正文

《结题/成果报告》正文分为两个部分：**结题部分和成果部分**。请按照《结题/成果报告》填报说明及撰写要求填写。

**（一）结题部分**

**1. 研究计划执行情况概述。**

**（1）按计划执行情况。**

研究基本按照原计划执行。2018年进行了搜集资料，分类、整理定性描述资料，分析数据资料。原计划于2018年前往预定地区实地调研，由于前期资料收集发现有数据缺失的情况，故更换了实验地点，调研推迟到2019年11月。2019年进行玉米多因子气象指数保险产品设计与玉米生产功能区实地调研工作。2020年完成玉米生产功能区产品应用差异性分析。原计划与2020年组织2次学术研讨会，受疫情影响未能开展。2021年对研究成果进行了完善，形成最终研究报告。原计划于2020年、2021年进行田野试验，保险公司对于新险种的开办态度较为谨慎，再加产品试点并非公司独立行为，需要政策或财政支持，所以保险公司同意提供相关业务数据支持产品完善，待产品成熟后再实地推广。

**（2）研究目标完成情况。**

项目研究目标较好得到完成。项目完成了吉林省农安县、内蒙古自治区巴林左旗、山东省陵城区、河南省西华县四个实验地区气象指数的设计与构建、最优参数确定、费率厘定等产品设计工作，以及实验地区的产品应用差异性分析。但受政策支持力度和实效，以及保险公司商业运营计划的影响，产品的实践推广工作未能开展。目前仍在与相关保险公司协商中，争取将产品落地。

**2. 研究工作主要进展、结果和影响。**

**（1）主要研究内容。**

第一，完成了保险产品设计。项目完成了4个实验地区的玉米苗期干旱指数、拔节-抽穗期阴雨寡照指数、开花授粉期高温热害指数、开花授粉期和乳熟期的风雨倒伏指数、拔节抽穗期中温高湿大斑病指数。并设计参数选择方法，寻找最优参数取值，构建综合天气指数，最终完成了产品的费率厘定。

第二，完成了分析玉米生产功能区产品应用的差异性分析。项目通过重要性指标、生产能力指标、自然条件指标三方面分析了不同生产功能区产品的适宜性。

第三，完成了实验地区的基差风险问题研究。通过与保险公司合作，课题组获得了实验地区现行保险产品实际经营情况，分析了不同地区玉米生产的基差风险，为产品优化打下了基础。

**（2）取得的主要研究进展、重要结果、关键数据等及其科学意义或应用前景。**

**①构建了玉米生育周期气象指数。**

课题组完成了玉米苗期干旱指数、拔节-抽穗期阴雨寡照指数、开花授粉期高温热害指数、开花授粉期和乳熟期的风雨倒伏指数、拔节抽穗期中温高湿大斑病指数的构建工作。

玉米苗期干旱指数（DI）。指数由实际降雨量(PJ)和需水量(WDJ)两个指标构成。若苗期实际降雨量小于需水量的一定程度，导致玉米干旱发生，则启动指数触发值。干旱致灾因子设计的关键是如何使用作物水分亏缺指数表达玉米干旱特征。水分亏缺指数为作物的需水量与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）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，然后累加生长期内的农作物日腾发量作为作物需水量。基于以上分析，本课题组所设计的玉米苗期干旱指数表达式为：



高温热害指数(HTI)。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，所以本文将玉米开花授粉期高温持续3天以上定为高温事件，高温热害指数表示如下：



式中，*HTt*表示每日最高气温，*Ttrigger*表示高温触发值，*HTDt*表示高温日，*HTEt*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。

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，造成植株空秆而减产。但是对于因雨寡照持续天数对玉米生长的影响缺少相关文献资料，也需要进行估计。所以若拔节-抽穗期实际阴雨寡照天数(rsd)达到*n*天以上，启动指数触发值。



式中，*ssdt*表示每日日照时数，*ssdtrigger*表示阴雨寡照触发值，*RSDt*表示阴雨寡照日，*RSI*表示阴雨寡照指数，*n*表示阴雨持续天数，*i*表示开始时间，*j*表示结束时间。

开花授粉期和乳熟期的风雨倒伏指数“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：一是玉米叶片空间分布被打乱，降低了玉米光合作用效率；二是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。

式中，mwsi表示每日最大风速，mwst表示风速触发值，mpi表示每日降水（由20时-20时降水充当），mwst表示降水触发值，i表示开始时间，j表示结束时间。

拔节抽穗期中温高湿大斑病指数（MTHHI）大斑病通过影响营养物质的吸收而导致减产。其易发生在中温高湿环境，若旬温度(*mt*)位于20-25℃之间，相对湿度(*hh*)大于75%，则易于发生流行。

式中，mti表示旬平均气温，mtt表示温度触发值，hhi表示旬平均空气相对湿度，hht表示温度触发值

**②确定了参数设定的标准**

Kendall秩相关检验可以较好地检验两个变量在序列上的一致性，它的基本思想是：如果两个序列具有相关性，应该拥有同样的变化趋势，即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。项目采用Kendall秩相关系数衡量气象指数序列与产量序列的一致性。具体计算公式如式下所示。





*τB*表示Kendall秩相关系数，*nc*表示一致的配对数，*nd*表示不一致的配对数。*N1*和*N2*分别表示两个序列中结的个数。*ti*和*uj*分别表示两个序列中每一个结的结长。

**③搜寻气象指数最优参数**

借鉴自然实验中全面试验和正交试验的方法，即对于一个有n个参数天气指数，对每个参数取m个水平进行试验，这样总共会有mn个试验结果，从中选取Kendall秩相关系数最高的结果，作为天气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。针对每个天气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。详细结果见表1

表1 实验地区各气象指数最优参数取值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 县区 | 指数名称 | 开始时间 | 结束时间 | 触发值 | 相关系数 |
| 农安县 | 苗期干旱指数 | 4月24日 | 5月15日 | - | 0.3435\*\*  （0.0298） |
| 开花授粉期风雨倒伏指数 | 7月7日 | 8月31日 | 风速10m/s  降水18.0mm | 0.4349\*\*  （0.0171） |
| 拔节抽穗期中温高湿大斑病指数 | 6月24日 | 8月4日 | 温度22℃  相对湿度80% | 0.3283\*\*  （0.0440） |
| 巴林左旗 | 苗期干旱指数 | 4月25日 | 5月29日 | - | 0.2588\*  （0.0906） |
| 开花授粉期风雨倒伏指数 | 6月19日 | 8月15日 | 风速9m/s  降水16.0mm | 0.3266\*\*  （0.0293） |
| 陵城区 | 苗期干旱指数 | 6月5日 | 6月27日 | - | 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) |
| 开花授粉期风雨倒伏指数 | 7月29日 | 9月12日 | 风速7.4m/s  降水27.1mm | 0.4641\*\*\*  (0.0041) |
| 西华县 | 苗期干旱指数 | 6月25日 | 7月4日 | - | 0.2881\*  （0.0505） |
| 拔节抽穗期中温高湿大斑病指数 | 7月4日 | 8月5日 | 温度24℃  相对湿度80% | 0.2465\*  （0.0867） |

注：括号中的数字为p值,\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的水平下显著，部分地区某些天气指数无法找到最优触发值。

**④厘定保险产品费率**

以每个指数的Kendell相关系数作为权重，加权得到综合指数，然后进行模型概率分布拟合，将拟合程度较高的模型作为天气指数的分布模型，并通过相应模型参数的计算来确定灾害发生频率，再求得对应天气指数触发区间的期望，即可看做对应区间的玉米损期望。

各地区综合指数的分布函数拟合情况见表2。

表2 实验地区综合指数概率分布函数拟合情况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地区 | 分布函数 | 参数 | Kolmogorov-Smirnov统计量 |
| 农安县 | Normal |  | 0.0872\*\*\* |
| 巴林左旗 | Wakeby |    | 0.0751\*\*\* |
| 陵城区 | Gen Logistic |  | 0.1232\*\*\* |
| 西华县 | Cauchy |  | 0.0826\*\*\* |

\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的水平下显著

用综合指数的分位数可以直接对应损失率地分位数。由于实际的数据量较少，为了保证所有的损失区间内都有足够的数据，所以采用等额划分的方法，按损失程度将费率划分为4档，7%以下为低风险档，7%-14%为中风险档，14%-21%为高风险档，损失率在21%以上的情况在历史数据中出现概率较低，故直接作为超高风险档，即21%-100%。根据气象指数序列计算对应区间的概率密度可以计算出对应风险等级的发生概率。



式中*Pi*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*为天气指数变量，*f*(*x*)为天气指数的最优概率密度函数。然后根据公式可以计算出最终费率。详情见表3.

表3 实验地区各级别风险发生概率及最终费率

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 地区 | 低风险发生概率 | 中风险发生概率 | 高风险发生概率 | 超高风险发生概率 | 费率 |
| 农安县 | 11.53% | 2.39% | 6.41% | 12.44% | 9.29% |
| 巴林左旗 | 11.70% | 13.27% | 5.03% | 8.41% | 8.48% |
| 陵城区 | 11.24% | 18.70% | 11.71% | 1.51% | 4.47% |
| 西华县 | 8.10% | 25.52% | 2.96% | 8.44% | 8.58% |

**⑤分析生产功能区的产品应用差异性**

已经对于四个实验地区的保险费率进行了厘定。但是四个功能区

项目采用层次分析法（AHP）作为主观权重计算方法，熵权作为客观权重，对实验地区进行风险强度与差异性分析。按照玉米生产重要性指标、玉米生产力指标、玉米生产自然条件指标三个方面选取8个指标进行分析。具体指标如表4所示

表4 生产功能区的产品应用差异性指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类别 | 指标名称 | 具体含义 |
| 玉米生产重要性指标 | 面积比重 | 玉米种植面积占所有耕地面积比例 |
| 产量比重 | 玉米产量占所有粮食总产的比例 |
| 产值比重 | 玉米产值占该县GDP的比例 |
| 玉米生产力指标 | 亩均农业机械总动力 | 农业机械总动力除以该县玉米种植面积 |
| 亩均农用拖拉机台数 | 农用拖拉机台数除以该县玉米种植面积 |
| 亩均机电井数 | 农用机电井数除以该县玉米种植面积 |
| 玉米生产自然条件指标 | 海拔 | 当地气象站所处海拔高度 |
| 土壤条件 | 根据当地耕地主要土壤成分以及面积占比综合计算所得 |

生产重要性指标数据、生产力指标数据来源于2010-2020年《吉林统计年鉴》《巴林左旗统计年鉴》《德州统计年鉴》《河南统计年鉴》，土壤条件数据来源于《农安县志》《巴林左旗志》《陵县志》《周口县志》。

通过层次分析法以及熵权法得到各指标的主客观权重，并按照主观权重占40%、客观权重占60%的比例计算总权重。具体结果见表5.

表 5 生产功能区的产品应用差异性指标权重

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 主观权重 | 客观权重 | 综合权重 |
| 面积比重 | 0.0252 | 0.0964 | 0.0679 |
| 产量比重 | 0.0171 | 0.0886 | 0.0600 |
| 产值比重 | 0.0928 | 0.2047 | 0.1599 |
| 农业机械总动力 | 0.1088 | 0.1146 | 0.1123 |
| 农用拖拉机台数 | 0.0739 | 0.1286 | 0.1067 |
| 机电井数量 | 0.4011 | 0.185 | 0.1271 |
| 海拔 | 0.0702 | 0.0735 | 0.0469 |
| 土壤条件 | 0.2106 | 0.1086 | 0.0736 |

然后对各指标进行归一化处理，利用TOPSIS理想点原理，进行最终评价与排名。最终结果见表6

表6 实验地区理想点贴近度与排序

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地区 | 正理想解距离 | 负理想解距离 | 理想解贴近度 | 排序 |
| 西华县 | 0.2459 | 0.2632 | 0.5170 | 1 |
| 农安县 | 0.2542 | 0.2589 | 0.5046 | 2 |
| 陵城区 | 0.2899 | 0.1747 | 0.3760 | 3 |
| 巴林左旗 | 0.3367 | 0.1323 | 0.2821 | 4 |

研究发现，8个指标中，亩均农业机械总动力、亩均机电井数量、土壤条件三个指标主观权重较高，玉米产值比重、亩均农业机械总动力、亩均机电井数量、土壤条件的客观权重较高。在产品应用时应着重考虑这几个方面的因素。西华县在四个地区中产品的适宜性最高，其次农安县。陵城区和巴林左旗的适宜性程度不高。

**⑥分析生产功能区风险一致性程度**

项目设计了玉米灾害减产率累计分布的方法进行基差风险测度。

为某县玉米遭受灾害损失率为x时的系统性风险值。拟设定损失率的取值分别为10%、20%、30%...、90%，所对应的减产程度的区间分别为[10%,100%]、[20%,100%]、…、[90%,100%]。代表该县玉米因为灾害且损失率达到x的农户数；代表该县玉米遭受灾害的农户总数。某县的越大，说明该县遭受灾害后在x水平上的减产统一性越强，则灾害的基差风险越小，适宜开展气象指数保险；反之，某村庄的越小，说明该村庄玉米遭受灾害后在x水平的减产统一性越弱，不适宜开展气象灾害。具体结果见表7—表9。

表7 山东陵城区灾害减产率累积分布表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 10%损失累积比例 | 20%损失累积比例 | 30%损失累积比例 | 40%损失累积比例 | 50%损失累积比例 | 60%损失累积比例 | 70%损失累积比例 | 80%损失累积比例 | 90%损失累积比例 |
| 2019 | 74.45% | 46.57% | 21.34% | 12.71% | 8.08% | 4.58% | 3.00% | 1.94% | 1.13% |
| 2020 | 80.52% | 51.15% | 29.42% | 19.24% | 12.82% | 8.27% | 5.36% | 3.65% | 2.12% |
| 2021 | 76.37% | 55.80% | 35.01% | 20.63% | 13.94% | 9.08% | 6.09% | 4.53% | 3.16% |

表8 内蒙古巴林左旗灾害减产率累计分布表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 10%损失累积比例 | 20%损失累积比例 | 30%损失累积比例 | 40%损失累积比例 | 50%损失累积比例 | 60%损失累积比例 | 70%损失累积比例 | 80%损失累积比例 | 90%损失累积比例 |
| 2019 | 30.28% | 2.85% | 0.86% | 0.41% | 0.28% | 0.20% | 0.16% | 0.13% | 0.12% |
| 2020 | 14.06% | 4.89% | 1.16% | 0.58% | 0.40% | 0.28% | 0.22% | 0.19% | 0.18% |
| 2021 | 14.69% | 3.98% | 1.81% | 1.22% | 0.87% | 0.58% | 0.47% | 0.38% | 0.32% |

表9 吉林农安县灾害减产率累计分布表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 10%损失累积比例 | 20%损失累积比例 | 30%损失累积比例 | 40%损失累积比例 | 50%损失累积比例 | 60%损失累积比例 | 70%损失累积比例 | 80%损失累积比例 | 90%损失累积比例 |
| 2021 | 77.79% | 5.15% | 2.42% | 1.21% | 0.73% | 0.50% | 0.33% | 0.25% | 0.15% |

通过对比表7—表9可以看出，陵城区、农安县的受灾损失率较为一致，陵城区在30%的损失比例上仍然有20%-30%农户累计比例。如果考虑更低的损失率，陵城区和农安县有70%以上的农户受灾损失超过10%，面临的基差风险较低，适宜开展气象指数保险。而巴林左旗在各个损失水平上累计农户比例都不高，即使10%的地损失率情况下仍然在只有很低的累计农户比例，这说明农户遭受灾害损失的一致性不强，面临较大的基差风险。因此开展玉米天气指数保险的适宜性不高，则通过适当缩小指数保险产品的区域范围，或通过实施“统一保费+个例补偿”的方法来提高产品科学性水平。