

王琳,倪闻,张淑敏,等.铜川市春玉米干旱天气指数保险产品研究[J].陕西气象,2025(4):46-51.

文章编号:1006-4354(2025)04-0046-06

铜川市春玉米干旱天气指数保险产品研究

王琳^{1,2,3},倪闻^{1,3},张淑敏¹,彭力¹,肖尚¹,袁哲¹

(1.铜川市气象局,陕西铜川 727000;2.铜川市中草药气象服务研究中心,陕西铜川 727000;
3.中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室,西安 710016)

摘要:利用铜川市1990—2020年国家气象观测站逐日气象资料及各区县玉米产量数据,分析玉米干旱气象指数与相对气象产量之间的关系,构建玉米灾损模型,厘定玉米干旱保险纯费率,设计玉米干旱气象指数保险产品。结果表明:铜川市玉米在出苗期至乳熟期发生干旱对春玉米产量影响最大,因此分别构建出苗期至乳熟期和全生育期的干旱减产率模型,设计春玉米干旱保险赔付标准,且在干旱指数 $>40\%$ 时开始赔付。出苗期至乳熟期、全生育期春玉米干旱天气指数保险纯费率分别为6.4%、6.1%,保费分别为337元/hm²、349元/hm²。

关键词:铜川;春玉米;干旱;天气指数保险

中图分类号:F842.66;F326.11

文献标识码:A

玉米是中国种植最为广泛的农作物之一,总产量位于三大粮食作物之首^[1],是非常关键的粮食、饲料和经济作物,在保障国家粮食安全中承担着重要角色^[2]。玉米种植生长过程中容易遭受干旱、高温、雷暴等自然灾害,对玉米产量造成了严重威胁。铜川市地处渭北旱塬,积温高,日照长,昼夜温差大,常年年平均降水量550 mm,属于雨养农业区^[3]。玉米是铜川市种植面积最大的粮食作物,约占全市粮食种植面积的58%,2022年播种面积为4.31万hm²,总产值5.9亿元。铜川玉米种植以春玉米为主,一般4月下旬开始播种,9月底成熟收获,种植期间阶段性干旱频繁发生,严重影响春玉米的产量,给种植户带来严重的经济损失。

农业保险作为一种风险管理工具,可有效转移分散农业生产中的灾害风险^[4-6]。传统农业保险存在的道德风险和逆选择等问题,导致农民参保的积极性不高,而天气指数保险能有效规避上

述问题,并且在核灾定损等方面操作简便^[7-8],无需实地查勘灾损^[9]。国外对天气指数保险的研究和应用已经较为广泛:墨西哥在天气指数保险费率厘定方面会根据不同地域经济发展情况进行不同的定价或差异性保费补贴^[10]。印度为降低自然灾害对咖啡、芒果等造成的损失,推出了降雨量、洪涝和高温指数保险产品^[11]。埃塞俄比亚设计了降水指数保险,来降低干旱灾害对农业造成的损失^[12]。自2008年天气指数保险被我国学者熟知,姜伟平等^[13-14]针对浙江省柑橘冻害和水稻洪涝灾害分别设计了柑橘冻害和水稻洪涝天气指数保险的理赔指数。朱俊生^[15]针对安徽省水稻气象灾害风险,设计了安徽水稻天气指数保险产品。孙擎等^[16]通过建立早稻减产率与高温持续天数间的关系模型,设计了江西早稻高温逼熟气象灾害指数保险。杨帆等^[17]通过分析气候变化对东北三省玉米干旱不同指数保险纯费率厘定的影响,设计了东北三省玉米干旱指数保险产品。

收稿日期:2024-10-12

作者简介:王琳(1994—),女,汉族,陕西长武人,硕士,工程师,从事天气预报与农业气象服务。

通信作者:倪闻(1988—),女,汉族,江苏徐州人,硕士,工程师,从事天气预报预警和气象服务。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2024G-20;2023Y-12)

杨晓娟等^[18]基于陕西长武玉米干旱灾害,设计了干旱指数保险赔付方案。

干旱是铜川春玉米产量的主要限制因素^[19]。目前已有针对黄土高原地区春玉米干旱灾害的研究^[20-21],但尚无相应的干旱风险转移产品,陕西大多天气指数保险产品研究集中于苹果^[22-23],未见有针对铜川春玉米干旱天气指数保险产品的设计研究。基于此,通过建立铜川春玉米干旱指数减产率模型,设计春玉米干旱气象指数保险产品,为铜川市农业气象指数保险的推广和应用提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

所用资料包括 1990—2020 年铜川国家气象观测站逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量、平均相对湿度、平均水汽压、平均风速、日照时数等气象观测数据和玉米产量数据,气象数据来源于陕西省气象信息中心,玉米产量数据来源于铜川市统计局。

1.2 研究方法

1.2.1 春玉米生育期划分 本文结合联合国粮农组织玉米生育期的划分标准^[22]和铜川农业气象观测资料,将春玉米生育期划分为 5 个生育期:播种期至出苗期、出苗至拔节期、拔节至抽雄期、抽雄至乳熟期、乳熟至成熟期(表 1)。

表 1 铜川春玉米生育期划分

日期	生育期
4月20日—5月5日	播种—出苗期
5月6日—6月15日	出苗—拔节期
6月16日—7月15日	拔节—抽雄期
7月16日—8月20日	抽雄—乳熟期
8月21日—9月30日	乳熟—成熟期

1.2.2 干旱指数构建 参考杨太明等^[24]研究,

在春玉米各生育期累计降水量小于潜在蒸散量(即干旱)时,将水分亏缺率(C_{WD})的绝对值定义为春玉米干旱指数(I),公式如下。

$$I = |C_{WD}|, \quad (1)$$

$$C_{WD} = \frac{R - E_{Tm}}{E_{Tm}} \times 100\%。 \quad (2)$$

式中, I 为作物的干旱指数(%), C_{WD} 为水分亏缺率(%), R 为累积降水量(mm), E_{Tm} 为作物潜在蒸散量(mm)。

$$E_{Tm} = K \times E_{To}。 \quad (3)$$

式中, K 为作物系数, E_{To} 为参考作物蒸散量(mm),采用联合国粮农组织 FAO 推荐的 Penman-Monteith 公式计算^[25],公式如下。

$$E_{To} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}。 \quad (4)$$

式中, Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线的斜率($kPa/^\circ C$), R_n 为植被表面净辐射量 $[MJ/(m^2 \cdot d)]$, G 为土壤热通量 $[MJ/(m^2 \cdot d)]$, γ 为湿度计常数($kPa/^\circ C$), T 为日平均气温($^\circ C$), u_2 为 2 m 高处风速(m/s), e_s 为饱和水汽压(kPa), e_a 为实际水汽压(kPa)。参考联合国粮农组织推荐的标准作物系数^[25],确定铜川市春玉米各生育期作物系数 K ,具体取值见表 2。

1.2.3 春玉米减产率计算 作物实际产量可分解为趋势产量、气象产量和随机误差,趋势产量由技术进步、社会经济发展等因素决定,气象产量则受气象因素的影响,随机误差影响较小,可忽略不计^[26]。采用 3 a 滑动平均法对实际产量数据进行连续滑动处理求得趋势产量,从实际产量中减去趋势产量,得到气象产量,进一步计算出相对气象产量;当相对气象产量为负时表示作物减产,将其绝对值定义为减产率,公式如下。

$$Y_m = Y - Y_t, \quad (5)$$

表 2 铜川市春玉米各生育期作物系数(K)

生育期	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
K	0.40	0.77	1.13	0.87	0.57

$$Y_p = \frac{Y_m}{Y_t} \times 100\%, \quad (6)$$

$$D = |Y_p|. \quad (7)$$

式中, Y_m 为气象产量, Y 为作物实际产量, Y_t 为趋势产量, Y_p 为相对气象产量, D 为减产率。

1.2.4 春玉米干旱天气指数保险赔付标准 参考曹雯等^[27]研究, 干旱气象指数保险赔付公式如下。

$$M = \frac{D - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \times Q. \quad (8)$$

式中, M 为单位面积保险赔偿金额(元/ hm^2), D_{\min} 是赔付触发值对应的减产率, D_{\max} 是最高减产率, Q 是保险金额(元/ hm^2)。

1.2.5 纯保险费率厘定 纯费率是单位面积标的物灾害损失率的数学期望值^[28], 公式如下^[29]。

$$R_{\text{ate}} = E[l_y] = \sum (L_r \times P_1), I > m. \quad (9)$$

式中, R_{ate} 为纯保险费率, l_y 为产量损失, $E[l_y]$ 为产量损失的期望值, L_r 为春玉米干旱减产率, P_1 为春玉米干旱概率, m 为干旱天气指数保险赔付触发值。

2 结果分析

2.1 干旱指数与春玉米相对气象产量关系

将铜川春玉米各生育期的干旱指数与相对气象产量进行相关性分析, 结果如表 3。从表中看出不同生育期春玉米干旱指数与相对气象产量的相关性差异较大, 相关性从大到小依次为: 出苗—拔节期、拔节—抽雄期、抽雄—乳熟期、乳熟—成熟期、播种—出苗期。其中出苗—拔节期春玉米干旱指数与相对气象产量呈极显著的负相关关系 ($P < 0.01$), 相关系数为 -0.649 ; 在拔节—抽雄期、抽雄—乳熟期均呈显著负相关 ($P < 0.05$), 相关系数分别为 -0.436 、 -0.424 。结合杨晓娟等^[25]研究、铜川地区年降水量变化规律^[30]和春玉米生长特征, 选取出苗—乳熟期为铜川春玉米的需水关键期, 并对需水关键期干旱指数与相对气象产量做相关性分析, 结果显示: 在出苗—乳熟期春玉米干旱指数与相对气象产量呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 相关系数达到了 -0.579 。从全生育期来看, 铜川春玉米干旱指数与相对气象产量之间呈现极显著负相关 ($P < 0.01$), 相关系数为 -0.521 。说明在出苗—乳熟期、全生育期的干旱

灾害对春玉米的产量有极为不利的影晌。

表 3 铜川春玉米各生育期干旱指数与相对气象产量相关系数

生育期	相关系数
播种—出苗期	-0.150
出苗—拔节期	-0.649^{**}
拔节—抽雄期	-0.436^*
抽雄—乳熟期	-0.424^*
乳熟—成熟期	-0.184
出苗—乳熟期	-0.579^{**}
全生育期	-0.521^{**}

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上极显著相关。

2.2 铜川春玉米干旱减产率模型

由于铜川春玉米减产不一定是由某一种气象灾害导致, 所以在确定春玉米干旱气象指数与减产率关系前, 需将数据样本进行筛选。选取满足当年春玉米出苗—乳熟期和全生育期发生干旱(即累计降水量小于潜在蒸散量)导致当年春玉米发生减产(减产率 $D > 5\%$)的数据进行统计, 分别对符合要求样本的出苗—乳熟期和全生育期春玉米干旱指数与减产率进行回归分析, 建立春玉米减产率模型(表 4), 得出回归判定系数分别为 0.467、0.414, 均通过了 0.05 显著性水平的检验。从回归方程可知, 春玉米的干旱指数越大, 减产率就越高。在出苗—乳熟期: 春玉米的干旱指数为 40% 时, 减产率为 8%; 干旱指数为 60% 时, 减产率为 16.7%; 干旱指数为 80% 时, 减产率为 24.9%; 干旱指数为 100% 时, 减产率为 33.2%。从全生育期看: 春玉米的干旱指数为 40% 时, 减产率为 13.7%; 干旱指数为 60% 时, 减产率为 21.2%; 干旱指数为 80% 时, 减产率为 28.6%; 干旱指数为 100% 时, 春玉米减产率为 36%。

根据北方春玉米干旱等级标准及铜川市春玉米干旱指数与减产率之间的关系, 将铜川市春玉米干旱等级划分为轻旱、中旱、重旱和特重旱 4 个等级, 如表 5 所示。该等级划分与已有研究^[31]划分的干旱等级基本相符, 说明构建的模型可信度较高。

表4 铜川春玉米不同生育期减产率模型

生育期	减产率模型	R^2
出苗—乳熟期	$D=0.413I-0.081$	0.467
全生育期	$D=0.371I-0.011$	0.414

注: D 为春玉米减产率, I 为不同生育期对应的干旱指数。

表5 铜川市春玉米干旱等级划分

干旱等级	减产率 $D/\%$	干旱指数 $I/\%$	
		出苗—乳熟期	全生育期
轻度	$D<10$	$I<43$	$I<30$
中度	$10\leq D<20$	$43\leq I<68$	$30\leq I<57$
重度	$20\leq D<30$	$68\leq I<92$	$57\leq I<84$
特重度	$D\geq 30$	$I\geq 92$	$I\geq 84$

2.3 春玉米干旱天气指数保险产品的设计

在没有灾害发生的情况下,铜川地区春玉米单产为 $6\ 900\text{ kg}/\text{hm}^2$,按照目前市场价格 $2.3\text{ 元}/\text{kg}$ 来推算,丰产产值可达 $15\ 870\text{ 元}/\text{hm}^2$ 。现行陕西省玉米种植保险中,普通农户保费 $290\text{ 元}/\text{hm}^2$,保险金额 $6\ 000\text{ 元}/\text{hm}^2$ ^[25],种植大户保费 $540\text{ 元}/\text{hm}^2$,保险金额 $12\ 750\text{ 元}/\text{hm}^2$ 。根据上述

干旱指数与春玉米减产率回归方程可知,在出苗—乳熟期干旱指数最高为 100% 时,春玉米减产率最高可达 33.2% ,即出苗—乳熟期干旱灾害最多导致春玉米损失 $5\ 269\text{ 元}/\text{hm}^2$;全生育期干旱指数为 100% 时,减产率最高可达 36% ,造成的经济损失约为 $5\ 713\text{ 元}/\text{hm}^2$ 。参考陕西现行政策性农业保险条款^[29],选择干旱指数 40% 为地区春玉米干旱保险赔付的触发值。在实施指数保险赔付前,先判定干旱指数是否超过赔付触发值,若干旱指数 $\leq 40\%$,则不发生赔付;若 $> 40\%$,则根据干旱指数与春玉米减产率关系模型得到相应的减产率及赔付金额。表6为部分干旱指数对应的减产率、赔付比例和赔付金额。由表6可看出,在出苗—乳熟期,春玉米的干旱指数为 60% 时,减产率为 16.7% ,赔付比例为 33.4% ,赔付金额为 $1\ 763\text{ 元}/\text{hm}^2$;干旱指数为 80% 时,减产率为 24.9% ,赔付比例为 66.5% ,赔付金额为 $3\ 506\text{ 元}/\text{hm}^2$ 。在全生育期,春玉米的干旱指数为 60% 时,减产率为 21.1% ,赔付比例为 33.6% ,赔付金额为 $1\ 921\text{ 元}/\text{hm}^2$;干旱指数为 80% 时,减产率为 28.6% ,赔付比例为 66.8% ,赔付金额为 $3\ 817\text{ 元}/\text{hm}^2$ 。

表6 铜川市春玉米干旱天气指数保险赔付标准

干旱指数 $\%$	出苗—乳熟期			全生育期		
	减产率 $\%$	赔付比例 $\%$	赔付金额 $/(\text{元}/\text{hm}^2)$	减产率 $\%$	赔付比例 $\%$	赔付金额 $/(\text{元}/\text{hm}^2)$
40	8.4	0.0	0	13.7	0.0	0
50	12.6	16.9	892	17.5	17.0	974
60	16.7	33.4	1 763	21.2	33.6	1 921
70	20.8	50.0	2 635	24.8	49.8	2 844
80	24.9	66.5	3 506	28.6	66.8	3 817
90	29.1	83.5	4 398	32.3	83.4	4 765
100	33.2	100.0	5 269	36.0	100.0	5 713

基于铜川市 1990—2020 年气象观测数据,通过计算不同干旱指数的发生概率及其对应的减产率,利用公式(9)来厘定干旱天气指数保险纯费率,计算得在出苗—乳熟期春玉米干旱天气指数纯保险费率为 6.4% ,全生育期春玉米干旱天气

指数纯保险费率为 6.1% 。保费=保险金额×纯保险费率,则在出苗—乳熟期春玉米干旱天气指数保险费为 $337\text{ 元}/\text{hm}^2$,全生育期春玉米干旱天气指数保险费为 $349\text{ 元}/\text{hm}^2$ 。该结果与刘珏焱等^[32]得出内蒙东部和中部春玉米干旱指数保费

330~435 元/hm²较为接近,说明本研究具有较好的参考性。

3 结论与讨论

(1)铜川春玉米在不同生育期干旱指数与相对气象产量的相关性差异较大,其中出苗—拔节期干旱气象指数与相对气象产量呈极显著的负相关关系,拔节—抽雄期、抽雄—乳熟期均呈显著负相关,表明在5月到6月上旬的干旱对春玉米产量有极为不利的影响。出苗—乳熟期和全生育期春玉米干旱气象指数与相对气象产量均呈极显著负相关,即干旱是制约铜川春玉米产量的重要因素,选取铜川春玉米出苗—乳熟期和全生育期构建的春玉米减产率模型可信度较高。

(2)铜川春玉米干旱天气指数保险产品的起赔标准为干旱指数>40%,出苗—乳熟期、全生育期春玉米干旱天气指数保险产品的纯保险费率分别为6.4%、6.1%,保费分别为337元/hm²、349元/hm²。本研究中,出苗—乳熟期春玉米干旱天气指数保险纯保险费率高于全生育期,可能是由于春玉米出苗—乳熟期阶段干旱风险集中度高,需通过高费率覆盖潜在损失,而全生育期中后期风险分散,保险费率因此略低;也有可能是玉米产量可能受高温干旱复合灾害的影响也较大,未来将考虑进行高温干旱复合灾害天气指数保险产品的定价和保险合同的设计研究。

参考文献:

- [1] 尹小刚. 气候变化背景下东北玉米生产的干旱风险与适应对策[D]. 北京:中国农业大学,2015.
- [2] 何奇瑾,周广胜. 我国夏玉米潜在种植分布区的气候适宜性研究[J]. 地理学报,2011,66(11):1443-1450.
- [3] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报,2006,22(11):269-272.
- [4] 刘凯文,刘可群,邓爱娟,等. 基于开花期地域差异的中稻高温热害天气指数保险设计[J]. 中国农业气象,2017,38(10):679-688.
- [5] 翟镜翔. 河南省花生连阴雨气象指数保险产品的设计研究[D]. 郑州:河南大学,2021.
- [6] 王新伟,杜明哲,王丽,等. 河南省花生连阴雨灾害气象指数保险设计[J]. 生态学杂志,2018,37(11):3390-3395.
- [7] 秦拓,张天峰,曹彦超,等. 庆阳市苹果花期冻害指数保险设计[J]. 陕西气象,2023(2):69-73.
- [8] YANG X J, LIU Y, BAI W, et al. Evaluation of the crop insurance management for soybean risk of natural disasters in Jilin Province, China [J]. Natural Hazards, 2015, 76(1):587-599.
- [9] 陈盛伟,张宪省. 农业气象干旱指数保险产品设计的理论框架[J]. 农业技术经济,2014(12):32-38.
- [10] LAN F, HENRIK W. Concept and unintended consequences of weather index insurance: the case of Mexico [J]. American Journal of Agricultural Economics, 2011, 93(2):505-511.
- [11] STOPPA A, HESS U. Design and use of weather derivatives in agricultural policies: the case of rainfall index insurance in Morocco [R]. Agricultural Policy Reform and The WTO: Where Are We Heading? . Washington DC: The World Bank, 2003.
- [12] EYOB M. Providing weather index and indemnity insurance in Ethiopia [R]. Washington DC: International Food Policy Research Institute, 2010.
- [13] 姜伟平,吴利红,倪沪平,等. 柑橘冻害保险气象理赔指数设计[J]. 中国农业科学,2009,42(4):1339-1347.
- [14] 姜伟平,吴利红,姚益平. 水稻暴雨灾害保险气象理赔指数设计[J]. 中国农业科学,2010,43(3):632-639.
- [15] 朱俊生. 中国天气指数保险试点的运行及其评估:以安徽省水稻干旱和高温热害指数保险为例[J]. 保险研究,2011(3):19-25.
- [16] 孙擎,杨再强,殷剑敏,等. 江西早稻高温逼熟气象灾害指数保险费率的厘定[J]. 中国农业气象,2014,35(5):561-566.
- [17] 杨帆,刘布春,刘园,等. 气候变化对东北玉米干旱指数保险纯费率厘定的影响[J]. 中国农业气象,2015,36(3):346-355.
- [18] 杨晓娟,张仁和,路海东,等. 基于 CERES-Maize 模型的玉米水分关键期干旱指数天气保险:以陕西长武为例[J]. 中国农业气象,2020,41(10):655-667.
- [19] 高娟,薛小宁,万红卫,等. 陕西北部主要气象灾害变化及对玉米产量的影响[J]. 陕西农业科学,

- 2017,63(1):19-23.
- [20] 何斌,刘志娟,杨晓光,等. 气候变化背景下中国主要作物农业气象灾害时空分布特征(Ⅱ):西北主要粮食作物干旱[J]. 中国农业气象,2017,38(1):31-41.
- [21] 边超钧. 陕西省玉米干旱风险评估及区划研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2014.
- [22] 杨晓娟,孙靖博,孙彦坤,等. 陕西县域苹果种植风险评估与保险费率厘定[J]. 中国农业气象,2022,43(10):798-809.
- [23] 赵林. 陕西地区苹果气象指数保险产品的设计研究[D]. 济南:山东大学,2021.
- [24] 杨太明,许莹,孙喜波,等. 安徽省夏玉米干旱天气指数保险产品的设计及应用[J]. 气象,2016,42(4):450-455.
- [25] 杨晓娟,刘布春,刘园,等. 陕西长武玉米降水指数保险设计[J]. 生态学杂志,2021,40(3):899-907.
- [26] 高雁鹏,陈文俊. 1984—2020年辽宁省极端气温时空变化及粮食产量响应研究[J]. 地理科学,2021,41(11):2052-2062.
- [27] 曹雯,成林,杨太明,等. 河南省冬小麦拔节—抽穗期干旱天气指数保险研究[J]. 气象,2019,45(2):274-281.
- [28] KER A P, GOODWIN B K. Nonparametric estimation of crop insurance rates revisited[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2000, 82(2):463-478.
- [29] 赵自强,程飞,常晓鹏. 河南省夏玉米干旱天气指数保险研究[J]. 河南教育学院学报(自然科学版),2019,28(3):27-31.
- [30] 胡淑兰,蔡新玲,雷向杰. 2011年陕西气候影响评价[J]. 陕西气象,2012(3):22-26.
- [31] 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.
- [32] 刘玥焱. 玉米干旱指数保险设计:以内蒙古东部和中部地区为例[D]. 大连:东北财经大学,2020.