

农业干旱程度概率分布的研究*

邱林¹, 陈晓楠², 段春青², 黄强²

(1 华北水利水电学院 设备处, 河南 郑州 450008;

2 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

[摘要] 分析了目前各种农业干旱评估指标的不足, 建立了能反映干旱给农业造成损失大小的农业干旱评估指标量化模型。利用该农业干旱程度评估模型, 通过模拟和非参数检验对农业干旱程度的概率分布进行了研究, 并利用河南省濮阳市实际资料, 计算了当地农业干旱程度的概率分布。

[关键词] 农业干旱程度; 概率分布; 评估指标; 非参数检验

[中图分类号] S11⁺ 3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)03-0105-04

气象灾害是最主要的自然灾害, 其造成的经济损失约占各种自然灾害总损失的70%以上, 干旱灾害的损失又占气象灾害损失的50%左右^[1]。干旱灾害的损失之所以如此严重, 是因为干旱发生的频率高、范围广、持续时间长、后延影响大。因此, 干旱问题一直是有关方面专家研究的热点, 并且已经取得了不少成果^[2~4]。

目前, 国内外研究农业干旱的方法多是制定出各种各样的干旱评估指标^[5], 如土壤湿度指标、土壤有效水分存储量指标、供需水比例、农作物水分指标和温度指标等。但这些指标只能将旱情简单地划分成轻旱、中旱、重旱等几个程度, 并不能定量、连续地描述旱情, 也不能直接反映干旱给农业造成的损失, 更没有对农业干旱程度的概率分布进行研究探讨。一个全面、完善的农业干旱评估模型, 应该既能科学、定量地分析农业干旱程度, 又能够反映出农业干旱程度的概率分布^[6]。本研究试图引入干旱给农业造成损失这一评估指标, 建立相关模型, 并利用模拟和非参数检验对农业干旱程度的概率分布进行研究, 以为农业干旱程度的定量评价提供依据。

1 评估模型的建立

作物干旱是指农作物耗水大于吸水, 体内水分过度亏缺而受损的现象^[7]。农业干旱评估指标最重要是应正确反映干旱给农业造成的损失大小, 按照此思路可以建立如下的农业干旱程度评估模型:

$$D r = \sum_{i=1}^n (D r)_i \cdot W_i = \sum_{i=1}^n \left\{ 1 - \prod_{j=1}^{t_i} \left[\frac{(W_c)_{ij}}{(W_N)_{ij}} \right]^{\lambda_{ij}} \right\} \cdot W_i \quad (1)$$

式中, $D r$ 为农业干旱程度; $(D r)_i$ 为第 i 种作物的干旱程度; $(W_N)_{ij}$ 为作物 i 第 j 个生育阶段的需水量 (mm); $(W_c)_{ij}$ 为作物 i 第 j 个生育阶段的可供水量 (mm); λ_{ij} 为作物 i 第 j 个生育阶段的敏感系数; W_i 为作物 i 的权重, 可依据作物经济损失的大小确定^[8]; n 为作物种类总数; t_i 为第 i 种作物生育阶段总数。

2 农业干旱程度概率分布

2.1 蒙特卡罗研究方法

由于年降水量的随机性, 每年农业的干旱程度也是随机的, 是年降水量的随机变量函数。由年降水量的概率分布(本文研究不考虑引水灌溉条件下的农业干旱程度概率分布), 利用农业干旱程度评估模型, 将得出农业干旱程度即农业损失程度的概率分布及其数字特征。

设年降水量为 R , R 为服从于某一 p -III型分布的随机变量。另设该地区共有 n 种作物, 第 i 种作物有 t_i 个生育阶段。由 m 年的降水资料, 可统计得出作物 i 每年第 j 个生育阶段时降水量占全年降水量的比例 k_{ij}^t ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, t_i; t=1, 2, \dots, m$), 则有

* [收稿日期] 2004-04-26
[基金项目] 河南省高校创新人才培养工程项目(HNCX2003-17)
[作者简介] 邱林(1960-), 男, 四川内江人, 教授, 博士, 主要从事水资源系统管理研究。

$$\bar{k}_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m k_{ij}^r \quad (2)$$

式中, \bar{k}_{ij} 为作物 i 第 j 个生育阶段时的平均降水比例系数。则 $(W_c)_{ij}$ 可表示为:

$$(W_c)_{ij} = (P_0)_{ij} + G_{ij} + (w_0)_{ij} = \alpha \cdot \bar{k}_{ij} \cdot R + G_{ij} + (w_0)_{ij} \quad (3)$$

式中, $(P_0)_{ij}$ 为作物 i 第 j 个生育阶段的有效降水量

$$\begin{cases} (w_0)_{i1} = 1000 \times H_{i1} \times \eta \times (\Theta)_{i1} \\ (w_0)_{ij} = [(w_0)_{i,j-1} + (P_0)_{i,j-1} + G_{i,j-1} - (ET)_{i,j-1}] \times (1 + \frac{H_{ij} - H_{i,j-1}}{H_{i,j-1}}), j = 2, \dots, t_i \end{cases} \quad (4)$$

式中, H_{ij} 为作物 i 第 j 个生育阶段时的土壤计划湿润层深(m); η 为计划湿润层内土壤的空隙率(以占土壤体积的百分数计); $(\Theta)_{i1}$ 为作物 i 第 1 个生育阶段的土壤含水率(以占土壤空隙体积的百分数计); $(ET)_{i,j-1}$ 为作物 i 第 $j-1$ 个生育阶段的腾发量(mm)。

另有

$$(W_N)_{ij} = (ET)_{ij} + (w)_{ij} \quad (5)$$

式中, $(W_N)_{ij}$ 为作物 i 第 j 个生育阶段时的需水量(mm); $(ET)_{ij}$ 为作物 i 第 j 个生育阶段的腾发量(mm); $(w)_{ij}$ 为作物 i 第 j 个生育阶段时所允许的最小土壤贮水量(mm)。

由式(2)~(5)计算出 $(W_c)_{ij}$ 和 $(W_N)_{ij}$ 后, 利用式(1)即可推求出农业的干旱程度, 这样由一个降水量 R , 可以计算得到对应的农业干旱程度 D_r 。编制程序, 由蒙特卡罗方法^[9]随机生成容量为 M (M 足够大)的研究区降水量样本数据 R_1, R_2, \dots, R_M 。对于任意一个样本数据 R_i , 由式(1)~(5)计算出相应的农业干旱程度, 这样就可以得到 M 个农业干旱程度的样本数据。任意给定农业干旱程度 D_r , 即可由式(6)计算得出这 M 个样本数据中大于等于 D_r 的数据出现的频率, 即

$$F(D_r) = \frac{M_1}{M} \quad (6)$$

式中, $F(D_r)$ 为给定干旱程度 D_r 所对应的频率; M_1 为 M 个样本数据中大于等于 D_r 的数据个数。当 M 很大时, $F(D_r)$ 可近似看作是农业干旱程度 D_r 的概率分布函数。农业干旱程度 D_r 的期望和方差可由下面(7), (8)式进行计算, 即

$$E(D_r) = \frac{\sum_{i=1}^M D_{r_i}}{M} \quad (7)$$

$$D(D_r) = \frac{\sum_{i=1}^M [D_{r_i} - E(D_r)]^2}{M - 1} \quad (8)$$

(mm); α 为降水量入渗系数, 一般认为一次降水量小于 5 mm 时, $\alpha=0$, 当一次降水量在 5~50 mm 时, $\alpha=0.1 \sim 0.8$, 当一次降水量大于 50 mm 时, $\alpha=0.7 \sim 0.8$; R 为年降水量(mm); G_{ij} 为作物 i 第 j 个生育阶段时的可供地下水量(mm); $(w_0)_{ij}$ 为作物 i 第 j 个生育阶段时的土壤初始贮水量(mm)。 $(w_0)_{ij}$ 可由下面公式进行计算, 即

2.2 非参数假设检验方法

本文采用非参数假设检验方法即 Shapiro-Wilk W 检验, 对农业干旱程度的分布进行研究。W 检验是 Shapiro 与 Wilk 于 1965 年提出的, 要求样本容量 $M=3 \sim 50$, 由于其是正态性检验, 故利用这种检验方法可以检验一批观测值或随机数是否来自同一正态分布。检验问题为 H_0 : 总体服从正态分布; H_1 : 总体不服从正态分布。W 检验步骤为:

1) 将观测值(随机数)按非降次序排列成 $X_{(1)} \dots X_{(M)}$ 。

2) 按公式^[10]

$$W = \frac{\left\{ \sum_{k=1}^{\left[\frac{M}{2} \right]} a_k(W) [X_{(M+1-k)} - X_{(k)}] \right\}^2}{M \sum_{k=1}^M (X_{(k)} - \bar{X})^2} \quad (9)$$

计算统计量 W 的值。上式中 $a_k(W)$ 可以查表得到。

3) 对给定的显著性水平 α 和样本容量 M , 可以查表得到 W_α 。

4) 若 $W < W_\alpha$, 则拒绝 H_0 , 否则不拒绝 H_0 。

利用研究地区的实际降水系列, 统计出每年的 $(P_0)_{ij}$ ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, t_i$), 即每年各种作物各生育期内的降水量, 利用式(1)~(5)计算得出研究地区实际的农业干旱程度系列, 然后运用 W 检验, 判断该地区农业干旱程度是否服从正态分布。

3 算例

利用河南省濮阳市渠村灌区的资料来研究当地农业干旱程度的概率分布。灌区内的主要作物为小麦、玉米和棉花, 当地的降水参数为 $C_v=0.29, C_s=0.58, EX=578$, 其他数据按当地的气象、地质和人文等资料计算整理后列于表 1~4。

表 1 灌区土壤初始贮水量和作物权重

Table 1 Initial water storage of soil and weights of crops in irrigation area

作物 Crop	初始土壤贮水量/mm Initial water storage of soil	权重 Weight	作物 Crop	初始土壤贮水量/mm Initial water storage of soil	权重 Weight
小麦 Wheat	60	0.45	棉花 Cotton	80	0.16
玉米 Corn	60	0.39			

表 2 小麦各生育阶段的计算参数

Table 2 Parameters of wheat in every growth phase

生育阶段 Phase	敏感系数 Sensitive coefficient	腾发量/mm Evapotranspiration	计划土壤湿润层深度/mm Depth of planned wet layer of soil	允许最小土壤贮水量/mm Allowed minimum water storage of soil	降水比例/% Proportion of precipitation
播种-分蘖 Planting-tillering	0.1156	43.546	0.3	27	7.410
越冬 Overwintering	0.1146	74.852	0.3	27	2.312
返青 Revegetation	0.1105	47.795	0.4	27	2.685
拔节 Jointing	0.3148	97.139	0.5	27	3.362
抽穗-成熟 Tassel-ripening	0.2454	216.43	0.6	36	15.2

表 3 玉米各生育阶段的计算参数

Table 3 Parameters of corn in every growth phase

生育阶段 Phase	敏感系数 Sensitive coefficient	腾发量/mm Evapotranspiration	计划土壤湿润层深度/mm Depth of planned wet layer of soil	允许最小土壤贮水量/mm Allowed minimum water storage of soil	降水比例/% Proportion of precipitation
播种-拔节 Planting-revegetation	0.1754	94.903	0.3	27	34.4
抽穗 Tassel	0.3420	72.709	0.5	27	16.8
灌浆-成熟 Grouting-ripening	0.2301	169.745	0.6	36	15.1

表 4 棉花各生育阶段的计算参数

Table 3 Parameters of cotton in every growth phase

生育阶段 Phase	敏感系数 Sensitive coefficient	腾发量/mm Evapotranspiration	计划土壤湿润层深度/mm Depth of planned wet layer of soil	允许最小土壤贮水量/mm Allowed minimum water storage of soil	降水比例/% Proportion of precipitation
幼苗 Bud	0.039	40.339	0.4	44	4.455
现蕾 Showing bud	0.1238	234.18	0.5	48	19.0
开花-结铃 Flower-splitting boll	0.2429	283.887	0.6	56	42.9
吐絮 Opening boll	0.0851	140.533	0.6	40	20.6

利用蒙特卡罗方法模拟出 10 000 个农业干旱 测当地干旱程度的分布情况, 结果如表 5 所示。程度的样本数据, 统计得出落入各区间的频率, 以观

表 5 农业干旱程度的区间分布

Table 5 Distribution of agricultural drought extent at interval

干旱程度 Drought extent	频率 Frequency	干旱程度 Drought extent	频率 Frequency
0~0.1	0.003	0.5~0.6	0.0007
0.1~0.2	0.01541	0.6~0.7	0
0.2~0.3	0.1409	0.7~0.8	0
0.3~0.4	0.717	0.8~0.9	0
0.4~0.5	0.123	0.9~1.0	0

利用当地 1961~ 1998 年 38 年的降雨系列, 计 大排列, 结果如表 6 所示。
算出当地 38 个农业干旱程度的实际数据, 按由小到

表 6 河南省濮阳渠村灌区农业干旱程度计算结果

Table 5 Calculation of agricultural drought extent in Qucun, Puyang city, Henan province

序号 Number	干旱程度 Drought extent	序号 Number	干旱程度 Drought extent	序号 Number	干旱程度 Drought extent
1	0.152	14	0.340	27	0.431
2	0.172	15	0.343	28	0.468
3	0.191	16	0.357	29	0.474
4	0.241	17	0.361	30	0.481
5	0.250	18	0.370	31	0.487
6	0.265	19	0.373	32	0.489
7	0.277	20	0.386	33	0.501
8	0.280	21	0.396	34	0.502
9	0.290	22	0.400	35	0.504
10	0.303	23	0.405	36	0.506
11	0.322	24	0.406	37	0.516
12	0.330	25	0.410	38	0.530
13	0.335	26	0.411		

对农业干旱程度进行 W 检验, 结果 $W = 0.952$, 分别取显著性水平 $\alpha = 0.01$, $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.1$, 查表得到 $W_{0.01} = 0.916$, $W_{0.05} = 0.938$, $W_{0.1} = 0.947$, 可见 $W > W_{0.01}$, $W > W_{0.05}$, $W > W_{0.1}$, 可以认为, 当地农业干旱程度在 3 种显著水平下均服从正态分布。用矩法对其进行参数估计, 结果为“农业干旱 $\sim N(0.375, 0.010)$ ”。

4 结 语

近年来, 我国干旱灾害频繁发生, 且范围广、影响大, 给国家和人民带来巨大的损失。尤其在我国北方地区, 干旱对农业的影响很大, 往往造成作物严重减产。因此, 长期以来人们一直注重对农业干旱问题的研究, 并已取得了不少成果, 如土壤湿度指标、土壤有效水分存储量指标、供需水比例、农作物水分指标和温度指标等。但是这些传统的研究农业干旱的

方法仅是将最终的旱情简单地定性分成轻旱、中旱、重旱等几类, 并未定量、连续地刻画旱情, 也不能直接反映干旱给农业造成的损失, 更未能对农业干旱程度的概率分布进行研究探讨。

本文针对以上不足, 建立了可以反映干旱给农业造成损失大小的评估模型, 并利用该模型, 应用蒙特卡罗模拟方法和非参数检验方法, 对农业干旱程度的概率分布进行了研究探讨, 最后利用河南省濮阳市渠村灌区的实际数据进行计算, 得出了当地农业干旱程度的概率分布。

本文使用的 W 检验只能检验数据是否服从正态分布, 当数据不能视作服从正态分布时, 就不能判断其服从何种分布。另外, 当数据可以看成正态分布时, 其也可能可以被看作服从另一种常见分布, 如指数分布等, 此时应加以比较, 判断更适合服从的分布类型, 对这一问题还有待于今后进一步研究。

[参考文献]

- [1] 宋连春. 干旱[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 103.
- [2] 顾 颖, 咎 露. 农业干旱模拟研究[J]. 水科学进展, 1993, 8(1): 253- 259.
- [3] 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.
- [4] 林海滨, 任爱珠, 朱东海. 农业干旱灾害关系函数研究[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(2): 62- 67.
- [5] 冯 平. 干旱识别与分析指标综述[J]. 中国农村水利水电, 2002, (7): 13- 15.
- [6] 邱 林, 陈守煜, 张振伟, 等. 作物灌溉制度设计的多目标优化模型及方法[J]. 华北水利水电学院学报, 2001, 22(3): 90- 93.
- [7] 李远华. 节水灌溉理论与技术[M]. 武汉: 武汉水利水电大学出版社, 1999: 22; 88.
- [8] 邱 林, 陈守煜, 马建琴, 等. 区域灌溉水资源优化分配模型及其应用[J]. 人民黄河, 1998, (9): 53- 57.
- [9] 陈守煜. 多维多目标模糊优选动态规划及其在农业灌溉中的应用[J]. 水利学报, 2002, (4): 38- 43.
- [10] 吴 翊, 李永乐, 胡庆军. 应用数理统计[M]. 北京: 国防科技大学出版社, 1999: 141- 142.

(下转第 112 页)

- [7] 李佩成 测算潜水含水层渗透系数的“割离井法”[J]. 西北农学院学报, 1981, (4): 57- 70
- [8] 魏小妹, 李佩成 利用“割离井法”确定水文地质参数的图解法[J]. 地下水, 1993, (4): 141- 143
- [9] 常安定 级数的截断误差和割离井法的计算机实现[M]. 西安: 西安地图出版社, 2003 159- 180

Trial calculating method of disculculating the hydrogeology parameters by using the isolated-well formulas

CHANG An-ding, LIU Yuan-hui, MA Lianq

(Math. and Phy. Institute of Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China)

Abstract: By analyzing and simplifying the isolated-well discharge formulas with water level in the well fixed and the homogeneous isotropic aquifer having no recharge from up and down, the curves of this type, only related to the relative diameter of the well, have been figured. The method of trial and error has been inserted to the method of isolated-well to inversely calculate the hydrogeology parameters by researching into the property of the well-function. The steps are similar to the algorithm of Theis. In the end, verified by examples, the results resemble those of the other methods.

Key words: discharge formula of the isolated-well method; flow formula; geohydrology parameter; trial calculating method

(上接第 108 页)

Abstract ID: 1671-9387(2005)03-0105-EA

Study on probability distribution of agricultural drought extent

QIU Lin¹, CHEN Xiao-nan¹, DUAN Chun-qing²

(1 North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Equipment Department, Zhengzhou, Henan 450008, China;

2 Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: The quantitative model of agricultural drought evaluation was established after analyzing the present evaluation indexes. Based on this new model, which can correctly reflect the loss caused by the agricultural drought, the probability distribution of drought extent for agriculture was studied with simulated method and non-parameters inspection, and the probability distribution of local agricultural drought extent was calculated by using the actual data of Puyang city, Henan province.

Key words: agricultural drought extent; probability distribution; evaluation criteria; non-parameters inspection