玉米连续性共生性气象指数保险费率研究

——以德州市陵城区为例

**摘 要**：研究意义-----。基于中国气象局、德州统计年鉴（1990-2018年）气象数据和玉米生产数据，以德州市陵城区为例，本文设计了涵盖玉米苗期干旱、拔节-抽穗期阴雨寡照、开花授粉期高温热害指数、开花授粉-乳熟期的风雨倒伏四种灾害的气象指数保险产品，最终费率为7.5%。研究表明：（1）夏玉米生长周期中的自然灾害具有连续性、共生性特点；（2）基于秩相关系数的准全面实验方法可以很好地确定多因子气象指数保险的触发值；（3）德州市陵城区的玉米连续性与共生性气象指数保险费率为7.5%，高于现行玉米保险费率。贡献在哪里-------

**关键词**：气象指数保险 费率厘定 风险管理

# 引言与文献回顾

自2007年实施政策性保费补贴以来，我国农业保险业务得到迅速发展，2018年（2019）三大主粮作物平均承保覆盖率继续（？）超过70%。但是，在农业保险业务取得-----成绩的同时，在理论上传统农业保险由于查勘定损中存在较突出的道德风险和逆向选择而导致交易成本高的问题，以及传统农险产品科学性低导致的核损定损难等问题，在实践中导致的农业保险业务不规范、经营成本高、理赔纠纷多等问题急待解决。相比传统农业保险，天气指数保险产品能实现在“承保—核损—理赔”过程中对象上的一致，具有防范道德风险、抑制逆向选择、降低经营成本的突出优势。同时，天气指数保险的赔付依据第三方数据确定，其产品设计能提高灾害赔付的金额上的精度和流程上的效率，很大程度上地解决了我国由于小规模农户经营导致的传统农险业务的管理和技术难题。《关于加快发展现代保险服务业的若干意见》（国务院 2014）、《中国保险业发展十三五规划纲要》、《关于加快农业保险高质量发展的指导意见》（2019），十四五---均提出了探索、试点气象指数保险产品和服务的指导意见，农业气象指数保险的行业需求和政策支持空间广阔。

（更新）自1997年起，国外学者与机构开始对农业气象指数保险产品展开研究。Skees（1999a、1999b）首先设计了气象指数补偿金的计算公式，并较早提出了根据预先规定的气候指标来确定是否赔偿和决定赔偿金额大小的指数保险定价原则，该方法被世界银行采用并推广。World Bank（2007）在“低收入国家指数保险抵御天气风险”报告中指出，气象指数保险的产品设计步骤分为4步：即确定一个最主要的气象灾害风险；量化气象灾害对农作物产量的影响；根据确定的量化关系进行保险定价；实施保险合同。这为以后的产品设计提供了规范的设计思路。

气象指数保险的承诺引起了各国政府和发展机构的极大兴趣和热情，并且取得了一些成功的经验。在肯尼亚北部，农业气象指数保险帮助牧民应对干旱引起的牲畜死亡，以及帮助较贫困的家庭维持基本消费(维持基本生活)和帮助富裕家庭保证资产的稳定(维持消费水平) (Janzen & Carter, 2017)。气象指数保险还可以吸引并激励农户从事风险更大、利润更高的活动，如在印度种植多种作物(Mobarak & Rosenzweig, 2013)、中国的烟草(Cai, 2016)、加纳的玉米(Karlan et al., 2014)、马里的棉花(Elabed & Carter, 2016)。它也证明在制度层面发挥作用，例如通过CADENA项目为墨西哥的干旱提供国家级保险，具有积极的应对冲击(de Janvry et al., 2016)和风险管理(Fuchs & Wolff, 2011)效果。然而，市场占有率和并没有达到理论上的预期。

在理论认识上，2005年国内开始出现农业气象指数保险的研究成果，目前对气象指数保险优劣势、可行性等层面的研究已经比较成熟。关于气象指数保险的优劣势分析。气象指数保险产品具有降低经营成本、缓解逆选择和道德风险、与传统农业保险在农户需求层面可形成互补等突出优势（曹雪琴，2008；魏华林和吴韧强，2010；冯文丽和杨美，2011；朱俊生，2011；吕开宇、张崇尚和邢鹂，2014；孙香玉、吴冠宇和张耀启，2016）。同时存在着基差风险难以消除、农作物风险难以全覆盖、小气候现象存在、小范围气象数据难以获取等劣势（尹东，2014；姚庆海，2015）。关于气象指数保险的可行性分析。我国具备了开展气象指数保险的基本条件，如数据信息、实验手段，同时也具备了产品设计、组织保障、市场基础等可行性条件（程静，2013；崔帅等，2014）。

Skees et al.（2004）较早提出了根据预先约定的气候指标来确定是否赔偿和赔偿金额大小的气象指数保险定价原则。这一方法被世界银行的商品风险管理小组采用，并协助部分发展中国家的保险公司进行农业气象指数的设计和开展，如墨西哥国有保险公司（Agroasemex）设计的降雨指数保险，印度伦巴德通用保险公司（ICICI）开发的纯保险型天气指数保险等。最近几年，相关成果也不断涌现，如Bokusheva（2014）利用Copula函数，进行了哈萨克斯坦粮食作物的气象指数保险产品设计。Conradt et al.（2015）以哈萨克斯坦小麦作物的农场面板数据为例，采用分位数回归的方法设计了有效积温弹性气象指数保险，同时通过变动的保险周期调整降低了基差风险。Simpson（2016）以加拿大安大略省70个农场饲料作物的产量和5-6 月份气象数据为例，设计了最优权重下的多触发点降水气象指数保险产品。Black et al.（2016）以赞比亚的chikanta等38个地区的棉花为例，利用遥感技术下的地表曲面模型进行降雨指数保险产品的设计。

我国从2007年开始试点气象指数保险产品。2009年以来，国内针对农业气象指数保险产品设计的研究逐步增多，共涉及到20个省的玉米（杨帆等，2015；牛浩、陈盛伟，2016）、小麦（刘布春，2013）、水稻（熊旻等，2016）等主粮作物，在经济作物上，代表性的保险产品设计有：柑橘低温冻害指数保险产品（娄伟平等，2009），苹果种植区花期冻害指数保险（刘映宁等，2010），茶叶降雨气象指数保险产品（储小俊等，2014），马铃薯干旱气象指数保险产品（王振军等，2015），海南芒果寒害气象指数保险产品（王春乙等，2016），甘肃日光温棚综合气象指数保险产品（郭小芹等，2017）。此外，还有浙江水油桃和茶叶、福建热带水果、山东海带和海参等气象指数保险产品的设计。

从国内外现有文献来看，一是气象指数保险产品的研究尚未形成成熟的方法和检验标准，已有研究成果大都基于数据获取的便捷程度和市场需求，风险保障范围小，产品缺乏科学性的问题较为突出。三是没有针对农作物生长周期面临的连续性和共生性多因子的指数产品研究。同时，还缺少从农户角度针对气象指数保险产品而进行的适宜性研究成果。

已有试点在承保规模、风险保障类型和保障水平等方面取得了较大进展。但是，气象指数保险在其优势发挥的同时，也存在诸多问题。受到技术水平限制，现行气象指数保险产品基本都只能承保一种气象灾害，较窄的保险责任范围降低了其对于农户的吸引力。并且，气象指数保险的产品设计也缺乏课学的理论基础。总体来看，不论是在我国还是在其他国家，在市场价格下指数保险的市场占有率非常低(Cole et al. 2013；Gine & Yang, 2009)。气象指数保险仍然有很大的优化、改善的空间。扩大农业气象指数保险的风险范围农业气象指数保险的关键问题，具有重要科学价值。

（只是写了没有人研究连续性和共生性，但是没解释为什么研究？，仅仅从多因子角度不足以说明问题，可从保险需求看----，多因子不仅是空间概念还是一个时间概念）

（为什么选择玉米？主粮、风险不宜管控、生命周期内风险频发，写得专业一些）

玉米是重要的粮饲兼用作物以及重要的工业原材料。2018年我国玉米总产量26077.万吨，占粮食总产量的39.28%，是中国第一大作物，在保障国家粮食安全中占有重要地位。我国玉米主要生长在夏秋季节，易遭受强风、洪涝等自然灾害。但目前玉米的气象指数保险产品设计、试点较少，不能满足风险管理的需求。

从实践意义看，国家支持保障粮食安全的农业风险管理产品，农户更需要管理连续性和共生性致灾因子的保险产品，我国玉米因强风、洪涝、病虫害等灾害的损失严重，且在“十三五”期间仍然是种植面积最大的粮食作物。本文研究玉米连续性和共生性致灾因子气象指数保险产品，具有重要应用价值。

基于上述理论与现实背景，本文将从优化、改善气象指数保险方向，主要解决玉米连续性、共生性多因子气象指数保险产品的设计问题。

# 研究假设与研究设计

（一）

（研究世界观问题，不能阶段性佩服，只能够周期性赔付）气象指数保险的基本原理就是用气象指数作为度量保险标的遭受损失的依据。在财产险中，农作物保险标的与一般财产保险标的不同，它是活的生命体，只有当最终收获后才能具体核算经济价值，而农作物生长过程中的每种灾害都会影响最终的经济价值。也就是说，在农险业务实践中可能会多次核损农作物生长中发生的灾害。但是，由于农作物有一定的自愈能力，甚至发生灾害不一定导致经济损失，导致现场查勘一般进行预估计，不能完成定损，直到保险合同到期或者合同期内保险标的全损才能确定最终损失。从灾害发生到最终获得赔付，农业经营者需要等待较长的时间，这在逻辑上会影响保险赔付的时效性，------。

（二）农业气象指数保险产品设计的步骤

农业气象指数保险产品设计的过程大致分为5步骤（如图1所示）

数据的获取与清洗

气象灾害因子的选取与指数构建

损失数据的分离

气象指数与损失序列关系的确立

保险费率的厘定

图1 农业气象指数保险产品设计流程图

**数据的获取与清晰。**气象指数保险的本质就是用气象指数代替农作物产量的损失作为保险赔付的依据。所以一方面要构建气象指数数据，另一方面要构建农作物产量损失数据。气象指数是根据气象数据，并经过数据处理，所设计出的能够反映农作物遭受气象灾害严重程度的相对数。气象指数设计一般的采用气象数据都是日值数据，而农作物的产量数据是年度数据，二者的周期不一致。所以，要对以日为周期的气象数据进行一定处理、转化，将其转换成年度数据，使之与产量数据一一对应，并且能够反映产量的变化。气象指数的设计既要保证与产量的变化关系相对应，但是又不能设计得过于复杂，造成投保人理解困难。一个气象指数一般由开始时间、结束时间、致灾因子变量、触发值四个要素构成。其中致灾因子变量需要通过理论分析进行构建，而开始时间、结束时间、触发值三个要素则要通过统计数据进行估计。本文的创新之一就是设计了对于这三个要素的估计方法，使最终的气象指数数据能更好地贴近农作物产量数据。

农作物的产量损失是无法直接观测到的，我们只能观测到每一年农作物的实际产量。如某一年份发生了自然灾害，我们其实无法知晓该年份在没有遭受灾害情况下的“理想产量”，该产量在现实中并不存在。一般情况下，我们只能根据临近无灾年份的产量数据，运用统计学方法估计灾害年份的“理想产量”，进而计算减产数据。

设计好的气象指数仍然包含开始时间、结束时间、触发值三类待估参数，并且能否较好地匹配产量损失数据仍然需要检验，需要寻找最优参数值，使得气象指数序列与产量损失序列有较高的一致性，从而使气象指数序列能作为保险赔付的依据。

最后使用气象指数序列，按照费率厘定的原则，进行费率厘定。

# 保险产品设计

玉米生长受到降水、光照、温度、湿度、风力等气象因子的影响，不同气象因子对玉米产量有不同的影响权重，相同气象因子在玉米不同生长阶段影响权重也不同。结合玉米生长周期特点和连续性、共生性致灾因子特点，本文拟选取苗期干旱、玉米拔节-抽穗期阴雨寡照、开花授粉期高温热害、开花授粉期和乳熟期的风雨倒伏4类气象灾害。

（一）玉米的生长周期的划分

山东省德州市陵城区玉米的生产方式为小麦玉米套种，在夏季生长，生长期为每年6月-9月。玉米的生长周期可以大致分为苗期、穗期、花粒期三个阶段。其中苗期又可以细分为出苗期、三叶期、拔节期，持续时间为每年6月中旬到7月中旬。在这个时间段内，玉米完成从种子到植株的转变，以消耗种子中贮藏的营养物质为主，在拔节期向依赖光合作用转变。穗期又包括小喇叭口期、大喇叭口期、抽雄期，持续时间为每年7月中旬到8月上旬。这一时段玉米茎、叶旺盛生长，同时开始分化雌穗和雄穗。花粒期又可以分为开花期、抽丝期、灌浆期、完熟期，持续时间从8月上旬到9月末。这一时间段玉米以开花、授粉、结实为主，从营养生长转化为生殖生长。结合本文研究的主要灾害的持续时间，对于夏玉米的生育时期做如下划分（见表1）

表1 夏玉米各生育期时期划分

|  |  |
| --- | --- |
| 时期 | 所处生育期 |
| 6月上旬--6月下旬 | 播种 |
| 6月下旬—7月上旬 | 苗期 |
| 7月上旬—8月中旬 | 拔节期-抽穗期 |
| 8月上旬--8月下旬 | 开花-授粉期 |
| 8月下旬—8月中旬 | 灌浆-乳熟期 |
| 9月中旬-9月下旬 | 完熟 |

结合表1可以看出，在不同的生长阶段，玉米的生长发育有不同的特点，对于玉米最终子粒成熟的功能也有所不同。所以要根据玉米不同阶段生长发育特点，分析该时期内容易遭受的灾害，进而设计不同的气象指数。

（二）不同气象灾害的致灾因子设计

1. 玉米苗期干旱指数设计

干旱对于玉米产量的影响，主要表现在影响玉米光合作用、影响植物形态两个方面。干旱会降低玉米叶片蒸腾作用，使得叶面容易遭受辐射热胁迫损伤。为了抵抗这种辐射热胁迫损伤，玉米会改变叶片形态或叶片方位从而减少被照射量，但这会影响玉米叶片光合作用面积。干旱还会影响玉米根系活跃吸收面积，影响根冠比。在干旱条件下，玉米的株高、叶面积和干物质积累的增长受到抑制，进而导致产量下降。干旱在整个生长周期都会影响玉米生长发育，但是在华北地区7月以后进入主要降水期，干旱对玉米的影响较小。所以在6月份玉米苗期为玉米干旱的高危时期。

玉米苗期干旱致指数由实际降雨量和需水量(WDJ)两个指标构成。若苗期实际降雨量(PJ)小于需水量(WDJ)的一定倍数，导致玉米干旱发生，启动指数触发值。干旱致灾因子设计的关键是使用作物水分亏缺指数反映玉米干旱特征。水分亏缺指数为作物的需水量于实际供水量相对差距。关于作物需水量（WDJ），联合国粮农组织（FAO）（1998）推荐使用FAO56-PM方法进行计算，其基本原理是利用Penman-Monteith 公式计算农作物日腾发量(mm)，然后在根据需计算的生长期进行累加。基于以上分析，本文所设计的玉米苗期干旱指数表达式为：



式中，WDJ\_t表示作物每日需水量，PJ\_t表示实际降水量，由20-20时降水量充当，i为开始时间，j为结束时间。

2. 玉米开花授粉期高温指数设计

玉米是异化授粉植物，授粉过程顺利与否直接影响玉米结实率高低。高温主要通过三个方面影响玉米的产量。一是影响雄穗和花粉的活性。高温导致玉米雄穗发育不良，雄穗数量减少，散粉能力下降，并且直接影响花粉的活力，如果气温高到一定程度甚至会导致花粉直接死亡。二是影响雌穗和花丝的发育。高温影响玉米雌穗发育，导致花丝接受花粉的能力下降，花粉接触柱头后不易萌发花粉管，进而影响受精过程，最终影响结实率。三是缩短了玉米的开花授粉期。高温会加快玉米的生理反应速度，使得开花授粉的过程变短，玉米没有充分的时间进行授粉，进而影响结实。

高温对玉米的损害是一个持续性的过程。如果只是短时高温，玉米的各个器官会在温度下降后进行自我修复，对后续的生长发育影响不大。当气温为34.4～34.8℃时，玉米花丝寿命缩短至72小时（参考文献）。所以本文认为如果玉米开花授粉期高温持续3天以上会对最终产量产生不利影响。

若该时期连续3天日最高气温(HT)大于触发值的，记为一个高温事件。



式中，HT\_t表示每日最高气温，T\_trigger表示高温触发值，HTD\_t表示高温日，HTE\_t表示高温事件，HTI表示高温热害指数，i表示开始时间，j表示结束时间。

3. 阴雨寡照指数设计

玉米拔节- 抽穗期阴雨寡照指数(RSI)。阴雨寡照通过影响光合作用，阻碍了玉米营养物质的积累，加剧了茎叶衰老（王群等，2019），造成植株空秆而减产。若拔节-抽穗期实际阴雨寡照天数(rsd)达到8天以上，启动指数触发值。



式中，ssd\_t表示每日日照时数，ssd\_trigger表示阴雨寡照触发值，RSD\_t表示阴雨寡照日，RSI表示阴雨寡照指数，i表示开始时间，j表示结束时间。

4 风雨倒伏致灾因子设计

“风+雨”倒伏共生性指数(WFI)。开花授粉期和乳熟期的风雨可能导致玉米倒伏，对玉米的影响主要有两方面。第一，玉米叶片空间分布被打乱，降低了玉米光合作用效率(袁公选等，1999)。第二，倒伏后玉米茎秆被折断，影响营养物质传输导致穗粒数与粒重的降低而减产。当开花授粉期和乳熟期日最高风速达到一定程度，并且在达到风力等级当日以及前两日的日均降雨量超过一定程度，则启动指数触发值。





（三）玉米产量损失数据的估计

影响农作物产量的因素包括社会因素、自然因素以及随机因素。在长期的农作物产量序列中，社会因素的影响表现在由于科技水平提升和要素投入加强所引起的生产力水平变化，在此基础上农作物产量有逐步增加的趋势。另外自然因素中的气候变化也会在长期影响农作物的产量。把这种由生产力水平提高和气候变化引起的农作物产量的变化称为趋势产量。自然因素的影响主要表现在由于年际间自然条件的差异造成的农作物产量变化，而气象因素又是自然因素中的主要因素，因此将由气象因素引起的农作物产量变化称为气象产量。此外，由一些其它影响因素变动引起的农作物产量变化称为随机产量。即将作物的总产量分解为趋势产量、气象产量和随机产量，它们之间的关系可以用式表示。



公式中。表示实际产量，表示趋势产量，表示气象产量，表示随机产量。

是一种长期稳定变动的均匀信号，与ε具有不确定性，并且ε无法观测。所以先对进行拟合，然后通过Y与的差关系来求的是分离气象产量最有效的方法，如公式。



在目前的趋势产量时间序列模型中主要移动平均模型、指数平滑模型、各种滤波模型、ARIMA模型、非参数平滑模型（LOWESS模型、GMA模型等）。各种方法的基本思想类似，都是通过技术方法得到一条平滑产量序列作为，然后做差得到。Mobarak & Rosenzweg(2013)使用LOWESS（Locally Weighted Scatterplot Smoothing，局部加权散点平滑）模型对气象数据进行平滑，最终得到的可作为趋势产量，效果较好。在农业保险业务中，产量损失一般是使用成数损失法进行估计，所以要以损失率作为费率厘定的依据。借鉴王克（2008），使用RSV（Relative Stochastic Volatility，相对随机波动率）作为最终玉米损失序列。



# 气象指数参数的估计

本文选取4种气象因子指数构建玉米连续性与共生性综合气象指数，并建立与波动产量的相关关系。4种气象因子指数设定的初始值来自于经验或文献资料，与实际情况可能会存在一定的设定偏差，因此需要利用准全面实验的方法选取最优指数触发值。之所以称为“准全面实验”，是因为研究并非基于真实的田野试验，而是基于历史数据进行的模拟实验。

具体步骤为：①确定相关性评价依据。②确定要估计的参数与水平值个数③计算所有的参数、水平值组合，依据相关性指标选取最优组合。④加权求得最终的综合指数。

（一）参数的估计与最优值选取方法

以往的产品设计中，触发值一般基于农业生产经验，或者作物生理学的研究，例如WOFOST（潘海珠，2020）、ORYZA2000等作物生长模型。这些方法所确定的触发值，的确可以确立一个与产量损失相关的指数序列。但是这个触发值只是众多可行的触发值中的一个，它是否是最有仍缺少检验。另外，在相关性的检验上，以往的文献多采用t检验，但是t检验只能检验两个变量的均值是否有差异，这难以保证两个序列有较高的相关性。另外若采用Person相关系数，容易受到极端值的影响。经过多次试验，本文确定了使用Kendall相关系数作为检验标准，从众多可能的触发值中选择最优触发值。

Kendall秩相关检验可以比较好地检验两个变量在序列上的一致性。Kendall秩相关检验的基本思想是：如果两个序列具有相关性，应该拥有同样的变化趋势。同一时期一个变量上升，另一变量应该随之上升；反之，如果一个变量下降，另一个变量也应随之下降（Kendall and Gibbons ，1990）。具体计算公式如式所示。





表示Kendall秩相关系数，表示一致的配对数，表示不一致的配对数。和分别表示两个序列中结的个数。和分别表示两个序列中每一个结的结长。

本文的思路是借鉴自然实验中全面试验和正交试验的方法（于秀山，2004）。对于一个有*n*个参数气象指数，对每个参数取*m*个水平进行试验，这样总共会有个试验结果，从中选取Kendall秩相关系数最高的结果，作为气象指数的最优设计方案。在实际操作中，由于不同参数的取值范围不同，每个参数的水平个数可能有所不同。针对每个气象指数理论区间内搜索相关性最高的触发值，使得产品设计更加精确。

（二）数据来源

本文选取山东省德州市陵城区为研究对象，其中气象数据来自中国气象数据网地面资料日值数据集中陵城区气象站，玉米产量数据来自《山东农村统计年鉴》与《德州统计年鉴》

表1 相关变量描述性统计表

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变量名称 | 样本容量 | 平均值 | 标准差 | 最小值 | 中位数 | 最大值 |
| 20时-20时降水  单位 mm | 4881 | 33.2390 | 115.851 | 0.0000 | 0.0000 | 1710.0000 |
| 日照时数  单位 0.1h | 4879 | 75.1254 | 43.092 | 0.0000 | 90.0000 | 141.0000 |
| 日最高气温  单位 0.1℃ | 4881 | 301.1717 | 37.423 | 140.0000 | 304.0000 | 417.0000 |
| 日最大风速  单位 0.1m/s | 4384 | 51.4024 | 20.978 | 15.0000 | 47.0000 | 187.0000 |
| 玉米产量  单位 kg/ha | 29 | 489.6482 | 80.2778 | 350.0000 | 482.2000 | 614.2000 |

（三）气象指数参数估计与最优方法选取

1玉米高温指数参数估计

玉米开花授粉期高温热害指的参数有3个，分别为开始时间、结束时间、高温事件触发值。根据夏玉米的开花授粉时期，开始时间取值范围为每年7月30日-8月4日，取值间隔为1天，结束时间取值范围为每年8月21日-8月31日，取值间隔为1天，高温事件触发值的取值范围为30.0℃-36.5℃，取值间隔为0.1℃。

计算发现，触发值为33.7摄氏度（每日最高气温），开始时间为7月31日，结束时间为8月21日，高温热害指数序列与玉米减产序列相关程度最高。Kendell相关系数为0.45（p=0.008<0.05）。由于我们的产品设计为连续性性气象因子产品，所以单独一种气象因子并不能完全决定玉米的产量，因而相关系数不会特别高。

2阴雨寡照指数

玉米拔节抽穗期阴雨寡照指数的参数有三个，分别为开始时间、结束时间、阴雨寡照时间触发值。根据夏玉米阴雨寡照时期，开始时间的取值范围为每年7月1日-7月19日，取值间隔为1天；结束时间取值范围为每年7月21日-8月10日，取值间隔为1天；阴雨寡照指数核心指标每日日照时数的取值范围为4h-8h，取值间隔为0.1h

计算发现，触发值为为6.7h（每日最低日照时数），开始时间为每年7月17日，结束时间为每年8月1日，阴雨寡照指数序列与玉米减产序列相关程度最高。Kendell相关系数为0.49(p=0.002)

3 玉米苗期干旱指数参数估计

苗期干旱指数较为特殊，是比较保险期间内累计降水量与累计潜在散蒸值。而潜在散蒸值也是根据保险期内每日的具体气象数据进行计算。故不能提前约定触发值而是根据具体数据进行计算。虽然这样会牺牲一定的便利性，但是由于FAO-56 彭曼公式对于潜在散蒸的计算准确度很高，仍然值得使用。因此，玉米苗期干旱指数有两个参数，开始时间和保险结束时间。开始时间的取值范围为每年6月3日-6月12日，取值间隔为1天，结束时间取值范围为每年6月23日-7月10日，取值间隔为1天。

计算发现，开始时间为每年6月4日，结束时间为每年6月28日，苗期干旱指数序列与玉米产量损失序列相关程度最高。Kendell相关系数为0.28（p=0.0459<0.1）。

4 风雨倒伏指数参数估计

对于玉米开花-乳熟期，牛浩和陈盛伟（2015）分别对开花期和乳熟期的风雨倒伏指数做了设计。但是本文已经设计了五个连续性指数，如果再进行细分会导致产品过于复杂，所以本文对开花-乳熟期的指数做统一处理，即只对降水和风力分别设计一个触发值，贯穿整个时期。玉米开花授粉期风雨倒伏指数有四个参数需要估计，分别为开始时间、结束时间、风速触发值、降水触发值。开始时间的取值范围为每年7月27日-8月6日，取值间隔为1天，结束时间取值范围为每年9月10日-9月30日，取值间隔为1天。20时-20时降水取值范围为25.0mm-29.0mm，取值间隔为0.1mm，每日最大风速取值范围为7.0m/s-9.0m/s，间隔为0.1m/s。

计算发现，开始时间为每年7月29日，结束时间为每年9月12日，20时-20时降水量触发值为27.1mm，每日最大风速触发值为7.4m/s，风雨倒伏指数序列与玉米产量损失序列相关程度最高。Kendell相关系数为0.46（p=0.0459<0.1）。

所有4个气象指数参数的估计结果汇总如表2所示。

表2 气象指数最优参数估计结果汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 指数名称 | 开始时间 | 结束时间 | 触发值 | 相关系数 |
| 苗期干旱指数 | 6月5日 | 6月27日 | 61mm | 0.2712\* |
|  |  |  |  | (0.0721) |
| 拔节抽穗期阴雨寡照指数 | 7月17日 | 8月1日 | 6.7h | 0.4616\*\*\* |
|  |  |  |  | (0.0075) |
| 开花授粉期高温热害指数 | 7月31日 | 8月21日 | 33.7℃ | 0.4462\*\*\* |
|  |  |  |  | (0.0085) |
| 开花受分期风雨倒伏指数 | 7月29日 | 9月12日 | 风速7.4m/s | 0.4641\*\*\* |
|  |  |  | 降水27.1mm | (0.0041) |

（三）综合指数的确定

以每个指数的Kendell相关系数作为权重，加权得到综合指数。由于损失率是介于0与1之间的自然数，与之对应，最终的综合指数也应当介于0与1之间，以便进行费率厘定。所以本文对于综合指数进行归一化处理，得到最终的归一化指数。经过检验，综合指数序列与检查序列的相关系数如下，

表 3 综合指数序列与产量损失序列相关性

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 统计指标 | Ktau | Spearman | Pearson |
| 统计量 | 0.4427 | 0.5421 | 0.6755 |
| 伴随概率 | 0.0029 | 0.0024 | 0.0001 |

从表3可以看出，以传统线性的Person相关系数来看，综合指数序列与玉米产量损失序列已经有了较高的相关性，但是在Kendell相关性中处于中等相关性，这说明Kendell相关性检验是一种更严格的相关性检验，可以较好地选择每个气象指数保险参数的最优估计值。

# 连续性和共生性多因子气象指数保险产品的定价

（一）参数分布拟合

参数定价法是将历史数据的指数分布情况跟具体的模型分布拟合，将拟合程度较高的模型作为气象指数的分布模型，并通过相应的模型参数的计算来确定灾害发生频率。再求得对应气象指数触发区间的期望，即可看做对应区间的玉米损期望



式中P表示灾害发生概率，a、b表示某一灾害损失率下气象灾害指数触发值与退出值，x为气象指数变量，f(x,y)为气象指数的概率密度函数。

根据灾害等级发生概率与灾害等级损失率，可以求得最终的期望损失率E（loss）。



式中，表示种灾害等级，表示灾害等级数，xi表示不同灾害等级损失率的中值，pi表示不同灾害等级发生概率。求得的期望损失率即为气象指数保险产品的纯保费率。

附加保费率可根据历史赔付情况，选用夏普比率法或风险值回报法求出，不是本文的主要研究范畴，在此不做赘述。

利用Easyfit5.6软件，对于所得序列的分概率分布进行拟合，所得结果如下

表4 综合指数概率分布函数拟合结果表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 待选分布 | Kolmogorov-Smirnov | | Anderson-Darling | |
|  | 统计量 | 排名 | 统计量 | 排名 |
| Gen. Logistic | 0.12324 | 1 | 0.42553 | 1 |
| Gen. Extreme Value | 0.12801 | 2 | 0.45809 | 2 |
| Gen. Pareto | 0.14884 | 3 | 0.71996 | 4 |
| Johnson SB | 0.14929 | 4 | 0.67365 | 3 |
| Cauchy | 0.17354 | 5 | 0.83279 | 5 |
| Laplace | 0.18474 | 6 | 1.3605 | 7 |
| Gamma | 0.2069 | 8 | 5.831 | 9 |
| Weibull | 0.2069 | 7 | 9.0677 | 15 |
| Logistic | 0.20753 | 9 | 1.2506 | 6 |
| Gen. Gamma | 0.21012 | 10 | 8.7961 | 12 |
| Log-Logistic | 0.21122 | 11 | 8.3242 | 10 |
| Lognormal | 0.21336 | 12 | 8.8737 | 13 |
| Normal | 0.21361 | 13 | 1.3904 | 8 |
| Dagum | 0.22629 | 14 | 8.9919 | 14 |
| Gamma | 0.24014 | 15 | 9.0895 | 16 |
| Log-Logistic | 0.24123 | 16 | 9.9382 | 18 |
| Weibull | 0.24705 | 17 | 8.5982 | 11 |
| Gen. Gamma | 0.25856 | 18 | 9.2976 | 17 |
| Beta | 0.51625 | 19 | 38.031 | 19 |
| Erlang | No fit |  |  |  |
| Johnson SU | No fit |  |  |  |
| Log-Gamma | No fit |  |  |  |

从表4可以看出，不论是以Kolmogorov-Smirnov统计量还是以Anderson-Darling统计量为标准，广义逻辑分布(Gen Logistic)分布的拟合效果都是最好的，均排在第一位。

最终综合气象指数序列的概率密度函数为



其中

（二）费率厘定

保费准则就是在计算保费索要满足的前提。然而实际保费需要满足许多性质。

首先，保费不能低于索赔饿的期望值，否则保险公司在概率上会破产。其次，保费必须小于风险变量的最大索赔额。否则投保人获得的赔付小于支出的保费，购买保险显然是不划算的，是没有意义的。

从以上两条原则可以看出，保费的范围应该介于索赔的期望值与索赔的最大值之间。在这个区间内的保费在经济上都有意义。保险公司可以根据不同的经营目标以及准则计算相应的保费。许多学者认为，由于农业的弱质性，农业保险应当更大程度上惠及农民的利益，所以农业保险应当有公益性的特点，农业保险经营主体要保持微利经营。所以，认为保费的直接等于承保风险的期望索赔额。

从我们计算出的RSV序列的情况看，德州市陵城区玉米损失率在0-22%之间，当综合指数小于0.2232时，对应年份的损失率为0，用综合指数的分位数可以直接对应损失率地分位数。按损失程度将费率划分为4档，7%以下为低风险档，对应的综合指数为，7%-14%为中风险档，对应的综合指数区间为(，14%-21%为高风险档，对应的指数区间为(0.5084,+1.195]。损失率在21%以上的情况在历史数据中无法体现，故直接作为超高风险档，即21%-100%，对应的指数区间为

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风险等级 | 损失区间 | 指数区间 | 发生概率 |
| 低 | (0,7%] |  | 11.24% |
| 中 | (7%,14%] | ( | 18.70% |
| 高 | (14%,22%] |  | 11.71% |
| 超高 |  |  | 1.52% |

那么最终的费率计算可得



# 结论与讨论

玉米在生长发育不同阶段会遭受不同灾害，这些灾害在玉米的生育周期中表现出连续性与共生性的特点。而通过综合气象指数保险，可以总体上保障玉米的生产风险。

在指数设计上要更加精确，至少要考虑气象指标的触发阈值、开始时间、结束时间。还要考虑到气象条件对于玉米生理的具体作用形式，而不是简单的线性叠加，同时也要考虑同一时期内不同气象指数的共生作用。对于某些气象灾害，例如干旱，在作物学领域已经有成熟风险度量模型，预测效果很好。气象指数保险是一门交叉学科，在产品设计过程中要注意与其他学科联动。

本文设计的气象指数参数估计方法可以较为全面地估计参数不同取值情况下气象指数与玉米产量之间的关系，从而选择出最优参数取值，可以看作一种准“全面实验”。数据稀疏的问题。数据稀疏是指历史观测数据无法全面反映可能面临的风险情况的问题。以产量数据为例，以县一级的产量数据为基础，所能得到的损失率最大为22%，超过22%的损失情况无法进行估计。

参考文献

[1]王群,赵向阳,陈启,李鸿萍,董朋飞,李潮海. 夏玉米阴雨寡照致灾机理及减灾稳产技术研究[A]. 中国作物学会.2019年中国作物学会学术年会论文摘要集[C].中国作物学会:中国作物学会,2019:1.

[1]袁公选,杨金慧,李雅文,赵晓峰.玉米倒伏成因及预防[J].西北植物学报,1999(05):3-5.

Ashraf N, Berry J, Shapiro J M. Can higher prices stimulate product use? Evidence from a field experiment in Zambia[J]. American Economic Review, 2010, 100(5): 2383-2413.

Banerjee A V, Banerjee A, Duflo E. Poor economics: A radical rethinking of the way to fight global poverty[M]. New York:Public Affairs, 2011.

Black E, Tarnavsky E, Maidment R, et al. The use of remotely sensed rainfall for managing drought risk: A case study of weather index insurance in Zambia[J]. Remote Sensing, 2016, 8(4): 342.

Bokusheva R. Improving the effectiveness of weather-based Insurance: an application of copula approach[R]. Munich Personal Repec Archive,2014.

Bold T, Kaizzi K, Svensson J, et al. Low quality, low returns, low adoption: evidence from the market for fertilizer and hybrid seed in Uganda[M]. London, England: Centre for Economic Policy Research, 2015.

Cai J, De Janvry A, Sadoulet E. Subsidy policies and insurance demand[R]. National Bureau of Economic Research, 2016.

Cai J. The impact of insurance provision on household production and financial decisions[J]. American Economic Journal: Economic Policy, 2016, 8(2): 44-88.

Carter M R, Cheng L, Sarris A. Where and how index insurance can boost the adoption of improved agricultural technologies[J]. Journal of Development Economics, 2016, 118: 59-71.

Carter M R. Intelligent design of index insurance for smallholder farmers and pastoralists[J]. IFPRI Innovations in Insuring the Poor, Focus 17-06. 2009.

Carter M R, de Janvry A, Sadoulet E, et al. Assurance climatique indicielle pour les pays en développement: examen des faits et propositions visant à augmenter le taux de souscription[J]. Revue d'economie du developpement, 2015, 23(1): 5-57.

Carter M R, de Janvry A, Sadoulet E, et al. Index insurance for developing country agriculture: a reassessment[J]. Annual Review of Resource Economics, 2017, 9: 421-438.

Carter M R. Sharing the risk and the uncertainty: public-private reinsurance partnerships for viable agricultural insurance markets[J]. I4 Index Insurance Innovation Initiative Brief, Ferdi, 2013(10) .

Clarke D J. A theory of rational demand for index insurance[J]. American Economic Journal: Microeconomics, 2016, 8(1): 283-306.

Clarke D J, Wren-Lewis L. Learning from lemons: the role of government in index insurance for individuals[J]. FERDI Policy Brief, No. 70 ,2013 (07).

Cole S, Giné X, Tobacman J, et al. Barriers to household risk management: Evidence from India[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2013, 5(1): 104-35.

Dar M H, De Janvry A, Emerick K, et al. Flood-tolerant rice reduces yield variability and raises expected yield, differentially benefitting socially disadvantaged groups[J]. Scientific reports, 2013, 3: 3315.

de Janvry A, Lane G, Sadoulet E. Emergency loans: index based credit in Bangladesh.[EB\OL]Work. Pap. 2016, Univ.Calif., Berkeley

Deng X, Barnett B J, Vedenov D V, et al. Hedging dairy production losses using weather‐based index insurance[J]. Agricultural Economics, 2007, 36(2): 271-280.

Dercon S, Christiaensen L. Consumption risk, technology adoption and poverty traps: Evidence from Ethiopia[J]. Journal of development economics, 2011, 96(2): 159-173.

Duflo E, Kremer M, Robinson J. Nudging farmers to use fertilizer: Theory and experimental evidence from Kenya[J]. American economic review, 2011, 101(6): 2350-90.

Dupas P. Getting essential health products to their end users: Subsidize, but how much?[J]. Science, 2014, 345(6202): 1279-1281.

Elabed G, Bellemare M F, Carter M R, et al. Managing basis risk with multiscale index insurance[J]. Agricultural Economics, 2013, 44(4-5): 419-431.

Flatnes J E, Carter M R. Fail-safe index insurance without the cost: a satellite based conditional audit approach[J]. Working Paper, University of California. At Davis, 2015. https://arefiles.ucdavis.edu /uploads/filer\_public/29/ec/29ecf637-f085-4c11-83be-4936d2a17472/satellite\_based\_conditional\_ audit\_index\_insurance\_150815.pdf

Fuchs A, Wolff H. Drought and retribution: evidence from a large-scale rainfall-indexed insurance program in Mexico[M]. The World Bank, 2016.

Geisser S. A predictive approach to the random effect model[J]. Biometrika, 1974, 61(1): 101-107.

Geisser S. The predictive sample reuse method with applications[J]. Journal of the American statistical Association, 1975, 70(350): 320-328.

Giné X, Yang D. Insurance, credit, and technology adoption: Field experimental evidencefrom Malawi[J]. Journal of development Economics, 2009, 89(1): 1-11.

Janzen S A, Carter M R. After the drought: The impact of microinsurance on consumption smoothing and asset protection[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2018, 101(3): 651-671.

Jensen N, Barrett C. Agricultural index insurance for development[J]. Applied Economic Perspectives and Policy, 2017, 39(2): 199-219.

Karlan D, Osei R, Osei-Akoto I, et al. Agricultural decisions after relaxing credit and risk constraints[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2014, 129(2): 597-652.

Larson S C. The shrinkage of the coefficient of multiple correlation[J]. Journal of Educational Psychology, 1931, 22(1): 45.

Ligon E, Thomas J P, Worrall T. Informal insurance arrangements with limited commitment: Theory and evidence from village economies[J]. The Review of Economic Studies, 2002, 69(1): 209-244.

Lybbert T J, Carter M R. Bundling drought tolerance and index insurance to reduce rural household vulnerability to drought[M] Sustainable Economic Development. Academic Press, 2015: 401-414.

Lybbert T J, Galarza F B, McPeak J, et al. Dynamic field experiments in development economics: Risk valuation in Morocco, Kenya, and Peru[J]. Agricultural and Resource Economics Review, 2010, 39(2): 176-192.

McIntosh C, Povel F, Sadoulet E. Utility, Risk and Demand for Incomplete Insurance: Lab Experiments with Guatemalan Co-Operatives[J]. The Economic Journal, 2019, 129(622): 2581-2607.

Miranda M J, Farrin K. Index insurance for developing countries[J]. Applied Economic Perspectives and Policy, 2012, 34(3): 391-427.

Mishra K. You are Approved! Insured Loans Improve Credit Access and Technology Adoption of Ghanaian Farmers[A]. International Association of Agricultural Economists[C]. Vancouver, British Columbia 2018.

Norton M, van Sprundel G J, Turvey C G, et al. Applying weather index insurance to agricultural pest and disease risks[J]. International Journal of Pest Management, 2016, 62(3): 195-204.

Porth L, Carter M, Elabed G, et al. Behavioral economic insights on index insurance design[J]. Agricultural Finance Review, 2015.

Ritchie E R, de Janvry A, Sadoulet E. Weather index insurance and shock coping: Evidence from mexicos cadena program[R]. World Bank,2016.

Serfilippi E, Carter M, Guirkinger C. Certain and uncertain utility and insurance demand: results from a framed field experiment in Burkina Faso[R]. 2015.

Skees J R, Barnett B J. Conceptual and practical considerations for sharing catastrophic/systemic risks[J]. Review of Agricultural Economics, 1999, 21(2): 424-441.

Skees J R, Hazell P, Miranda M. New approaches to public/private crop yield insurance[R]. The World Bank, Washington, DC, 1999.

Smith V, Watts M. Index based agricultural insurance in developing countries: Feasibility, scalability and sustainability[J]. Gates Foundation, 2009: 1-40.

Tversky A, Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty[J]. Journal of Risk and uncertainty, 1992, 5(4): 297-323.

曹雪芹．农业保险产品创新和天气指数保险的应用——印度实践评析与借鉴[J]．上海保险，2008(8):53-58．

程静．农业旱灾风险管理的金融创新路径:天气指数保险[J]．世界农业，2013(3):60-64．

崔帅，王慧敏，原瑞玲，龙文军．水稻制种天气指数保险的可行性——基于江苏省盐城市的调研[J]．中国保险，2014(11):52-55．

冯文丽，杨美．天气指数保险:我国农业巨灾风险管理工具创新[J].金融与经济:2011(6):92-95．

郭小芹，罗永忠．河西东部日光温棚气象灾害保险理赔指数设计[J].灾害学，2017,32(1):137-141

胡局新,张功杰.基于K折交叉验证的选择性集成分类算法[J].科技通报,2013,29(12):115-117.

刘亚洲，钟甫宁，吕开宇.气象指数保险是合适的农业风险管理工具吗?[J].中国农村经济,2019(05):2-21.

刘映宁，贺文丽，李艳莉．陕西果区苹果花期冻害农业保险风险指数的设计[J]．中国农业气象，2010，31(1):125-129.

娄伟平，吴利红，倪沪平，唐启义，毛裕定．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.

吕开宇，张崇尚，邢鹂．农业指数保险的发展现状与未来［J］．江西财经大学学报，2014(2):62-69．

孙香玉，吴冠宇，张耀启．传统农业保险与天气指数保险需求:替代还是互补？——以新疆棉花农业保险为例[J]．南京农业大学学报，2016，16(5):116-126．

汪庆华,刘江炜,张兰兰.交叉验证K近邻算法分类研究[J].西安工业大学学报,2015,35(02):119-124+141.

王振军．马铃薯旱灾保险的理赔指数及保险费率研究——以陇东黄土高原区为例[J]．兰州大学学报，2015(1):130-135．

魏华林，吴韧强．天气指数保险与农业保险可持续发展[J]．财贸经济，2010(3):5-12，136．

吴利红，娄伟平，姚益平，毛裕定，苏高利．水稻农业气象指数保险产品设计——以浙江省为例[J]．中国农业科学，2010，43(23):4942-4950．

吴垠豪.我国农作物保险费率精算最优方法的实证检验——来自阿克苏市棉花保险的证据[J].金融理论与实践,2014(02):85-88.

熊旻，庞爱红．早稻暴雨指数保险产品设计——以江西省南昌县为例[J]．保险研究，2016(6):12-26．

杨帆，刘布春，刘园，杨晓娟．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(3):346-355．

杨太明，刘布春，孙喜波，李德，荀尚培．安徽省冬小麦种植保险天气指数设计与应用[J]．中国农业气象，2013，(02):229-235.

姚庆海．气象灾害与天气指数保险研究[J]．伤害保险，2015(1):7-11，20．

尹东．气象指数农业保险及其技术问题探讨[J]．现代农业科技，2014(6):330-335．

张哲晰,穆月英,侯玲玲.参加农业保险能优化要素配置吗?——农户投保行为内生化的生产效应分析[J].中国农村经济,2018(10):53-70.

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(03):19-25.

Mobarak A M, Rosenzweig M R, Informal Risk Sharing, Index Insurance, and Risk Taking in Developing Countries The American Economic Review, Vol. 103, No. 3, PAPERS AND PROCEEDINGS OF THE One Hundred Twenty-Fifth Annual Meeting OF THE AMERICAN ECONOMIC ASSOCIATION (MAY2013), pp. 375-380

Kendall, M. G., and J. D. Gibbons. 1990. Rank Correlation Methods. 5th ed. New York: Oxford University Press.