

王亚许, 吕娟, 孙洪泉, 等. 基于 APSIM 模型的辽宁省玉米旱灾风险评估[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 230–234. [WANG Yaxu, LV Juan, SUN Hongquan, et al. Risk Assessment of Maize Drought in Liaoning Province Based on APSIM Model[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(3): 230–234. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.03.038.]

基于 APSIM 模型的辽宁省玉米旱灾风险评估^{*}

王亚许^{1,2}, 吕娟^{1,2}, 孙洪泉^{1,2}, 屈艳萍^{1,2}, 苏志诚^{1,2}

(1. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘 要: 利用位于辽宁省内的 14 个国家气象站 1961–2013 年的气象数据作为 APSIM 作物模型的输入数据, 统计年鉴中 1996–2005 年各地市玉米产量及玉米生育期数据对 APSIM 作物模型进行参数率定, 2006–2013 年产量数据对模型进行验证。利用参数率定后的 APSIM 模型对各地市玉米生长过程进行模拟, 分析玉米因旱损失规律, 评估玉米旱灾风险等级。研究结果表明: APSIM 作物模型在辽宁省各地市具有良好的适用性, 能较好地模拟玉米生长过程; 模型模拟辽宁省 1961–2013 年平均玉米因旱损失为 2 250 kg/hm², 因旱损失严重; 玉米因旱损失-频率曲线符合 P-Ⅲ型概率分布; 旱灾风险评估结果表明辽宁西北部地区玉米旱灾风险较大。

关键词: APSIM 模型; 玉米; 因旱损失; 旱灾; 风险评估; 辽宁

中图分类号: X43; S42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2017)03–0230–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2017.03.038

旱灾是影响人类生活和社会经济发展的主要自然灾害之一, 它在持续时间、影响范围和灾害影响等方面位列自然灾害之首^[1]。自 1990 年以来, 我国因旱年均粮食损失高达 260 Gkg^[2], 干旱灾害已被视为影响粮食安全的决定性因素^[3–4]。近年来, 大范围的干旱灾害频发, 对我国农业发展及粮食安全等造成了严重威胁^[5]。目前对于干旱的管理我国也于 2003 年提出了防洪抗旱“两个转变”的新思路, 随着由传统的消极被动抗旱、应急管理向积极主动抗旱、风险管理转变, 旱灾风险管理逐渐兴起^[6]。农业旱灾风险评估为干旱风险管理的重要内容, 对采取抗旱措施、评价干旱程度、抗旱物资调配以及抗旱规划等具有重要意义。

目前对于农业旱灾风险评估方法已有广泛研究, 金菊良等^[7]将已有方法归纳为三类: 基于旱灾损失风险构成要素的旱灾损失风险指数评估方法, 基于历史旱灾损失频率分析的旱灾损失风险曲线评估方法以及基于旱灾损失风险物理成因过程的旱灾损失风险曲线评估方法。HE B 等^[8]分析致灾因子的危险性、承灾体的暴露性和灾损敏感性以及抗灾能力等方面着手建立评价指标体系, 对旱灾风险的等级评价, 此方法属于第一类。屈艳萍等^[9]通过建立干旱频率–潜在损失–抗旱能

力之间的定量关系实现对旱灾风险的定量评估, 在第二类方法的基础上提出了旱灾风险定量评估总体框架。单琨等^[10]通过对作物种植产量与种植面积, 用实际干旱发生频率、农业气象干旱发生频率、玉米生产相对暴露率和单产水平等 4 个因素构建了辽宁地区玉米干旱风险指数, 在分析旱灾成因的基础上对辽宁地区玉米干旱进行了风险分析和风险区划, 属于第三类评估方法。由于干旱发生机理复杂, 旱灾风险评估对资料要求较高, 且难以量化。本研究在第二类方法的基础上, 运用作物模型对作物生长过程进行模拟, 跳过了干旱的复杂机理, 运用模型设置统一的耕作方式、作物品种及田间管理方式来研究旱灾损失风险, 构建基于作物模型及历史旱灾损失频率的旱灾风险定量评估总体框架。

1 研究区及资料

1.1 研究区概况

辽宁省作为中国东北粮食基地的重要组成部分, 是中国重要的优质玉米生产基地和玉米出口

^{*} 收稿日期: 2016–11–28 修回日期: 2017–01–10

基金项目: 国家自然科学基金项目(51209220); 中国水利水电科学研究院科研专项(JZ0145B592016); 水利部公益性行业科研专项(201401036)

第一作者简介: 王亚许(1990–), 男, 河南许昌人, 硕士研究生, 主要从事旱灾风险评估研究. E-mail: wangyxiwhr@sina.com

通讯作者: 孙洪泉(1983–), 男, 辽宁丹东人, 高级工程师, 主要从事抗旱减灾研究. E-mail: sunhq@iwhr.com

基地^[11],2014 年辽宁省玉米播种面积为 2 245.6 km²,总产量为 1 563.2 万 t。辽宁地处温带季风气候,四季分明,气候灾害频发,是全国干旱灾害频发的省份之一,辽西北更有“十年九旱”的称谓,干旱灾害是制约辽宁省工农业发展的重要因素之一^[12]。近些年,辽宁省更是重旱频发,1999–2001 年辽宁省连续 3 年发生干旱,2000 年发生了新中国成立以来最为严重的大面积干旱,2006 年辽西北遭遇特大伏旱,2007 年全省遭遇严重夏旱,2009 年辽西北又发生百年不遇的特大干旱,均造成了农业大幅度减产^[13]。辽宁省的农业旱灾风险评估对辽宁省抗旱减灾,抗旱管理等提供支撑。

1.2 资料

本研究的数据资料主要涉及用于 APSIM 模型输入的气象数据以及用于模型参数率定及验证的玉米产量、生育期数据。气象数据包括辽宁省各地市 14 个气象站点 1961–2013 年长序列逐日气象数据,具体包括降雨、最低气温、最高气温、风速、相对湿度、日照等来源于“中国气象数据网”。本研究以地市为单位,运用 14 个气象站点代表辽宁 14 个地市的气象输入。玉米作物品种生育期数据主要来源于文献^[14]。APSIM 作物模型所需的土壤数据来源于北京师范大学戴永久面向陆面模拟的中国土壤数据集^[15],运用此数据集对模型土壤特性数据进行设置。用于模型参数率定及验证的地市级玉米单产数据及播种面积数据主要来源于历年的统计年鉴^[16]。

2 模型与方法

2.1 APSIM 模型

APSIM(Agricultural Production System Simulator)模型是澳大利亚科学家开发研制的,用于模拟农业系统各生物过程的机理模型。自 1991 年问世以来,已在澳大利亚、意大利、荷兰、新西兰等国家得到广泛验证,在国内部分地区也得到了验证^[17]。

对模型设置统一的种植参数及管理参数。利用 1996–2005 年玉米单产及生育期数据对各地市进行参数率定。以铁岭市参数率定结果为例,参数率定结果见表 1。

采用以下统计量对 APSIM 模型在各地市产量模拟结果进行评价,模拟值与实测值之间的决定系数(R^2);均方根误差(RMSE)以及 Willmott^[18]提出的一致性指标(D 指标)。其中 R^2 和 D 指标反映模拟值与实测值的一致性,其值越接近 1 说明模拟效果越好;RMSE 反映了模拟值与实测值之间的绝对误差,其值越小,表明误差值越小^[19]。

表 1 APSIM 模型铁岭市玉米作物参数率定结果

作物品种	率定参数	取值
先玉 335	出苗到营养期结束积温/℃	250
	开花至成熟积温/℃	1250
	临界光周期 1/h	9.8
	临界光周期 2 /h	24.0
	开花至灌浆积温/℃	80
	灌浆速率/(mg/grain/d)	19.5
	单位单茎重籽粒数/(kernels/g · stem)	27.0

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{N}}; \quad (1)$$

$$D = 1 - \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{\sum (|S_i - O| + |O_i - O|)^2}。 \quad (2)$$

式中: S_i 为模拟值, O_i 为实测值, O 为平均值, N 为样本数。

2.2 损失-频率计算

运用 APSIM 作物模型,模拟 1961–2013 年的各地市玉米生长过程及产量,将历年最高产量作为潜在产量或是期望产量,由于模型对玉米种植参数相同,耕作管理等措施设置相同,排除其他因素的影响,只有气象条件对产量的影响,故将潜在产量与模拟年份产量的差值即为玉米因旱损失量。

$$Y_{loss} = Y_m - Y_s, \quad (3)$$

式中: Y_{loss} 为玉米因旱损失量; Y_m 为潜在产量; Y_s 为模拟产量。

对玉米因旱损失量计算经验频率:

(1)将旱灾损失序列由大到小排列,计算其经验频率;设玉米因旱损失数据长度为 n ,按从大到小的次序排列为 x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_m 、 \dots 、 x_n ,则按下式计算经验频率:

$$p = \frac{m}{n+1} \times 100\%。 \quad (4)$$

式中: P 为等于和大于 x_m 的经验频率; m 为 x_m 的序号,即等于和大于 x_m 的项数; n 为样本容量,即旱灾时序数据的总项数。

(2)用适线法进行配线;

(3)反查不同重现期的玉米因旱损失;

(4)对不同重现期因旱损失划分风险等级。

3 结果分析

3.1 模型验证

运用以上方法对模型进行评价,各地市评价结果见表 2。评价结果可以看出,除了营口市决定系数(R^2)小于 0.6,一致性指标小于 0.7 外,其他地市模拟效果较好,这表明模型在辽宁省总体适用性

表 2 辽宁各地市模型评价结果

地市	RMSE	D	R^2	地市	RMSE	D	R^2
阜新	1435	0.92	0.87	抚顺	1031	0.78	0.71
铁岭	1880	0.76	0.63	葫芦岛	1826	0.79	0.67
朝阳	1270	0.89	0.69	盘锦	603	0.93	0.77
锦州	1122	0.9	0.67	营口	1763	0.63	0.51
辽阳	1064	0.72	0.76	鞍山	568	0.86	0.75
沈阳	969	0.85	0.78	丹东	790	0.69	0.62
本溪	702	0.79	0.73	大连	1242	0.7	0.66

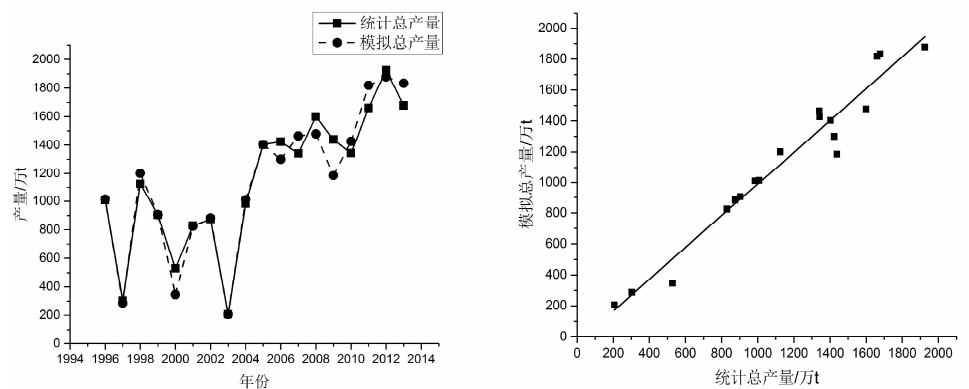


图 1 辽宁省 1996 – 2013 年 APSIM 模型模拟产量与统计产量对比及拟合

结果良好。图 1 为模型模拟历年玉米总产量与统计产量的比较，从图 1 左图中看出在 2000 年及 2009 年产量模拟误差较大，2000 年及 2009 年均发生严重干旱，由此说明 APSIM 模型在发生极端干旱时产量模拟偏低。图 1 右图表明模型对于辽宁省 1996 – 2013 年玉米总产量模拟结果较好，达到 0.935。

3.2 因旱损失序列数据计算

运用验证过的 APSIM 模型，对各地市玉米历年的生长过程进行模拟，得出各地市 1961 – 2013 年玉米模拟产量，计算历年玉米因旱损失。对结果进行“损失 – 频率”分析，采用 P – III 曲线拟合，以锦州市为例，适线结果均值 $Ex = 233$ ，变差系数 $Cv = 0.6$ ，偏态系数 $Cs = 2Cv$ ，拟合度达到 0.94，表明玉米因旱损失 – 频率曲线服从 P – III 概率分布。通过对辽宁省 14 个计算单元的干旱“损失 –

频率”拟合曲线的分析，均能生成比较合理的 P – III 曲线，通过与实际情况的对比，曲线能比较真实地反应出辽宁省玉米因旱损失状况。

3.3 玉米旱灾风险等级划分

根据适线法配线结果，反查各地市不同重现期下的玉米因旱损失，根据玉米因旱损失量划分旱灾风险等级，分 4 个等级提出 5 年、10 年、20 年、50 年、100 年、多年平均等 6 种干旱情况下的玉米旱灾风险等级划分标准，根据此等级标准，划分各地市不同干旱情境下的玉米旱灾风险等级，见表 3。根据等级划分的结果，在玉米旱灾风险值上，叠加地理信息，形成辽宁省不同干旱等级旱灾风险分布图，见图 2。由图 2 可以看出辽宁西北部地区玉米因旱损失风险较大，中部地区旱灾风险相对较小。

表 3 辽宁省地市级行政区玉米因旱损失风险等级划分标准 kg/hm^2

干旱等级	风险等级			
	I 级	II 级	III 级	IV 级
5 年一遇	$r > 3500$	$3500 \geq r > 3000$	$3000 \geq r > 2600$	$r \leq 2600$
10 年一遇	$r > 4550$	$4550 \geq r > 4000$	$4000 \geq r > 3400$	$r \leq 3400$
20 年一遇	$r > 5500$	$5500 \geq r > 4500$	$4500 \geq r > 4000$	$r \leq 4000$
50 年一遇	$r > 6700$	$6700 \geq r > 5500$	$5500 \geq r > 5000$	$r \leq 5000$
100 年一遇	$r > 7700$	$7700 \geq r > 6200$	$6200 \geq r > 5000$	$r \leq 5000$
多年平均	$r > 3000$	$3000 \geq r > 2300$	$2300 \geq r > 2000$	$r \leq 2000$

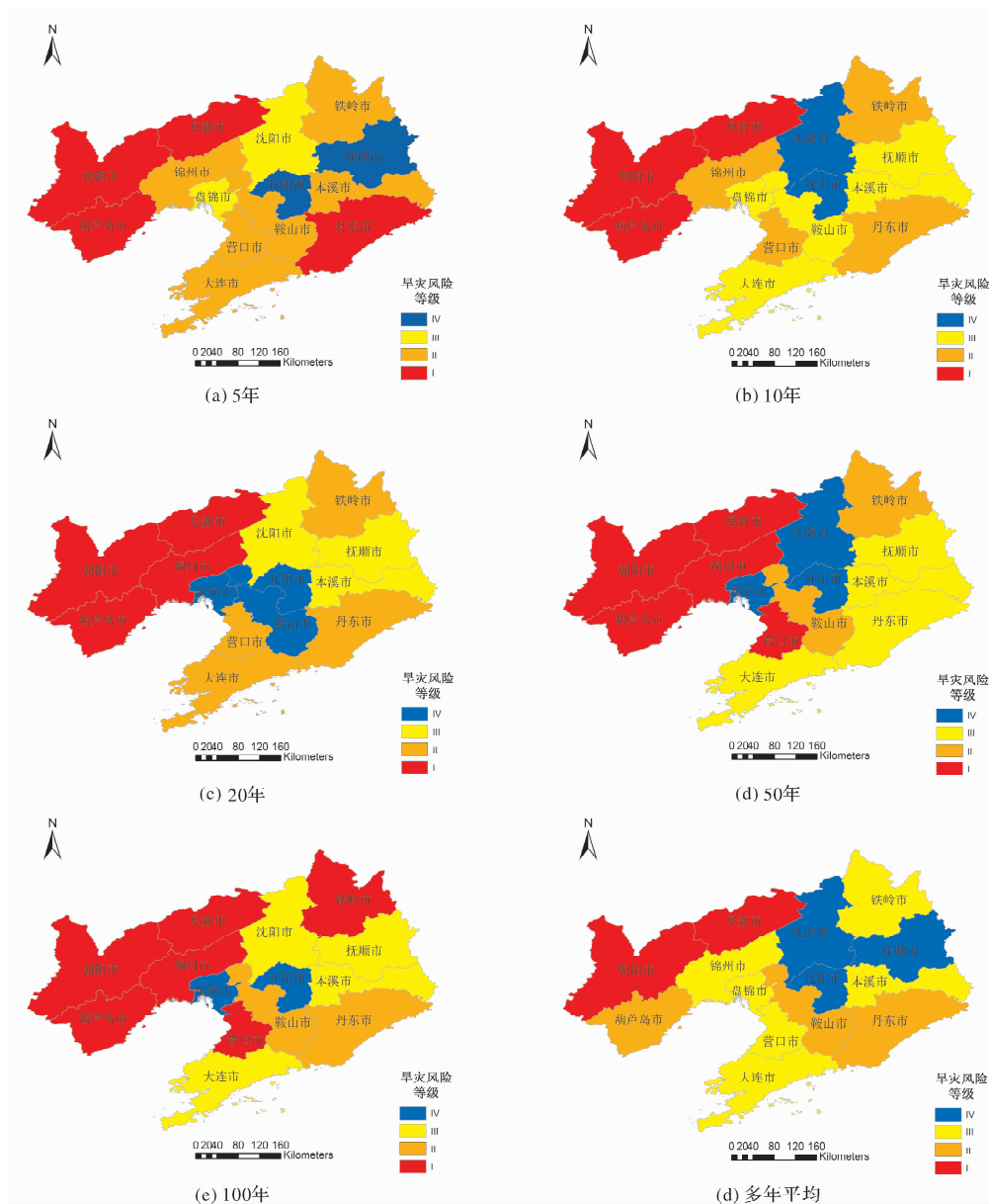


图2 辽宁省不同重现期下的粮食损失风险等级

4 结论

旱灾风险评估是旱灾风险管理的核心内容, 为抗旱决策提供重要的技术支撑, 但是现阶段关于旱灾风险评估全面量化还存在一定的难度。本研究应用 APSIM 作物模型对辽宁省各地市玉米生长过程进行模拟, 模型验证结果表明 APSIM 模型在各地市具有较好的适用性, 因旱损失分析表明辽宁省 1961 – 2013 年平均玉米因旱损失为 $2\,250\text{ kg/hm}^2$, 因旱损失严重。玉米因旱损失-频率曲线符合 P-III 概率分布, 通过适线后的 P-III 曲线反查不同重现期下的玉米因旱损失, 划分旱灾风险等级, 结果表明辽宁西北地区玉米旱灾风险较大, 中部地区玉米旱灾风险较小。对辽宁省玉米旱灾风险量化为进一

步研究抗旱能力、实施干旱管理以及抗旱减灾策略提供依据。

参考文献:

- [1] UNISD R. Drought risk reduction framework and practices: Contributing to the implementation of the Hyogo framework for action [R]. Geneva: United Nations Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2009: 1–6.
- [2] 水利部, 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 中国水旱灾害公报 2013[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [3] Lobell D B, Field C B. Global scale climate crop yield relationships and the impacts of recent warming [J]. Environmental Research Letters, 2007, 2(1): 1–7.
- [4] 吕娟. 我国干旱问题及干旱灾害管理思路转变[J]. 中国水利, 2013(8): 7–13.
- [5] 水利部水利水电规划设计总局. 中国抗旱战略研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [6] 屈艳萍, 高辉, 吕娟, 等. 基于区域灾害系统论的中国农业旱

- 灾风险评估[J]. 水利学报, 2015, 46(8): 908-917.
- [7] 金菊良, 宋占智, 崔毅, 等. 旱灾风险评估与调控关键技术研究进展[J]. 水利学报, 2016, 47(3): 398-412.
- [8] He B, Wu J, Lü A, et al. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agricultural drought risk in China [J]. Natural Hazards, 2013, 66(2): 155-166.
- [9] 屈艳萍, 郦建强, 吕娟, 等. 旱灾风险定量评估总体框架及其关键技术[J]. 水科学进展, 2014, 25(2): 297-304.
- [10] 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.
- [11] Wu H, Wilhite D A. An operational agricultural drought risk assessment model for nebraska, USA [J]. Natural Hazards, 2004, 33(1): 1-21.
- [12] 赵春雨, 曲晓波, 王颖, 等. 辽宁气候变化及若干气象灾害的事实分析[J]. 灾害学, 2007, 22(4): 77-80.
- [13] 王殿武. 发展节水农业是解决 21 世纪水资源短缺的最有效途径[M]. 北京: 中国三峡出版社, 2000.
- [14] 陈群, 耿婷, 侯雯嘉, 等. 近 20 年东北气候变暖对春玉米生长发育及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(10): 1904-1916.
- [15] Shangguan W, Dai Y, Liu B, et al. A China data set of soil properties for land surface modeling [J]. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2013, (2): 212-224.
- [16] 辽宁省统计局. 辽宁统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1997-2014.
- [17] 沈禹颖, 南志标, Bill Bellotti, 等. APSIM 模型的发展与应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1027-1032.
- [18] Willmott C J. Some comments on the evaluation of model performance[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1982, 63(11): 1309-1369.
- [19] 李广, 黄高宝. 基于 APSIM 模型的降水量分配对旱地小麦和豌豆产量影响的研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 342-347.

Risk Assessment of Maize Drought in Liaoning Province based on APSIM Model

WANG Yaxu^{1,2}, LV Juan^{1,2}, SUN Hongquan^{1,2}, QU Yanping^{1,2} and SU Zhicheng^{1,2}

(1. Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Using meteorological data from 14 national weather stations in Liaoning Province during 1961-2013 as the input data of APSIM crop model, The parameters of APSIM crop model are determined by using the spring maize yield data of all over the city of Liaoning in 1996-2005, and the model is validated by 2006-2013 data. The APSIM model is used to simulate the growth process of spring maize in different parts of Liaoning Province, and the law of agricultural drought loss in Liaoning province is analyzed. The research results show that: APSIM model has good applicability in Liaoning Province, and it can reflect the growth process of spring maize in Liaoning province. 1961-2013 annual average spring maize drought losses of 150 kg / acre, maize drought losses are severe. Drought losses and frequency curves of Liaoning spring maize were in line with the probability distribution of P-Ⅲ. Drought risk assessment results show that the drought risk of Maize in the northwest region of Liaoning is greater.

Key words: APSIM model; maize; drought loss; drought disaster; risk assessment; Liaoning

《灾害学》被评为“RCCSE 中国核心学术期刊(A)”

据中国科教评价网消息, 在《中国学术期刊评价研究报告(武大版)(2017-2018)》(第5版)中, 《灾害学》杂志被评为“RCCSE 中国核心学术期刊(A)”。

《中国学术期刊评价研究报告》(以下简称《报告》)是武汉大学中国科学评价研究中心的四大评价报告之一, 于2009年3月联合国内外多家科研机构正式推出第1版, 随后于2011年、2013年、2015年分别推出第2版、第3版和第4版。

《灾害学》编辑部