	A	Se	H	H	No	No	S1	H
1972	Se	H	Se	H	A	H	H	H	H	H	H	Se	H	H	H	A	A	A	A
1973	A	S1	A	S1	S1	A	A	A	H	A	A	A	A	H	H	S1	S1	A	A
1974	A	H	H	H	H	A	H	H	H	H	H	H	H	H	H	A	A	A	H
1975	H	H	H	A	S1	A	H	A	A	A	A	A	A	A	A	No	S1	S1	A
1976	A	A	A	S1	S1	S1	A	A	A	A	A	A	H	A	A	S1	A	S1	A
1977	H	A	S1	No	A	Se	A	A	H	A	S1	S1	S1	H	Se	S1	S1	S1	H
1978	H	A	H	A	A	Se	H	A	H	A	A	H	H	H	Se	A	A	A	H
1979	A	A	A	A	A	A	A	A	H	A	A	A	A	H	H	S1	A	A	A
1980	H	A	A	H	A	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	A	S1	S1	H
1981	A	A	A	A	A	A	A	A	H	A	A	A	A	A	H	S1	A	A	H

K_{λ} 值取其算术平均值,作为该区当年的 K_{λ} 值;对同一区不同县的播种面积 A 值求和作为该区当年该种作物的 A 值;当某区既有冬小麦,又有春小麦时,二者的播种面积 A 值各取夏粮作物播种面积的一半。以这种方法编程序对 4 个数据库分别进行整理,得到新的数据库。分别记为 DXM 1-1, CXM 1-1, YM 1-1 和 MH 1-1。

2.3 计算综合评价向量

计算中丰收条件下各种作物单位面积的产量 Y_i 取平均潜在产量,作物价格 C_i 采用当前作物进口到岸价格加销售、运输价格。

2.4 计算结果

采用的旱情评价指标界限值见表 1。计算结果见表 2。

续表 2 Continue table 2

1982	A	S1	A	A	A	A	A	H	H	A	A	A	H	H	H	A	A	No	H
1983	A	S1	A	S1	A	A	H	H	A	A	A	A	A	H	H	A	S1	S1	H
1984	H	H	H	A	A	A	A	A	H	H	A	H	A	H	A	A	S1	S1	A
1985	A	A	A	A	A	H	H	S1	H	A	A	A	A	A	A	A	S1	S1	A
1986	H	S1	H	H	H	H	H	H	A	H	H	H	H	A	H	H	A	A	A
1987	A	No	A	A	A	H	H	A	H	A	A	A	A	H	H	A	A	A	H
1988	A	S1	A	S1	S1	A	A	S1	S1	S1	S1	S1	S1	H	H	A	H	S1	A
1989	H	H	A	A	A	H	A	A	H	H	A	A	H	H	H	No	H	A	A
1990	A	S1	A	S1	S1	S1	H	A	A	A	A	A	A	A	H	S1	S1	S1	S1

注: Se 代表极重旱; H 代表重旱; A 代表一般旱; S1 代表轻旱; No 代表不旱。

Note: Se means severe drought; H means heavy drought; A means average drought; S1 means slight drought; No means no drought

2.5 检 验

旱年评价结果是否合理需用旱灾进行检验。旱灾是指在作物全生育期内的当地农业生产条件下, 由于农作物受旱减产而造成的灾害。

旱灾评价指标体系为

$$k_{dy} = 1 - \frac{Y}{\bar{Y}} \quad (4)$$

式中, k_{dy} 为评价旱灾的产量指标; Y 为评价区评价年度的实际农业生产总产量(一般为粮食总产量); \bar{Y} 为评价区在评价年度的农业生产条件和技术水平下, 处于中等水文年应达到的农业生产总产量。

评价标准见表 3, 这是全国统一标准。

旱情与旱年是不考虑人类抗旱活动, 以单纯农业气象的自然属性对农业危害程度进行评价, 而旱

灾指标体系是以当年农业生产的实际结果为对象进行评价。因此, 旱年结果一般应等于或轻于旱灾结果。这样的对应是合理的。旱年评价结果与旱灾结果分区对应关系见表 4。

表 3 评价旱灾的产量指标体系的等级标准

Table 3 The grade criterion of yield index for drought damage assessment

k_{dy}	旱灾等级名称 Grade name of drought damage
> 0.5	极重旱 Severe drought
$0.3 \sim 0.5$	重旱 Heavy drought
< 0.3	轻旱 Slight drought
0	不旱 No drought

表 4 旱年评价结果与旱灾结果分区对比

Table 4 The division results of drought year contrasted to that of drought damage

分 区 Division	极重旱 Severe drought	重旱 Heavy drought	一般旱 Average drought	轻旱 Slight drought	不旱 No drought	合理数 Rational number	合理率/% Rational percent
II 2-1	1	13	21	1	0	36	100
II 3-3	0	8	14	13	1	35	97.2
II 3-4	1	10	22	3	0	36	100
II 3-11	0	5	19	9	3	36	100
II 3-14	0	3	22	9	2	35	97.2
IV 4-5	3	11	19	3	0	29	80.6
IV 4-6	0	17	16	3	0	35	97.2
IV 4-7	0	13	17	5	1	35	97.2
IV 4-8	0	21	10	5	0	35	97.2
IV 5-13	0	11	21	3	1	34	94.4
IV 5-14	0	7	22	6	1	35	97.2
IV 5-15	1	13	14	6	2	35	97.2
IV 5-17	1	17	15	3	0	36	100
IV 5-18	0	24	8	4	0	36	100
IV 5-19	4	23	9	0	0	36	100
IV 6-2	0	2	18	9	7	34	94.4
IV 6-3	0	5	14	12	5	/	/
IV 6-4	0	1	11	17	7	33	91.7
IV 6-5	0	16	15	5	0	36	100
合计 Total	11	220	307	116	30	627	96.8

由表 4 可知, 19 个分区 1955~ 1990 年共 684 个点中, 合理对应占到 96.8%。在不合理对应关系

中, 1/3 的点集中于IV4-5 分区, 而该分区是 19 个分区中最小的分区之一, 只包括右玉 1 个县; 另外注意到旱灾的作物产量取自统计年报, 这种统计资料由于各种影响因素的复杂性不一定十分准确。因此从总体情况看, 对应结果良好, 说明本研究提出的旱年模糊评价方法是切实可行的。

3 讨 论

根据气象预报的降雨情况, 该方法可对未来短期的旱情发展进行初步预测。

首先将作物生长阶段划分为若干时段, 第 i 生长阶段 j 时段的作物实际腾发量按下式计算:

$$ET_{ij} = X_{1ij} - X_{2ij} + p_{ij}t_{ij}\theta \quad (5)$$

式中, X_{1ij} 为第 i 生长阶段 j 时段初的土壤有效水量

(mm), $X_{2ij} = 10\gamma H(\theta_{ij} - \theta_{wp})$; X_{2ij} 为第 i 生长阶段 j 时段末的土壤有效水量 (mm), $X_{2ij} = 10\gamma H(\theta_{ij} - \theta_{wp})$; t_{ij} 为第 i 生长阶段 j 时段初的时间 (d); p_{ij} 为第 i 生长阶段 j 时段内平均降雨强度有效值, 由预报降雨量得到 (mm/d); θ_{ij} 为第 i 生长阶段 j 时段初的土壤含水率; θ_{wp} 为第 i 生长阶段 j 时段末的土壤含水率; γ 为根系层土壤干容重 (t/m^3); H 为作物根系层深度 (m); θ_{wp} 为作物根系层土壤的凋萎点含水率 (以干土重的百分数表示)。

第 i 生长阶段的总实际腾发量为

$$ET_i = \sum_j ET_{ij} \quad (6)$$

然后可求出 K_{λ} , 进而进行旱年初步预测评价。

[参考文献]

- [1] Jensen M E. Water consumption by agricultural plants[A]. Kozlowski T T. Water Deficits and Plant Growth[C]. New York: Academic Press, 1976. 1- 22.
- [2] 荣丰涛, 王仰仁, 李常煜, 等. 关于农业旱情评价问题的研究[J]. 水科学进展, 1994, 5(增刊): 48- 52.
- [3] 荣丰涛, 史红英. 山西农业干旱区划水分亏缺分界值的合理确定[J]. 山西水利科技, 1995, (1): 25- 29.
- [4] 荣丰涛, 李润虎, 史红英, 等. 山西省农业干旱区划标准及方法的研究[R]. 太原: 山西省水利科学研究所, 1999. 1- 25.
- [5] 李常煜, 荣丰涛, 冯民权. 山西省农业抗旱水平的分析[J]. 山西水利科技, 1995, (2): 1- 6.

Fuzzy assessment method and it's application in drought year

FENG M in-quan¹, RONG Feng-tao², ZHOU Xiao-de¹

(1 College of Hydraulic and Hydroelectronic Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Shanxi Hydraulic Institute, Taiyuan, Shanxi 030002, China)

Abstract: On the basis of sub-stage water-yield function, this paper proposes the fuzzy assessment method for drought and drought year. The trapezoid membership function is constructed by fuzzy method. According to the K_{λ} value, the membership function is computed and the drought is assessed. Taking the ratio of output of a crop to that of all crops as the weighted factor, we can calculate the composite assessment vector and assess drought year. The method is used in division drought year assessment in Shanxi province. The result of assessment is in good agreement with the drought damage data. It is shown that the method is practicable.

Key words: drought; drought year; fuzzy method; membership function; drought damage