

方兴义. 基于 EPIC 模型的农业旱灾风险模糊评估方法[J]. 灾害学, 2020, 35(3): 55–58. [FANG Xingyi. Fuzzy Evaluation Method of Agricultural Drought Risk Based on EPIC Model [J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(3): 55–58. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.03.012.]

基于 EPIC 模型的农业旱灾风险模糊评估方法^{*}

方兴义

(宁夏师范学院 政治与历史学院, 宁夏 固原 756000)

摘要: 针对传统的农业旱灾风险模糊评估方法中存在的置信水平低的问题, 设计了基于 EPIC 模型的农业旱灾风险模糊评估方法。利用 EPIC 模型中的生长模型模拟农作物生长, 获得农作物生长参数, 通过计算确定风险因子, 以此为依据, 确定风险评估方法中的一级指标和二级指标, 完成指标体系的构建, 按照一定参数标准, 将体系中的指标划分不同的风险等级, 完成农业旱灾风险模糊评估。

关键词: EPIC 模型; 农业旱灾; 风险; 模糊评估

中图分类号: TV93; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)03-0055-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.03.012

在全球气候变化和人类活动加剧的影响下, 旱灾的发生频率和受灾程度在不断增加, 成为全球主要自然灾害之一^[1]。农业旱灾的发生导致农作物生长受到抑制而减产甚至绝产, 使社会经济受损, 严重影响人们的日常生活和社会活动^[2]。因此研究农业旱灾风险模糊评估方法, 估计旱灾发生情况、危险程度和经济损失, 全面反映灾情, 优化防御措施, 实现对农业旱灾风险、损失、经济影响的定量分析和动态评估, 避免旱灾损失加剧, 及时有效的对旱灾进行早期预警, 指导政府抗旱救灾^[3]。

传统的农业旱灾风险评估方法主要基于概率统计方法和层次分析法实现风险评估, 以上两种方法都是依据历史观测样本, 估计灾害发生的概率, 方法的应用容易受到样本的限制, 导致置信水平较低^[4]。因此, 在农业旱灾风险模糊评估中引用 EPIC 模型, 利用该模型中定量评价特点, 结合农作物的生长参数对作物生长与产量模拟, 确定风险因子并分析风险等级, 完成农业旱灾风险模糊评估。

1 农业旱灾风险模糊评估方法

1.1 基于 EPIC 模型的农作物生长参数获取

农业旱灾容易出现水土流失和温度异常的情况, 严重影响农作物的生长^[5]。使用 EPIC 模型, 采用作物通用生长模型模拟农作物生长, 获得农作物生长参数, 用于农业旱灾风险模糊评估风险因子的确定。使用的 EPIC 模型结构如图 1 所示。

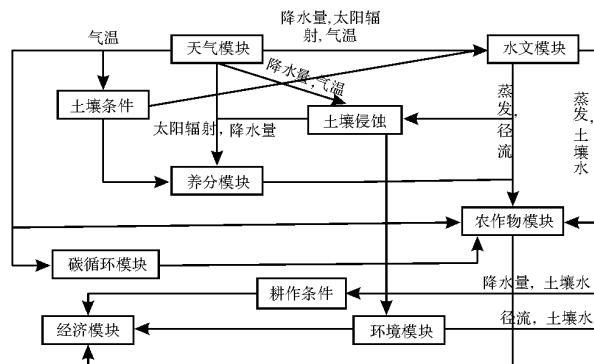


图 1 EPIC 模型结构示意图

农作物的物候发育是以逐日热量单元累积为基础的, 表示为:

$$Q_j = \left[\frac{t_{\min} + t_{\max}}{2} \right] - t_i, \quad Q_j \geq 0. \quad (1)$$

式中: Q_j 为第 j 天的热量单元值, t_{\min} 和 t_{\max} 为当天最低温度和最高温度, t_i 为农作物的实时基点温度。根据热量单元值计算农作物成熟所需的最大热量^[6]:

$$Q_s = \frac{\sum_{j=1}^n Q_j}{\gamma}. \quad (2)$$

式中: Q_s 为农作物成熟过程的最大热量, γ 为热量单元系数, n 为常数。农作物的生物量增长与太阳辐射相关, 采用 Beer 定律方程计算截获的太阳辐射:

$$R = 0.5r[1 - \exp(-0.65\varepsilon)]. \quad (3)$$

式中: r 为太阳辐射, ε 为农作物接收光合辐射的

* 收稿日期: 2019-12-13 修回日期: 2020-03-22

基金项目: 宁夏高等学校一流学科建设(教育学学科)资助项目(NXYLXK2017B11)

作者简介: 方兴义(1975-)男, 汉族, 宁夏海原人, 硕士, 副教授, 研究方向为自然灾害防治. E-mail: 380643188@qq.com

有效面积系数, R 为农作物截获光合有效辐射^[7]。则农作物单位时间内的生物量的最大增长量为:

$$\Delta U = 0.0018R. \quad (4)$$

式中: δ 为农作物将能量转换为生物量的作物参数, ΔU 为农作物逐日潜在增长量。农作物将太阳辐射的能量转换为生物量与水汽压差和大气二氧化碳水平相关, 通过公式计算出以上两种能量的转换因子^[8]:

$$\beta = \frac{100V_{co_2}}{V_{co_2} + \exp(x_1 - x_2(V_{co_2}))}. \quad (5)$$

式中: V_{co_2} 为大气二氧化碳浓度, x_1 和 x_2 为农作物参数。通过上述内容确定能量 - 生物量转换因子是农作物生长参数之一。

农作物的生长与水分的利用息息相关, 农作物的根系的水分利用总量是根系分布各土层水分利用量之和^[9]。在各土层参数统一的情况下, 农作物根系潜在水分利用率采用下式计算:

$$L = \frac{I_1}{1 - \exp(-\chi)} \left[1 - \exp\left(-\chi \frac{h}{h_0}\right) \iota \sum_{i=1}^n l_i \right]. \quad (6)$$

式中: I_1 为农作物潜在蒸腾量, χ 为水分利用分布参数, h 为当前农作物所处土层深度, h_0 为农作物根系分布的土壤剖面深度, ι 为水分亏缺补偿因子, l_i 为农作物 i 根系在当前土层中实际的水分利用速率。 l_i 通过以下公式计算得到:

$$l_i = \frac{4(s_1 - w_1)}{d - w_1} - 1. \quad (7)$$

式中: s_1 为当前土层土壤水分含量, w_1 为农作物凋萎点时的土壤水分含量, d 为土层田间持水量。根据以上公式获得农作物根系潜在水分利用率, 作为后续风险因子确定的参数。农作物在各种环境条件下的收获指数通常相对稳定, 在 EPIC 中, 农作物产量采用收获指数来计算获得, 该指数在无胁迫条件下, 播种时为零, 成熟期为 η , 在播种至成熟期间呈非线性增长, 其相关公式如下:

$$\begin{cases} G = \eta_c U_i; \\ \eta = \eta_c \left[\sum_{i=1}^n \Delta \alpha_i \right]. \end{cases} \quad (8)$$

式中: G 为农作物收获的产量, η_c 为收获指数, U_i 为农作物 i 在土层中的生物量, η 为农作物成熟期收获指数, α_i 为影响收获指数的热量单元因子^[10]。

农业旱灾严重影响农作物的生长与产量, 利用 EPIC 模型分析农作物生长过程, 确定农作物生长参数, 用于后续农业旱灾风险因子的确定。

1.2 农业旱灾风险因子

根据上述内容确定农业旱灾对农作物的生物量、根系水分利用率和产量影响较大。根据农作物的生物量、水分利用率和产量的变化确定农业旱灾风险因子。考虑农作物的水分供给和需求, 水分风险因子通过公式计算得到:

$$\lambda_1 = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L_i}. \quad (9)$$

式中: λ_1 为水分风险因子, l_i 为农作物 i 在土层中的水分利用量, L_i 为农作物潜在水分利用量^[11]。受到旱灾温度的胁迫, 温度风险因子根据农作物

的基点温度和地表温度计算获得:

$$\lambda_2 = \cos \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{t_s - t_0}{t_z - t_0} \right) \right], 0 \leq \lambda_2 \leq 1. \quad (10)$$

式中: λ_2 为温度风险因子, t_s 为农作物所处的地表温度, t_0 为农作物基点温度, t_z 为农作物的最适温度^[12]。受到土壤强度影响, 农作物的生物量存在一定的变化, 在 EPIC 模型中, 与土壤强度相关的因素有容重和水分含量, 根据以上因素判断土壤强度风险因子:

$$\begin{cases} M = \frac{d - s_2}{d - v_0 (4.03 - 3.11M_0)}; \\ \lambda_3 = \frac{M}{M + \exp[c_1 + c_2(M)]}. \end{cases} \quad (11)$$

式中: M 为容重, d 为田间持水量, s_2 为当前农作物土层土壤含水量, v_0 为凋萎湿度, M_0 为烘干土壤容重, c_1 和 c_2 为由土壤质地决定的参数。农作物的产量与收获指数相关, 由于水分风险因子的胁迫, 导致收获指数降低而减产甚至绝产^[13]。则收获指数风险因子通过下式计算获得:

$$\lambda_4 = (\eta - \eta_0) \frac{l_v}{l_v + \exp(5.14 - 0.037l_v)}. \quad (12)$$

式中: η 为农作物最终收获指数, η_0 为农作物最小的收获指数, l_v 为农作物水分利用速率。

通过以上内容确定农业旱灾风险因子, 根据风险因子确定农业旱灾风险评估指标, 并建立相应的指标体系, 在农业旱灾风险评估指标体系的基础上, 实现农业旱灾风险模糊评估。

1.3 农业旱灾风险评估指标体系

旱灾风险评估是对某地区发生不同危险程度干旱时间的可能性及其潜在危害性的分析^[14]。农业旱灾造成的危害程度与旱灾发生频率、强度和持续时间相关, 根据上述中风险因子的确定可知, 旱灾风险模糊评估的主要指标有年均降雨量、相对湿润度指数、土壤类型、耕地复种指数、农作物生产总值占地区比例、农耕地面积、耕地用水量、地下水资源供水能力和监测预警能力。则构建的农业旱灾风险评估指标体系如图 2 所示。

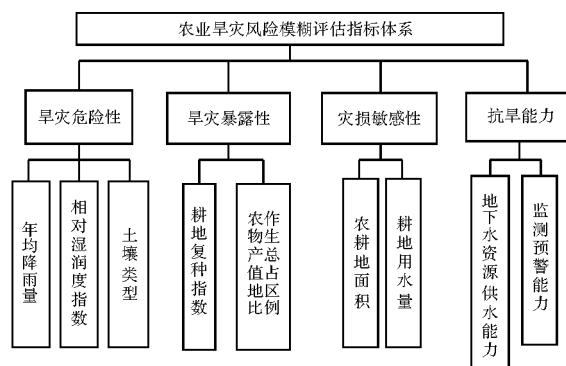


图 2 农业旱灾风险评估指标体系

图 2 中显示的旱灾危险性、旱灾暴露性、灾损敏感性和抗旱能力为一级指标, 一级指标下的年均降雨量、相对湿润度指数、农耕地面积等为二级指标, 利用模糊集对评价法对以上指标按照重要性排序, 并结合构建的农业旱灾风险评估指标体系确定农业旱灾风险模糊评估等级。

表 1 农业旱灾风险模糊评估等级标准

一级指标	二级指标	风险等级			
		I 级	II 级	III 级	IV 级
旱灾危险性	年均降雨量/mm	≥800	800 ~ 600	600 ~ 400	< 400
	相对湿润度指数/%	≥ -0.05	-0.05 ~ -0.18	-0.18 ~ -0.31	< -0.31
	土壤类型	≥0.7	0.7 ~ 0.5	0.5 ~ 0.3	< 0.3
旱灾暴露性	耕地复种指数/%	≤180	180 ~ 190	190 ~ 200	>200
	农作物生产总值占地区比例/%	≤20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50
灾损敏感性	农耕地面积比/%	≤10	10 ~ 35	35 ~ 60	>60
	耕地用水量/m ³	≤500	500 ~ 650	650 ~ 800	>800
抗旱能力	地下水资源供水能力/(10 ⁴ m ³ /hm ²)	≥2300	2300 ~ 1700	1700 ~ 1200	< 1200
	监测预警能力	≥0.7	0.7 ~ 0.5	0.5 ~ 0.3	< 0.3

表 2 测试数据基本概况

数据名称	内容	来源	时间、空间分辨率
DEM 数据	旱灾地区高程信息	USGS	1 km × 1 km 0.0833 × 0.0833
坡度数据	旱灾地区坡度信息	GAEZ	1 km × 1 km 0.0833 × 0.0833
土壤数据	旱灾地区土壤分布栅格图像，以及 ph、容重等	ISRIC	5' × 5'
气象数据	旱灾地区、气温、太阳辐射等	Geman Federal Mingistry of Education and Research-the ISMIP fast track project	0.5° × 0.5°
种植范围数据	种植农作物的区域	LUGE	5' × 5'
生长期数据	种植时间和生育	SAGE	0.5° × 0.5°
灌溉数据	农业灌溉用水	OKI Laboratory	0.5° × 0.5°
农作物参数数据	EPIC 模型参考值	Texa A&M University	0.5° × 0.5°

1.4 制定农业旱灾风险模糊评估等级

利用构建的农业旱灾风险评估指标体系，制定农业干旱风险模糊评估等级，根据相关标准准则，将农业旱灾风险等级划分为四级，分别为 I 级微险、II 级轻险、III 级中险和 IV 级重险^[15]。具体的评估等级标准如表 1 所示。

通过制定的农业旱灾风险模糊评估等级完成农业旱灾风险模糊评估。至此，基于 EPIC 模型的农业旱灾风险模糊评估方法设计完成。

2 模型检验与结果分析

2.1 数据来源

在农业旱灾风险模糊评估方法仿真测试中，由于 EPIC 模型的引用，需要与农作物相关的多种数据(表 2)。表 2 中的土壤数据用来描述模拟土壤的一般性信息，其数据来源是国际土壤信息中心提供的数据集。农作物生长期数据是从开始到结束经历的时间，主要包含农作物播种时间和农作物的生育期长度，将两种数据结合在一起，获取到农作物的播种和收获制度。不同地区灌溉制度差异比较大，在引用 EPIC 模型时，使用该模型自带的灌溉制度，否则调用数据集中的灌溉数据。将以上数据以统一的 0.5°网格分辨率进行重采样，用于后续对比测试。

2.2 测试结果及分析

使用以上数据测试基于 EPIC 模型的农业旱灾

风险模糊评估方法的置信水平，同时引用传统的农业旱灾风险模糊评估方法，在相同的条件下同时测试。置信水平表示的总体参数值落在样本统计值某一区域的概率，在风险模糊评估方法中，其置信水平越高，表示该风险模糊评估方法可靠性越强。

使用以上采样的数据，测试不同的风险模糊评估方法，为了更好的对比分析不同评估方法，以传统的基于概率统计的风险模糊评估方法作为方法一，传统的基于层次分析法的评估方法作为方法二，设计的基于 EPIC 模型的评估方法作为方法三。则测试结果如图 3 所示。从图 3 可知，基于概率统计的风险模糊评估方法测试结果显示，只有在时间的边界处其置信水平才处于较高的位置，大部分都处在 0.92 以下；基于层次分析法的评估方法测试结果显示，置信水平振荡较为明显，在前期，处于较低的置信水平，在 500 ms 之后，变化比较明显，最高为 0.96，最低为 0.90，多数处于低水平。基于 EPIC 模型的评估方法测试结果显示，置信水平始终保持在 0.98 以上，没有明显的振荡，整体水平处于稳定状态。

综合以上数据可知，设计的基于 EPIC 模型的农业旱灾风险模糊评估方法置信水平高于传统的两种风险模糊评估方法。这是由于 EPIC 模型的引用，通过大量的计算获得可靠的风险因子，提高了农业风险模糊评估方法的置信水平。

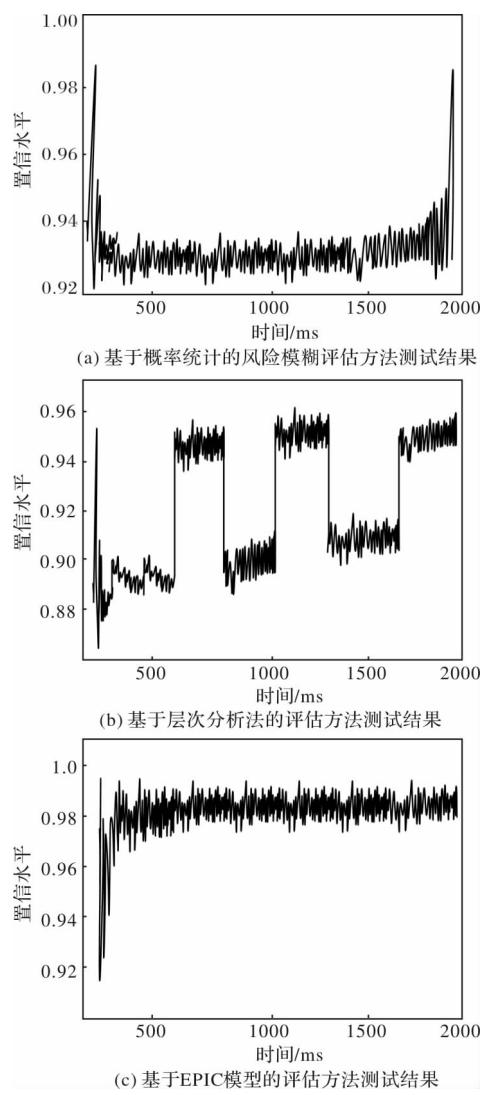


图3 不同评估方法置信水平测试结果

3 结束语

设计基于 EPIC 模型的农业旱灾风险模糊评估方法，对不同地区可能发生的旱灾程度进行正确

的评估，及早的对旱灾发生的前兆做出正确预测，以便采取具有针对性的预防措施。通过引用 EPIC 模型，解决传统的农业旱灾风险模糊评估方法中存在的置信水平低的问题，为防控农业旱灾提供有效的科学依据，对防灾减灾和社会发展具有重要意义。

参考文献：

- [1] 杨晓静, 徐宗学, 左德鹏, 等. 东北三省农业旱灾风险评估研究[J]. 地理学报, 2018, 73(7): 1324–1337.
- [2] 王雅燕, 周玉良, 周平, 等. 基于集对分析的安徽省农业旱灾风险评估[J]. 水电能源科学, 2019, 37(8): 1–5.
- [3] 何树红, 邹丽华, 姜毅, 等. Bayes 混合模型在我国农业旱灾风险度量中的运用[J]. 数理统计与管理, 2019, 38(2): 203–215.
- [4] 崔毅, 蒋尚明, 金菊良, 等. 基于水分亏缺试验的大豆旱灾损失敏感性评估[J]. 水力发电学报, 2017, 36(11): 50–61.
- [5] 李吉程, 王斌, 张洪波, 等. 泾惠渠灌区旱灾危机预警研究[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(3): 65–78.
- [6] 陈俊旭, 赵红玲, 赵志芳, 等. 水资源脆弱性评估的 RESC 模型及其在东部季风区的应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 2018, 26(5): 940–953.
- [7] 朱学谦, 山珊. 基于模糊模式识别的海外油气储量开发风险性评价方法[J]. 中国海上油气, 2018, 30(3): 116–121.
- [8] 于建, 卞战强, 田向红, 等. 我国北方某省分散式农村饮水中莠去津残留的生态风险评价和健康风险评价[J]. 环境与健康杂志, 2018, 35(8): 726–729.
- [9] 王楠, 程维明, 张一驰, 等. 全国山洪灾害防治县房屋损毁风险评估及原因探究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(12): 1575–1583.
- [10] 敬双怡, 莘明亮, 于玲红, 等. 基于模糊综合评价法的大同市山洪灾害风险评价[J]. 水利水电技术, 2018, 49(5): 84–89.
- [11] 徐绪堪, 王京. 基于犹豫模糊集的城市型水灾害风险评估[J]. 统计与决策, 2019, 35(5): 51–55.
- [12] 陈朗, 姜辉, 贾俊超, 等. 农药混配制剂环境风险评估现状与展望[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(4): 15–24.
- [13] 温欣岚, 罗占业, 樊美娜, 等. 链式风险评估方法研究及工程应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(3): 154–160.
- [14] 任贤月, 穆振侠, 周育琳. 基于不同蒸散方法的 SPEI 在天山南北坡气象干旱的差异性分析[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(3): 48–55.
- [15] 李明, 胡炜霞, 王贵文, 等. 基于 Copula 函数的中国东部季风区干旱风险研究[J]. 地理科学, 2019, 39(3): 506–515.

Fuzzy Evaluation Method of Agricultural Drought Risk Based on EPIC Model

FANG Xingyi

(School of Politics and History, Ningxia Normal University, Guyuan 756000, China)

Abstract: Aiming at the problem of low confidence level in the traditional fuzzy assessment in agricultural drought risk, a fuzzy assessment method is designed based on EPIC model. The growth model of EPIC is used to simulate the growth of crops, to obtain the growth parameters of crops. The construction of the indicator system is accomplished by calculating of risk factors, so are the primary and secondary indicators. The fuzzy assessment in agricultural drought risk is completed according to certain parameter standards, different risk levels' division of the indicators in the system.

Key words: EPIC model; agricultural drought; risk; fuzzy assessment