

# 南开大学大学生创新训练项目中期检查

## 一、项目基本信息

项目名称	极端气候下气象指数保险优化与巨灾风险分担机制研究		
项目编号	202510055502		
项目所在学院	金融学院		
起止时间（年月）	2025 年 3 月至 2026 年 4 月		
项目负责人	刘怡菲	所在院系	金融学院
学号	2313989	专业	精算学
手机号	17396255981	邮箱	2313989@mail.nankai.edu.cn
指导老师	陈孝伟	所在院系	南开—泰康保险与精算研究院

## 二、中期检查内容

### 1) 已取得成果

#### 1. 数据收集与整理

小麦生产数据收集：从河南省统计年鉴系统收集了小麦产量数据和种植面积数据，计算得到了各年份、各地区的单位面积产量。

气象数据获取：从 NOAA 下载了关键气象要素数据，计算出了各项气象指数数据。

#### 2. 趋势产量拟合与气象产量分离

多方法趋势拟合：运用四种不同的数学方法对小麦趋势产量进行拟合。

气象产量分离：基于各方法的趋势产量拟合结果，计算得到了相对气象产量。

### 3. 相关性分析

相关性分析：计算了各项气象指数与相对气象产量之间的相关系数。

气象指数筛选：识别出对小麦产量影响显著的关键气象因子。

回归模型建立：建立了气象指数与相对气象产量之间的回归方程。

## 2) 项目进展状况小结

### 2.1 小麦趋势产量分离

#### 2.1.1 5a 滑动平均法

我们利用 5a 滑动平均法将连续 5 年的小麦产量序列看作是变化的线性函数，直线随着各阶段依次向后延伸滑动，形成趋势，各时点的小麦趋势产量为各回归值的平均值。本文收集到 2002 年-2021 年共 20 年的单产数据，按照公式，共需要做 16（ $i = \text{序列个数} - \text{滑动步长} + 1$ ）次回归模型。以 2002—2021 年的小麦数据为例，利用 5a 滑动平均拟合其趋势产量值。我们使用 python 软件进行回归并得到小麦趋势产量与实际产量的对比图、相关系数值，以及 MAPE 值。

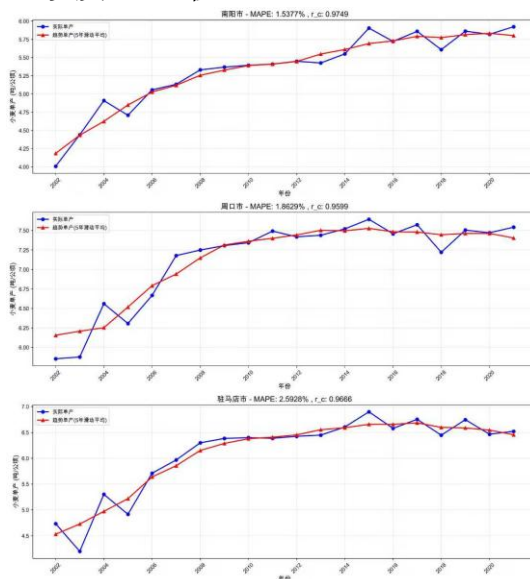


图 2.1.1 5a 滑动平均法下柑橘实际产量和趋势产量年际变化

#### 2.1.2 hp 滤波法

HP 滤波法是一种时间序列的分离方法，常用在趋势产量的拟合和气象产量的分离中。由于本文的研究数据为年度数据，根据以往的研究经验， $\lambda$  的值选取 100。用 python 得到的趋势产量与实际产量的对比图如图所示。

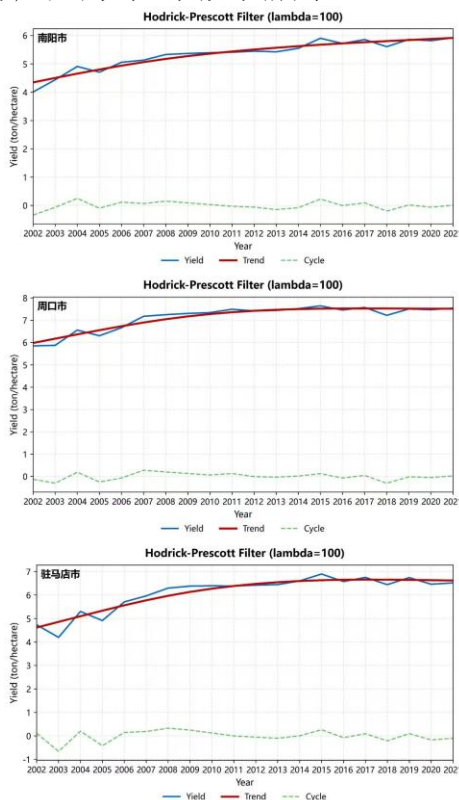


图 2.1.2 hp 滤波法下柑橘实际产量和趋势产量年际变化

### 2.1.3 双指数平滑法

我们采用双指数平滑法对小麦产量序列进行趋势分离，该方法通过引入水平分量和趋势分量的双重平滑机制，能够有效捕捉时间序列的长期趋势变化。双指数平滑法包含水平方程和趋势方程两个递归公式，分别对序列的基本水平和变化趋势进行动态更新。通过设定平滑常数  $\alpha=0.3$ ，我们分别计算各年份的水平分量和趋势分量，进而得到小麦趋势产量序列。利用 Python 软件实现了双指数平滑算法，得到小麦趋势产量与实际产量的对比图、相关系数值，以及 MAPE 值。

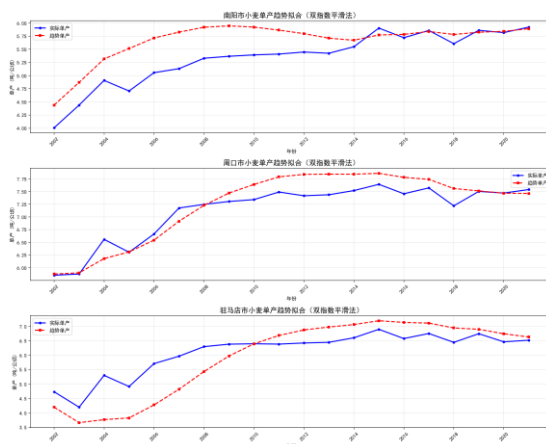


图 2.1.3 双指数平滑法下柑橘实际产量和趋势产量年际变化

#### 2.1.4 灰色模型法

采用灰色模型 GM(1, 1) 对小麦产量序列进行趋势分离，该方法基于灰色系统理论，通过累加生成弱化原始序列的随机性，建立微分方程模型来揭示序列的内在规律。我们通过一次累加生成 (1-AGO) 构造新的序列，利用最小二乘法求解发展系数  $a$  和灰色作用量  $b$ ，进而建立时间响应函数得到小麦趋势产量序列。利用 Python 软件实现了双指数平滑算法，得到小麦趋势产量与实际产量的对比图、相关系数值，以及 MAPE 值。

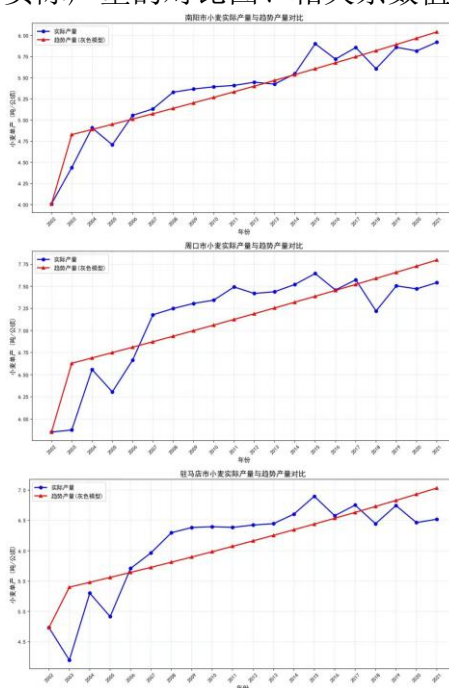


图 2.1.4 灰色模型法下柑橘实际产量和趋势产量年际变化

### 2.1.5 趋势产量拟合结果比较分析

将 5a 滑动平均法、HP 滤波法、双指数平滑法、灰色模型法下拟合的趋势产量分别与原来的实际单产进行对比，可以发现，四种方法都具有较好的拟合效果，没有出现与实际单产过分偏离的拟合曲线。

因此通过定量分析比较四种方法，通过对比一致性相关系数  $r_c$  和平均绝对百分误差值 MAPE，确定出 5a 滑动平均下趋势产量的拟合结果最优。因此，本文择优选择 5a 滑动平均法作为趋势产量的拟合方法。

表 2.1.5 趋势产量与实际产量相关性检验结果

		5a 滑动平均法	Hp 滤波法	双指数平滑法	灰色模型法
南阳市	$r_c$	0.9749	0.9619	0.8418	0.9983
	MAPE	1.5377%	2.1%	6.7460%	2.2587%
周口市	$r_c$	0.9599	0.9603	0.9570	0.8661
	MAPE	1.8629%	1.78%	2.6758%	3.5934%
驻马店市	$r_c$	0.9666	0.9482	0.9144	0.8295
	MAPE	2.5928%	3.25%	10.0403%	5.8878%

### 2.2 确定相对气象产量

因气象产量为绝对数值，为开展比较计算，使用相对气象产量和减产率作为下一步研究的数据基础，相对气象产量为负值时表示气象因素导致小麦产量的相对减少，即为小麦减产率，相对气象产量为正值或 0 时表示气象因素对小麦生长有利或没有影响，减产率记为 0。经计算，得到的小麦相对气象产量如下表所示：

表 2.2 2002—2021 年各市小麦相对气象产量

年份	南阳市	周口市	驻马店市
2002	-0.04432	-0.05161	0.043046
2003	0.001149	-0.05638	-0.12588
2004	0.058049	0.046884	0.062211
2005	-0.03	-0.03345	-0.06165
2006	0.005773	-0.01888	0.012544
2007	0.002611	0.033002	0.018718
2008	0.013936	0.013879	0.02335
2009	0.007613	-0.00104	0.015244

2010	0.000701	-0.00253	0.003089
2011	0.000188	0.012314	-0.00345
2012	0.000556	-0.00321	-0.00428
2013	-0.02246	-0.00863	-0.01625
2014	-0.01089	0.003286	0.002116
2015	0.035874	0.015309	0.035126
2016	-0.00118	-0.00341	-0.01186
2017	0.011657	0.012369	0.010151
2018	-0.02955	-0.03121	-0.02351
2019	0.008166	0.005653	0.023743
2020	-0.00237	0.001168	-0.01234
2021	0.020494	0.018362	0.010005

### 2.3 气象指数与小麦相对气象产量相关性分析

根据经验和相关资料可知，构建有效的指数保险，必须确保筛选出的气象要素与选定农作物产量损失相关程度较高。因此，在确定样本地区的气象指数前，要进行各地区在不同气象指数情况下与相对气象产量之间的相关性分析，寻找出相关性最高的气象指数，从而使实际产量损失与保险赔付情况尽可能保持一致。将小麦相对气象产量与选定的 9 个气象指数，运用 SPSS 对 3 个样本地区进行相关性分析，其结果如表：

表 2.3 相对气象产量与气象指数相关性检验结果

指数	地区	南阳市	周口市	驻马店市
$FL_1$	相关系数	0.075	-0.059	-0.182
	显著性	0.754	0.805	0.441
$FL_2$	相关系数	0.072	0.067	0.216
	显著性	0.764	0.78	0.36
$D_{25}$	相关系数	0.012	0.094	0.077
	显著性	0.96	0.692	0.747
$R_{max}$	相关系数	0.053	0.076	0.25
	显著性	0.825	0.75	0.289
$D_{50}$	相关系数	-0.437	-0.098	-0.162
	显著性	0.054	0.681	0.495
$DI_1$	相关系数	0.069	0.185	-0.374
	显著性	0.772	0.436	0.104
$DI_2$	相关系数	0.075	0.077	0.22
	显著性	0.754	0.747	0.352
$FDD$	相关系数	0.202	0.363	0.415
	显著性	0.393	0.116	0.069

<i>RAI</i>	相关系数	0.051	-0.023	0.134
	显著性	0.831	0.924	0.575

## 2.4 回归方程建立

结合相关系数与显著性检验结果，为样本地区选定最终的气象指数，如表 2.4.1 所示。

表 2.4.1 各市选定的气象指数

地区	南阳市	周口市	驻马店市
气象指数	$D_{50}$	$FDD$	$FDD$

针对各样本地区最显著的气象指数，与其相对气象产量进行回归，得出结果如表 2.4.2 所示。

表 2.4.2 各市相对气象产量与选定气象指数的回归模型结果

研究区域	相关气象指数	回归分析
南阳市	$D_{50}$	$y = -0.010703D_{50} + 0.008256$
周口市	$FDD$	$y = 0.000352FDD + 0.009900$
驻马店市	$FDD$	$y = 0.000653FDD + 0.024594$

上表中， $y$  为各市相对气象产量， $D_{50}$ 、 $FDD$  分别为南阳市 5 月中旬-6 月暴雨日数、周口市和驻马店市返青期负积温指数。由上表可以得到以下结论：

(1) 南阳市相对气象产量与南阳市 5 月中旬-6 月暴雨日数负相关，即当小麦成熟期时暴雨日数大于 1 时，将对小麦单产造成减产；

(2) 周口市相对气象产量与周口市 2—3 月负积温正相关，即当小麦返青期负积温低于  $-28.125^{\circ}\text{C}$  时，将对小麦单产造成减产；

(3) 驻马店市相对气象产量与周口市 2—3 月负积温正相关，即当小麦返青期负积

温低于 $-37.663^{\circ}\text{C}$ 时，将对小麦单产造成减产。

### 3) 项目今后计划

2025 年 11 月—2026 年 2 月：（1）通过 A-D 检验确定最优单产分布。设计四档免赔率（0%、2%、5%、7%）下的保费方案，测算综合成本率。（2）优化保费返还机制，完成 3 年周期结算模型的蒙特卡洛模拟。（3）政策机制设计。完成美国 FCIC 双轨制与中国现状对比分析，提出“四层分担体系”框架。

2026 年 2 月—2026 年 4 月：成果集成与结题准备。完成 2 篇论文，撰写政策建议报告。

### 4) 经费使用情况和经费安排计划

在项目中期阶段，尚未产生直接经费支出。根据项目研究进展和后续工作需要，现制定以下经费使用计划：

#### 1. 打印复印费（预算：300 元）

用途说明：研究报告和论文的打印装订、数据图表的彩色打印、会议交流和答辩材料的制作、相关资料文献的复印。

#### 2. 数据库购买费（预算：500 元）

用途说明：购买更详细的气象观测数据、获取专业的农业气象数据库。

### 5) 项目存在问题及解决方案

#### 1. 气象数据年份缺失问题

在项目初期，我们根据研究需要选取了特定的气象指标，但在数据收集过程中发现，部分关键气象指标在某些年份存在数据缺失现象，这直接影响了时间序列的连续性和分析的准确性。因此我们将研究时段调整为 2002–2021 年，确保所有气象指标在该时



间段内具有完整的数据记录。

## 2. 气象指标相关性不显著问题

初步选取的气象指标与相对气象产量的相关性分析结果不理想，部分指标的相关系数较低，未能达到预期的统计显著性水平，这影响了后续回归模型的建立和解释力度。这可能是因为初始指标选取主要基于文献参考，不完全适应当地特定的气候条件和种植模式。且单一气象指标对产量的影响可能被其他环境因素所掩盖。因此我们充分利用现有的气温和降水数据，重新设计和优化气象指数。

## 3. 气象数据多样性不足问题

目前获取的气象数据主要集中在常规的降水和温度要素，数据维度相对单一，构建的气象指数体系不够丰富，难以全面反映气候条件对小麦生长的综合影响。这是因为初期数据获取渠道有限，主要依赖公开的免费气象数据库，并且特殊气象要素（如辐射、湿度、风速等）的数据可获取性较差。因此我们将尝试多渠道数据获取，对数据要素进行扩展。

# 三、项目组成员签名

--

#### 四、 指导老师意见

同意按照目前的计划进度开展后续研究。

导师签字：陈孝伟  
2025 年 11 月 24 日

#### 五、 院系意见

教学负责人（签章）：  
年 月 日

#### 六、 学校大学生创新创业训练计划专家组意见

负责人（签章）：  
年 月 日