

基于作物模型脆弱性判别的河南省夏玉米干旱风险评估

任丽伟¹, 薛昌颖^{2*}, 张宇星³, 张弘²

(1. 鹤壁市气象局, 河南 鹤壁 456750; 2. 中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室/河南省气象科学研究所, 郑州 450003; 3. 河南省气象局, 郑州 450003)

摘要: 本文将作物生长模拟模型模拟方法引入灾害风险评价中, 与统计方法相结合, 利用河南省地面观测站的历史气象资料、夏玉米生长发育期观测资料和相关农业生产社会统计资料, 依据自然灾害风险评价理论, 构建河南省夏玉米干旱评价指标和综合风险评估模型, 对河南省不同地区夏玉米生长季的干旱风险进行了定量评价。结果表明: 河南省夏玉米生长季干旱危险性最大的阶段主要是播种-出苗期和乳熟-成熟期, 空间分布上主要是北部和西部危险性最大, 这主要是降水量的时间和空间分布不均影响的。可见, 在农业主产区加强农田水利设施建设, 改善农田灌溉条件是降低干旱风险、保证农业稳产的最有效途径。

关键词: 夏玉米; 干旱; 风险评估; 作物模型; 水分亏缺指数

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)04-0079-05

Drought Risk Assessment of Summer Maize in Henan Province Based on Vulnerability Analysis by Crop Model

REN Liwei¹, XUE Changying^{2*}, ZHANG Yuxing³, ZHANG Hong²

(1. Hebi Meteorological Service, Hebi 456750; 2. CMA·Henan Key Laboratory of Agricultural meteorological Safe-guard and Applied Technique / Henan Institute of Meteorological Science, Zhengzhou 450003; 3. Henan Meteorological Service, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In this paper, the method of crop growth simulation is introduced into disaster risk assessment and combined with statistical method. Based on the theory of natural disaster risk assessment, the drought evaluation index and comprehensive risk assessment model of summer maize in Henan Province were constructed by using the historical weather data, the observation data of summer maize and the related social statistical data of agricultural production. The results showed that the biggest drought risk stage of summer maize growth season in Henan province was mainly the sowing to emergence stage and milky to maturity stage. In terms of spatial distribution, the northern and western regions are the most dangerous, which is mainly affected by the uneven distribution of precipitation in time and space. Therefore, strengthening the construction of irrigation and water conservancy facilities and improving irrigation conditions in major agricultural producing areas are the most effective ways to reduce drought risks and ensure stable agricultural yields.

Key words: Summer maize; Drought; Risk assessment; Crop simulation model; Water deficit index

干旱灾害是农业生产中发生最多、危害最重

的气象灾害。随着全球暖干化发展趋势, 干旱灾害的发生呈现出频繁加重的态势, 我国主要作物种植区面临干旱灾害的风险也呈加大趋势^[1]。黄淮海是我国夏玉米主产区, 也是干旱灾害易发区和重灾区^[2]。河南省是黄淮海夏玉米区种植面积最大的省份, 其播种面积和总产量约占全国的十分之一。农业气象灾害风险是指农业气象灾害事件发生的可能性, 在此基础上进行风险评估, 实际估测导致农业产量损失、品质降低以及最终的

收稿日期: 2018-11-05

基金项目: 河南省气象局气象科学技术研究项目(Z201603、Z201804); 中国气象局关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013M29)

作者简介: 任丽伟(1971-), 女, 高级工程师, 研究方向: 农业气象灾害。

通讯作者: 薛昌颖, 女, 博士, 正高级工程师, E-mail: xuecy9@163.com

经济损失的农业气象灾害事件发生的可能性大小的过程^[3]。王永利等对致灾因子危险性、承灾体脆弱性、孕灾环境暴露性和防灾减灾能力进行分析,确立了综合风险区划指标^[4]。王有恒等^[1]以北方和西北春玉米为研究对象,构建了北方春玉米干旱指数、干旱灾害危险性指标和干旱灾害风险评估模型。袭祝香、王鹏文等^[5-6]利用逐日气温、降水资料构建干旱指标,对吉林省西部地区作物生长季的干旱时空分布特征、干旱风险进行了分析。贾建英等就干旱危险性分析、暴露性分析、脆弱性、抗灾能力和干旱危险性分析几方面进行了阐述^[7]。针对黄淮海夏玉米干旱也有多位学者做了风险评估方面的工作^[2,8-9],但评估指标的选取不尽相同。

以上研究多利用统计方法建立灾害的危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾评估指标,而利用作物生长模型模拟结果作为风险评估判定指标的研究较少。作物模型能够综合量化作物生长发育过程及其与环境因子的动态关系,能对作物重要生理生态过程及其与气象、土壤等环境条件的关

系进行数值模拟,再现农作物生长发育过程,反映作物与气候环境的相互作用,定量描述产量损失与相关因子的相关关系^[10-13]。因此,本文基于自然灾害风险评价理论,引入WOFOST作物模型模拟水分胁迫对夏玉米产量的影响,作为灾损脆弱性定量评价指标,再综合考虑灾害风险区划的各个因子进行风险分析,揭示黄淮海夏玉米干旱风险的区域特征。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文所用数据主要包括河南省气象观测站1971~2015年逐日气象数据和农业气象观测站夏玉米主要发育期数据(来源于河南省气象局);还包括1971~2015年各站点对应的夏玉米产量数据;近3年(2013~2015年)夏玉米播种面积、耕地面积、灌溉面积数据均来源于河南省统计年鉴。

发育期数据主要包括夏玉米播种、出苗、拔节、抽雄、乳熟和成熟期,根据夏玉米观测发育期计算多年平均生育期如表1所示。

表1 不同地区夏玉米多年平均发育期

区域	播种-出苗期	出苗-拔节期	拔节-抽雄期	抽雄-乳熟期	乳熟-成熟期
河南中北部	上/6	中/6-上/7	中/7-上/8	中/8-下/8	上/9-中/9
河南南部	上/6	中/6-上/7	中/7-下/7	上/8-下/8	上/9-中/9

1.2 干旱风险指数及计算方法

根据风险评估理论^[14],一定区域的自然灾害风险是由自然灾害危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力四个因素相互作用而形成的。本文主要基于风险评估理论,选取并构建四个要素的夏玉米干旱风险评价指标及综合评价模型。

1.2.1 致灾因子危险性指数

灾害危险性是指灾害异常程度,主要由危险因子活动规模(强度)和活动频次(概率)决定^[10]。本文选取水分亏缺指数^[3]作为危险性评价因子,用不同水分亏缺指数等级及其出现概率反映危险性的大小。由于夏玉米不同阶段干旱对最终产量影响不同,因此,分别计算各个阶段的危险性指数,再对各个阶段进行加权平均计算全生育期的危险性指数。夏玉米生育阶段划分见表1。各阶段干旱危险性指数评价模型:

$$W_m = \sum_{i=1}^n (CWDI_{mi} \times P_{mi}) \dots\dots\dots (1)$$

式中, W_m 为灾害危险性指数, $CWDI_{mi}$ 为水分亏缺指数, P_{mi} 为相应水分亏缺指数出现概率。 m

为1~5的数字,分别代表5个生育阶段。 i 为水分亏缺指数等级, n 为水分亏缺指数等级数量。其中水分亏缺指数($CWDI$)的计算方法参见文献[15]。本文采用matlab软件进行计算。

在各阶段危险性指数基础上构建全生育期危险性评估模型:

$$W = \sum_{i=1}^5 (a_i \times W_i) \dots\dots\dots (2)$$

式中, W 为夏玉米全生育期干旱危险性; W_i 分别表示5个生育阶段的干旱危险性; a_i 为权重系数,表示各个生育阶段对全生育期干旱危险性的贡献率,根据各生育阶段水分亏缺指数与最终产量的相关系数大小来计算^[16-17]。

1.2.2 承灾体暴露性风险指数

暴露性是指可能受到气象危险因子威胁的所有人和财产,如人员、房屋、农作物、生命线等^[18]。针对本文研究内容,在同等条件下,单位面积内夏玉米种植面积比例越大,可能遭受的潜在损失和气象灾害风险就越大^[8]。因此,本文选取播种面积占耕地面积的比例来表征暴露性风险,计算

方法如下:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i/S_i) \dots\dots\dots(3)$$

式中, E 为夏玉米干旱风险的暴露性, s_i 为单站第 i 年夏玉米播种面积, S_i 为当年总耕地面积。为评估结果对当前生产更具指导意义, 选择与当前实际生产条件较接近的 3 年 (2013 ~ 2015 年) 种植面积统计数据, 即 n 取值为 3 计算平均值。

1.2.3 基于作物模型的脆弱性指标

承灾体脆弱性指承灾体遭受特定强度灾害后可能的损失程度, 在以往研究中多以受灾减产的平均减产率^[3]来表征, 但受灾平均减产率是多种灾害的灾损综合作用的结果, 单一灾种的灾损贡献难以提取, 这势必影响评估结果的科学性。因此, 本文利用 WOFOST 作物模型模拟近 20 年干旱对夏玉米产量造成的损失, 提取有旱情发生年份的产量损失情况, 计算平均减产率作为夏玉米干旱脆弱性评价指标。

WOFOST 是由荷兰瓦赫宁根大学和世界粮食组织合作研发的作物生长模拟模型, 是一个根据气象和土壤条件模拟作物根、叶、茎、穗生物量及土壤水分动态的作物机理模型^[19-20]。目前, WOFOST 模型已经在作物产量的预测及年际产量变化分析、土地资源和利用的定量评价、气候变化对产量的影响评估及区域生产力水平的评价等方面得到了广泛应用^[21-23]。作物模型的应用首先需要对模型参数调试和验证, 因此, 本文首先将全省夏玉米主产区划分为豫北、豫西、豫中东部和豫南四个区域, 选择典型站点利用 2001 年之后的气象数据进行作物参数的调试和验证, 结果如图 1 所示。模拟结果显示, 实测值和模拟值的吻合度较好, 基本在 1:1 线的附近波动, 发育期模拟结果误差在 5 d 以内, 相对误差小于 10%, 模拟效果较好。产量模拟相对误差大部分在 20% 以内, 表明模拟结果可以接受。

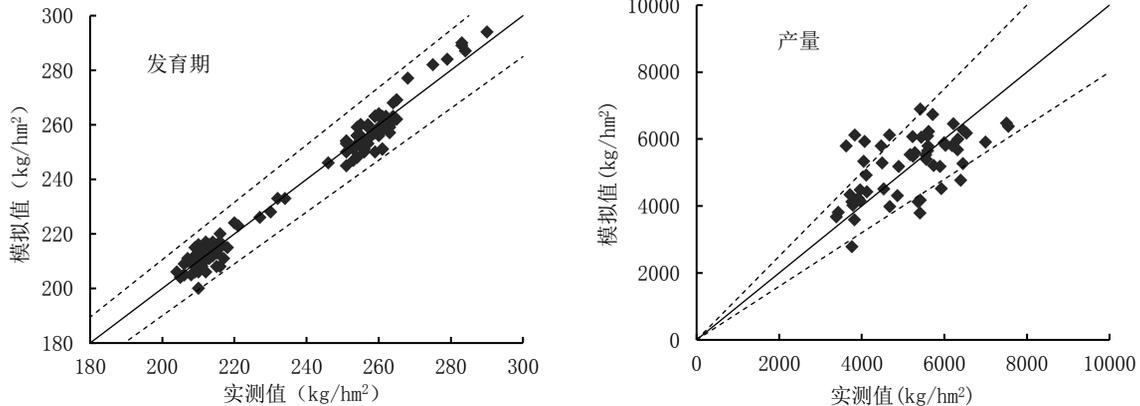


图1 WOFOST模型在河南主产区夏玉米参数调试验证结果

将全省气象观测站按地理空间分布匹配到各个区域, 利用调试验证后的 WOFOST 模型模拟近 30 年夏玉米水分限制和水分充足条件下的产量, 分离由水分胁迫造成的产量损失, 提取干旱年份计算多年平均减产率。本文定义当减产率大于 5% 时为干旱致灾年份, 灾年平均减产率计算公式为^[24]:

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots(4)$$

式中, F 为夏玉米干旱脆弱性指标, n 为灾年年数, y_i 为灾年的逐年减产率。

1.2.4 防灾减灾能力指数

灌溉基础条件是反映当地农业干旱防灾减灾能力的主要指标, 本文利用有效灌溉面积占耕地面积的比例来表示防灾减灾能力的大小, 计算方

法为:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G_i/S_i) \dots\dots\dots(5)$$

式中, K 为防灾减灾能力指数, G_i 为代表站第 i 年的有效灌溉面积, S_i 为当年耕地总面积。同理选取与当前实际生产条件较接近的 3 年 (2013 ~ 2015 年) 的数据计算。

1.2.5 干旱综合风险

综合考虑危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力四个指标, 构建干旱综合风险评估模型, 构建综合评价模型如下:

$$R = I^{b_I} \times E^{b_E} \times F^{b_F} \times K^{-b_K} \dots\dots\dots(6)$$

式中, R 为干旱综合风险指数, I 、 E 、 F 、 K 分别为危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力指数, b_I 、 b_E 、 b_F 、 b_K 分别为危险性、暴露性、脆弱性和防灾

减灾能力对应的权重,表示各因子对形成灾害风险的相对重要性。为统一量纲,对各单项评价指标进行极差标准化^[15]。利用灰色关联方法,分析危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力指数与减产率多年平均值的灰色关联度,从而确定各影响因子权重^[8]。考虑到防灾减灾能力的反向作用力,其权重系数为负值。

1.3 干旱风险区划结果

根据危险性、暴露性、脆弱性和防灾减灾能力各项指标及综合干旱风险的评估结果,利用 Arcgis 软件进行空间插值,选择克里金绘制夏玉米各指标及干旱综合风险的的空间分布图。

2 结果与分析

2.1 夏玉米水分亏缺指数空间分布

不同阶段水分亏缺指数大小不同,夏玉米拔节前和乳熟期水分亏缺指数高,中期水分亏缺指数低。因此,河南省各阶段水分亏缺指数由高到低的顺序为:播种-出苗期、出苗-拔节期、乳熟-成熟期、抽雄-乳熟期、拔节-抽雄期。但这一结果是多年平均的情况,由于降水年际间的波动,各个阶段均会有不同程度水分亏缺发生,因此有必要进一步开展干旱综合风险评估。

2.2 夏玉米干旱危险性评估

从不同生育阶段干旱危险性比较情况看,河南省夏玉米干旱危险性在播种-出苗期最高,其次是出苗-拔节期,危险性最小的阶段是拔节-抽雄期,抽雄-乳熟期和乳熟-成熟期接近。各阶段的干旱危险性指数都具有明显的由南向北逐渐升高的空间分布趋势,这主要是由于干旱危险性是反映降水对夏玉米需水的满足程度,因此其空间分布特征主要受降水量的空间分布影响,河南省降水量由南向北的逐渐减少决定了不同阶段干旱危险性由南向北逐渐升高的特点。

对不同阶段干旱危险性进行加权,计算全生育期夏玉米干旱危险性指数,河南省夏玉米全生育期干旱危险性指数范围在 0.09~0.35 之间,空间分布的总体趋势为由南向北逐渐增大。

2.3 夏玉米干旱脆弱性评估

根据模型模拟结果计算了各地夏玉米受干旱影响造成的产量损失,以此评估各地夏玉米干旱风险的脆弱性。全省各地脆弱性指数变化在 0~0.11 之间,其空间分布总体呈现由南向北升高的趋势,脆弱性高的地区主要分布在郑州、焦作、新

乡南部、平顶山北部以及安阳的部分地区,脆弱性指数在 0.08 以上;脆弱性低的地区主要分布在驻马店、南阳、信阳以及商丘和周口的东南部,脆弱性指数在 0.03 以下,其他地区脆弱性指数在 0.03~0.08 之间。脆弱性反映了各地玉米产量受干旱影响的损失程度,脆弱性指数越高,说明这些地区玉米产量受干旱影响损失越重,反之则越小。河南省玉米脆弱性指数的空间分布特征与河南省各地夏玉米生产实际情况基本吻合。

2.4 夏玉米干旱暴露性评估

以夏玉米播种面积占当地耕地面积的比例为暴露性评价指标。河南省大部分地区夏玉米种植面积比例在 0.30 以上,比例最大的地区分布在豫北、豫西北、洛阳、平顶山和中部的漯河、驻马店等地,这些地区暴露性指数在 0.48~0.81 之间,仅三门峡西部、南阳西南部、驻马店南部和信阳所占面积比例最小,在 0.30 以下,其中信阳地区最小在 0.14 以下。该结果表明,河南省北部、中部和东部地区秋粮食以夏玉米为主,占当地耕地面积比例较大。

2.5 夏玉米干旱抗灾能力评估

以当地有效灌溉面积与耕地面积的比值进行各地夏玉米干旱防灾减灾能力评估。防灾减灾能力的总体分布趋势是由西向东逐渐增强,变化范围在 0.14~0.97。西部的三门峡以及洛阳和南阳西部地区灌溉条件最差,比值在 0.32 以下;郑州、平顶山、洛阳东部、南阳东部、驻马店南部、信阳西部等地灌溉条件略好,比值在 0.32~0.54 之间;黄河以北以及开封、商丘、周口北部等地灌溉条件最好,比值在 0.75 以上,其他地区在 0.54~0.75 之间。

2.6 夏玉米干旱综合风险评估

综合夏玉米危险性、脆弱性、暴露性以及防灾减灾能力指数,评估河南省夏玉米干旱发生的综合风险。从综合风险指数分布看,总体上呈现由东向西逐渐升高的趋势,干旱综合风险高值区和次高值区主要分布在郑州、焦作、济源、洛阳、三门峡、平顶山地区,这些地区危险性、脆弱性较高,但是防灾减灾能力较弱,因此中西部是综合风险较高的地区;开封、商丘、周口、驻马店以及信阳地区属于综合风险最低的地区,主要是由于北部和东部抗灾能力较强而信阳地区玉米种植面积较小所导致的;黄河以北、许昌、漯河、南阳属于综合风险次低值区。

3 结论与讨论

本文基于自然灾害风险评估理论,从灾害的危险性、脆弱性、暴露性和防灾减灾能力四个方面对河南省各地夏玉米生长季的干旱风险进行了综合定量评价,其中引入 WOFOST 作物模型定量评估干旱致灾损失减产率作为风险评估脆弱性指标,提高了综合风险评估的定量化水平。基于水分亏缺指数的夏玉米干旱发生的危险性分析表明,播种-出苗期和乳熟-成熟期是河南省夏玉米干旱发生危险性最大的阶段,空间上危险性高值区主要分布在豫北和豫西的大部分地区。基于作物模型模拟的产量灾损脆弱性分析表明脆弱性高的地区主要分布在郑州、焦作、新乡南部、平顶山北部以及安阳的部分地区。通过加权,综合夏玉米干旱脆弱性、暴露性和防灾减灾能力指数后,综合风险高值区主要分布在豫西和豫中部分地区;风险低值区主要分布在东北部、东部和南部地区。南部和东部干旱风险低的原因是夏玉米生长季自然降水相对充足,而东北部地区则主要是由于灌溉条件较好,干旱防灾减灾能力较强。因此,在降水偏少干旱易发区加强农田水利基础设施建设是降低干旱风险的主要途径。

参考文献:

- [1] 王有恒,张存杰,段居琦,等.中国北方春玉米干旱灾害风险评估[J].干旱地区农业研究,2018,36(2):257-264,272.
- [2] 杨平,张丽娟,赵艳霞,等.黄淮海地区夏玉米干旱风险评估与区划[J].中国生态农业学报,2015,23(1):110-118.
- [3] 薛昌颖,张弘,刘荣花.黄淮海地区夏玉米生长季的干旱风险[J].应用生态学报,2016,27(5):1521-1529.
- [4] 王春乙,张雪芬,赵艳霞.农业气象灾害影响评估与风险评估[M].北京:气象出版社,2010:262-282.
- [5] 王永利,侯琼,苗百岭,等.内蒙古马铃薯苗期干旱灾害风险区划[J].中国农学通报,2018,34(12):118-124.
- [6] 袭祝香,刘慧涛,孙云云,等.吉林省西部地区干旱时空分布特征及风险评估[J].吉林农业科学,2014,39(3):83-87.
- [7] 王鹏文,王国琴,杨双.吉林省西部地区干旱特征分析[J].吉林农业科学,1991,26(4):90-94.
- [8] 贾建英,贺楠,韩兰英,等.基于自然灾害风险理论和 ArcGIS 的西南地区玉米干旱风险分析[J].农业工程学报,2015,31(4):152-159.
- [9] 马玉妍.黄淮海地区夏玉米干旱灾害危险性评估与区划[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2015.
- [10] 朱玉洁,杨霏云,刘伟昌,等.利用作物模型提取小麦干旱风灾损失方法探讨[J].气象与环境科学,2013,36(2):10-14.
- [11] 陈振林,张建平,王春乙,等.应用 WOFOST 模型模拟低温与干旱对玉米产量的综合影响[J].中国农业气象,2007,28(4):440-442.
- [12] 张雪芬,余卫东,王春乙,等. WOFOST 模型在冬小麦晚霜冻害评估中的应用[J].自然灾害学报,2006,15(6):337-341.
- [13] 栾庆祖,叶彩华,莫志鸿,等.基于 WOFOST 模型的玉米干旱损失评估:以北京为例[J].中国农业气象,2014,35(3):311-316.
- [14] 张继权,李宁.主要气象灾害风险评估与管理的数量化方法及其应用[M].北京:北京师范大学出版社,2007:33.
- [15] 薛昌颖,刘荣花,马志红.黄淮海地区夏玉米干旱等级划分[J].农业工程学报,2014,30(16):147-156.
- [16] 刘荣花.河南省冬小麦干旱风险分析与评估技术研究[D].南京:南京信息工程大学,2008.
- [17] 薛昌颖,霍治国,李世奎,等.北方冬小麦产量灾损风险类型的地理分布[J].应用生态学报,2005,16(4):620-625.
- [18] 单琨,刘布春,刘园,等.基于自然灾害系统理论的辽宁省玉米干旱风险分析[J].农业工程学报,2012,28(8):186-194.
- [19] 杜春英,李秀芬,王晨轶,等.基于 WOFOST 模型的黑龙江省水稻产量动态预报研究[J].安徽农业科学,2011,39(24):15093-15095.
- [20] 李秀芬,马树庆,宫丽娟,等.基于 WOFOST 的东北地区玉米生育期气象条件适宜度评价[J].中国农业气象,2013,34(1):43-49.
- [21] 李秀芬,王育光,季生太,等.作物长势监测系统(CGMS)在黑龙江省的应用[J].中国农业气象,2005,26(3):155-157.
- [22] 王涛,吕昌河,于伯华.基于 WOFOST 模型的京津冀地区冬小麦生产潜力评价[J].自然资源学报,2010,25(3):475-487.
- [23] 朱津辉,郭建茂,毛留喜.基于模型的河北省保定市冬小麦最佳灌溉方案研究[J].气象,2014,40(11):1398-1407.
- [24] QX/T 81-2007,小麦干旱灾害等级[S].北京:气象出版社,2007.

(责任编辑:王丝语)