# 第九届湖南省研究生数学建模竞赛承诺书

我们仔细阅读了湖南省高校研究生数学建模竞赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

**我们完全清楚，在竞赛中必须合法合规地使用文献资料和软件工具，不能有任何侵犯知识产权的行为。否则我们将失去评奖资格，并可能受到严肃处理。**

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们授权湖南省研究生数学建模竞赛组委会，可将我们的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

我们参赛选择的题号是（从组委会提供的赛题中选择一项填写）：B 题

我们的参赛编号（请填写完整参赛编号）：202418001002

所属学校（请填写完整的全名）：国防科技大学

参赛队员（打印后签名）：1. 张伟旋

2. 刘宇瑞

3. 饶倩榕

指导教师或指导教师组负责人（打印后签名）：

日期：2024 年 7 月 12 日

---

**（请勿改动此页内容和格式。以上内容请仔细核对，如填写错误，论文可能被取消评奖资格。**

# 影响粮食安全因素分析与预测模型及算法设计

## 摘要

随着气候变化耕地减少和种子短缺问题日益加剧，保障我国的粮食安全成为一项重要且紧迫的研究课题。本文采用主元素综合分析等方法，研究了各类因素对粮食安全的影响，基于详细的数据分析和数学建模方法，全面揭示气候变化、耕地减少和种子短缺对我国粮食安全的影响机理，并预测中国未来的粮食安全趋势，为政策制定提供科学依据。

**针对问题一：**本文基于最小覆盖思想分析了气温变化对粮食产量的影响，模型关键在于量化气温对产量的具体影响。基于上述思想，通过收集年平均气温、受灾面积、极端天气次数等数据，将气温因素对三大粮产量的影响作为第一求解因素，将其余与气温耦合的因素作为次要求解因素，利用回归分析方法，将气温变化对产量的影响问题转化为回归问题，揭示气候变化对中国粮食安全影响的微观机理，同时通过均方根和聚合度等指标对模型进行评估。在此基础上，充分利用粮食进口量、粮食出口量等诸多因素，基于时间序列分析理论，采用 AR 回归模型对我国未来 10 年的粮食净进口量进行预测。

**针对问题二：**通过综合运用数学建模技术，深入分析了中国耕地面积和质量的动态变化及其影响因素。首先，采用时间序列分析方法，揭示了过去 20 年中国耕地面积变化的长期趋势和周期性模式。其次，构建多元线性回归模型，量化自然灾害、农业机械总动力、气温和耕地灌溉面积等关键因素对耕地面积变化的影响，评估了相关性和因果关系。进一步，通过综合评价模型，对耕地质量进行了多维度评估，确保评价过程的客观性和公正性。模型采用均方根误差、相关系数、方差比和拟合优度等统计指标，对耕地质量评价体系的性能进行了定量评估，确保准确性和可靠性。此外，还评估了国家政策在遏制耕地“非农化”和“非粮化”方面的效果，并提出了进一步改进政策的建议。

**针对问题三：**建立模型计算我国近二十年种子的质量自给率与数量自给率，模型中引入灾害影响因子探究旱灾/涝灾所导致的种子“退化”、“绝育”等质量问题，引入价格敏感系数衡量全球产业链布局对进出口种子数量的影响。结果表明我国近二十年的种子质量自给率和数量自给率显著提升，目前已稳定在 90%左右，可基本满足国内农业生产需求。并据此分析种子商业贸易模式转变的内在逻辑与理论依据。

**针对问题四：**根据上述研究，采用泛函思想构建相关性函数，揭示了气候变化、耕地减少与种子短缺对我国粮食安全的因果关系。分析表明，气温上升和极端天气事件频发直接导致粮食产量下降，耕地减少和质量下降进一步限制了粮食生产能力，而种子短缺则加剧了粮食安全风险。综合这些因素，未来我国粮食安全形势面临更大挑战，需要采取综合措施提升粮食安全保障能力。

本文模型考虑角度广，贴合实际，能够有效解决现实生活中具有不适定、多元性、计算量大等特点的问题。该模型具有很强的实用性和高效性，适用于分析社会民生、经济发展领域的诸多问题。

**关键词：粮食安全 主元素综合分析 最小覆盖思想 AR 回归模型 价格敏感系数**

# 目录


摘要 ..... 1

1 问题综述 ..... 1

1.1 问题背景 ..... 1

1.2 问题重述 ..... 2

2 模型假设与符号说明 ..... 2

2.1 模型基本假设 ..... 2

2.2 符号说明 ..... 3

3 问题一的分析与模型建立 ..... 3

3.1 问题分析 ..... 3

3.2 模型准备 ..... 4

3.2.1 数据处理 ..... 4

3.2.2 评价标准 ..... 5

3.3 模型建立 ..... 6

3.3.1 主元素分析 ..... 6

3.3.2 聚类分析 ..... 6

3.3.3 线性回归 ..... 7

3.3.4 时间序列分析 ..... 7

3.4 模型求解 ..... 8

3.5 问题小结 ..... 12

4 问题二的分析与模型建立 ..... 13

4.1 问题分析 ..... 13

4.2 模型准备 ..... 13

4.2.1 数据处理 ..... 13

4.2.2 评价标准 ..... 13
4.3 模型建立 ..... 14
4.3.1 多元线性回归模型 ..... 14
4.3.2 综合评定法建立耕地质量评价体系 ..... 14
4.4 分析总结 ..... 15
4.5 模型的适用性评判 ..... 18
5 问题三的分析与模型建立 ..... 18
5.1 问题分析 ..... 18
5.2 模型准备 ..... 19
5.3 模型建立 ..... 20
5.4 模型求解 ..... 21
5.5 分析总结 ..... 22
5.5.1 内在原因 ..... 22
5.5.2 理论逻辑 ..... 22
6 问题四的分析与模型建立 ..... 23
6.1 问题分析 ..... 23
6.2 模型建立 ..... 23
6.3 分析解答 ..... 23
参考文献 ..... 24
附录 附件目录/主要程序 ..... 25

# 1 问题综述

## 1.1 问题背景

粮食安全直接关系到人民的基本生活福祉，是国家发展的重要基石[1]。中国作为世界上最大的农业生产国和人口最多的国家，始终高度重视粮食安全问题。习近平总书记多次强调，粮食安全是“治国理政的头等大事”，是国家安全的重要基础。近年来，气候变化、耕地减少和种子短缺成为影响中国粮食安全的三大主要风险[2]。

图 1.1 联合收割机在麦田作业

气候变化已经成为全球范围内最严峻的挑战之一。气候变暖导致的海平面上升、极端天气事件频发等问题对农业生产带来了巨大威胁。具体而言，气候变化导致农业气象灾害频发，水资源短缺，病虫害扩散，最终影响农作物的生长和产量。例如，研究表明，在过去几十年中，中国平均气温每 10 年升高 0.3℃，而气温每升高 0.1℃，水稻、小麦、玉米三大主粮的单产会下降约 2.6%。这些变化对中国的粮食生产和安全带来了严峻的挑战。

与此同时，耕地作为重要的战略资源，面临着日益严重的保护压力。近年来，中国耕地总面积不断减少，耕地质量下降，耕地利用效率不高等问题日益突出。根据国家统计局的数据，从 2009 年到 2019 年，中国的耕地总面积减少了 1.13 亿亩，耕地“非农化”和“非粮化”问题严重威胁着粮食安全。

种子作为农业生产的“芯片”，其质量和供给直接影响粮食安全。然而，中国种业总体竞争力较弱，种子研发能力与国外存在较大差距，部分优质种子依赖进口[3]。一旦国外种子供应中断，中国部分农产品可能面临无优质种子可用、种质退化等问题，严重影响粮食供给安全。

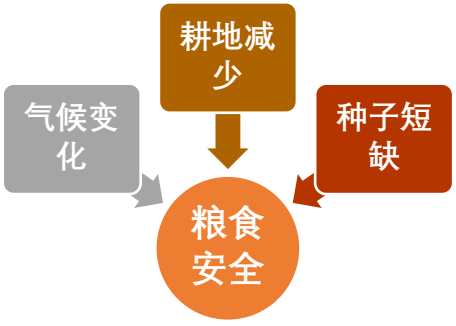


图 1.2 粮食安全风险示意图

针对上述风险，开展相关数据的收集和数学建模研究，深入分析气候变化、耕地减少与种子短缺对中国粮食安全的影响，并预测未来的趋势，具有重要的现实意义和应用价值。这不仅有助于理解粮食安全问题的微观机理，也为制定科学合理的政策措施提供依据，保障国家粮食安全。

## 1.2 问题重述

基于前述背景，本文旨在通过数学建模来应对粮食安全面临的气候变化、耕地减少和种子短缺这三方面的挑战。具体而言，本文将着重解决以下四个问题：

(1) 问题 1：基于现有气候变化数据和粮食生产数据，建立数学模型研究气候变化对中国主要粮食作物（如水稻、小麦、玉米）产量的影响机制。通过分析气温变化对这些粮食作物单产的影响规律，预测未来 10 年内中国粮食净进口量的趋势。

(2) 问题 2： 结合全国土地调查数据和相关文献资料，定量描述过去 20 年中某地区或全国范围内耕地面积和耕地质量的变化情况。建立数学模型分析耕地面积减少和耕地质量下降的原因，评估国家政策在遏制耕地“非农化”和“非粮化”方面的效果，并提出进一步改进政策的建议。

(3) 问题 3：调查和分析种子退化和绝育问题，以及全球种子产业链布局的现状。通过收集和分析数据，测度近 20 年来中国粮食种子的自给率，揭示种子短缺的深层原因，包括种子研发能力不足和国际市场依赖等因素，探讨“种子按斤称到论粒卖”现象背后的内在逻辑和理论基础。

(4) 问题 4：综合考虑气候变化、耕地减少和种子短缺对粮食安全的综合影响，建立一个综合性的数学模型，揭示这三者之间的因果关系。分析当前粮食安全形势的演变趋势，提出应对这些挑战的策略和政策建议，以确保未来粮食安全的可持续发展。

通过解决上述问题，本文旨在为应对中国粮食安全的复杂挑战提供理论支持和实践指导，帮助制定更加有效的政策措施，保障国家粮食安全。

# 2 模型假设与符号说明

## 2.1 模型基本假设

(1) 认为气候变化（如温度变化）对粮食产量具有主要影响，其他可能影响产量的因素（如土壤肥力、机械化程度、水资源等）为次要影响。

(2) 使用回归模型时，误差项呈独立的正态分布，且均值为零，方差为常数。

(3) 耕地面积和质量的变化仅受土地利用政策和自然因素（如气候变化）的影响，不考虑人为因素（如非法占用土地）的干扰。

(4) 种子的退化和绝育效应不受环境因素的影响，假设这些效应在相同条件下具有一致性。

(5) 气候变化、耕地减少和种子短缺对粮食安全的影响是独立的，这些因素之间没有交互作用。

(6) 数据收集和测量过程中没有系统性误差，所有数据均为真实有效的观测数据。

(7) 耕地利用效率在政策实施前后是可比较的，不受其他外部政策或市场因素影响。

## 2.2 符号说明

本文定义了如下 10 个使用次数较多的符号，其余符号在使用时注明。

表 2.1 符号说明

| 序号 | 符号 | 含义 |
|---|---|---|
| 1 | Φ | 年均气温 |
| 2 | Γ | 年受灾面积 |
| 3 | Ψ | 年极端天气次数 |
| 4 | Ω | 年均极端天气烈度 |
| 5 | NGI | 粮食净进口量 |
| 6 | GI | 进口数量 |
| 7 | EV | 出口数量 |
| 8 | IC | 灾害影响系数 |
| 9 | D_loss | 种子损耗率 |
| 10 | alpha | 价格敏感系数 |

# 3 问题一的分析与模型建立

## 3.1 问题分析

问题一要求我们自行搜集可用数据，基于气温为主导的各类影响中国水稻、小麦、玉米三大主粮产量的因素，分析气候变化对中国粮食安全影响的微观机理，然后预测中国未来 10 年粮食净进口量的走势。为此，我们主要考虑了年平均气温、受灾面积、极端天气次数和机械化程度等因素，其中机械化程度用主要农业机械年末拥有量来代替。此外，对于净进口量的预测，我们还需考虑耕地面积、粮食进口数、进口均价、出口数、出口均价、人均主要农产品产量以及耕地灌溉面积。在所有因素中，气温变化是主要的考虑因素，占比最大。

具体而言，本文将按照以下步骤进行研究。首先，我们将对影响三大主粮产量的可能因素进行详细分析和整合。通过收集年平均气温、受灾面积、极端天气次数和机械化程度（用主要农业机械年末拥有量来衡量）等数据，预处理这些数据以确保其完整性和一致性。接下来，使用主元素分析和聚类分析方法，对各因

素的影响权重进行降序排列。主元素分析将帮助我们识别和提取主要影响因素，聚类分析则将这些因素进行分类，找出对粮食产量有显著影响的主要因素。

基于上述分析，我们将整合相关数据，并建立一个回归模型来研究气温等因素对三大主粮产量的具体影响。通过回归分析，我们可以量化气温变化对粮食产量的影响，并结合其他因素的权重，形成一个全面的影响机理模型。随后，我们将使用相似的方法，建立净进口量和各类因素之间的关系模型。我们将收集并整合耕地面积、粮食进口数、进口均价、出口数、出口均价、人均主要农产品产量和耕地灌溉面积等数据，通过提取权重特征值的方法，找出这些因素对粮食净进口量的影响。

最后，通过时间序列分析，我们将对特征值进行处理，预测中国未来 10 年的粮食净进口量走势。这一预测将基于模型计算结果，结合历史数据和趋势分析，为中国未来的粮食安全提供科学依据。

问题一的思路流程图如图 3.1 所示：

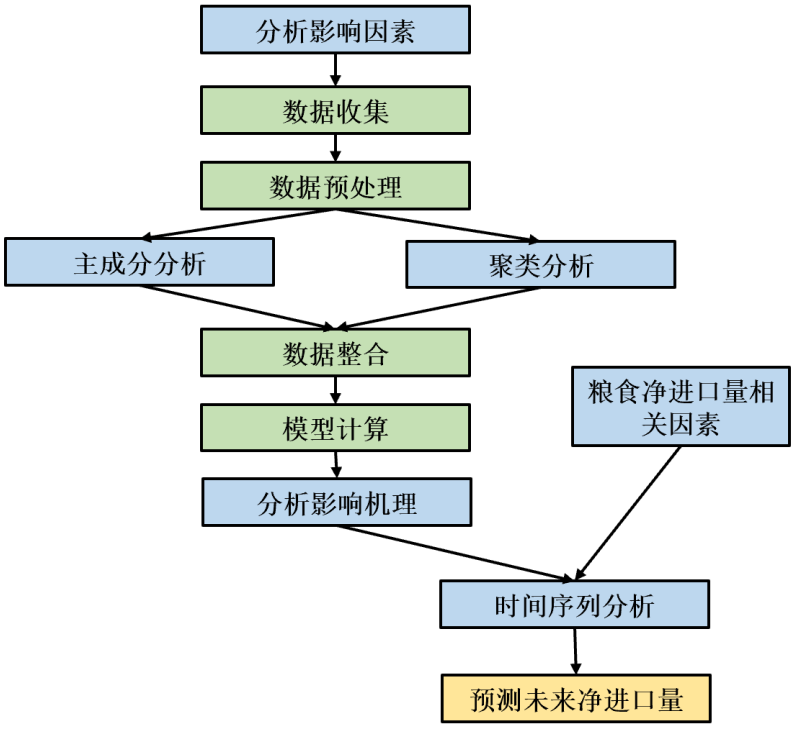


图 3.1 问题一思路流程图

## 3.2 模型准备

### 3.2.1 数据处理

在实验室进行相关研究和工程实践中，我们得到的数据大多情况下都会出现空缺值和异常值，这些不符合实际的偏差值会对整个实验结果造成较大的影响。因此，在进行正式分析求解之前，需要进行预处理工作。本文对题目所给附件数据进行了如下处理：

第一步：对收集的相关数据进行空缺值筛查。通过对所有数据进行检查和验证，我们发现存在个别空缺值。为确保数据的完整性，我们依据相邻数据进行插

值补全。具体方法是通过线性插值，使用相邻时间点的数据值来估算缺失的数据点，从而填补这些空缺值。

第二步：采用拉依达准则（也称为$3\sigma$准则）对数据进行筛选。具体方法是计算数据的均值（$\mu$）和标准差（$\sigma$），并剔除数据值不在$\mu+3\sigma$范围内的相关数值。经过筛选后，未发现异常值，确保了数据的准确性和可靠性。

通过上述两步预处理工作，确保了数据的完整性和准确性，为后续的分析和建模提供了可靠的数据基础。这一步骤的完成为我们进一步进行主成分分析、聚类分析以及回归建模等奠定了坚实的基础。

### 3.2.2 评价标准

在评估气候变化对粮食安全的影响模型时，我们采用以下评价标准来衡量模型的性能：

(1) 均方根误差 (RMSE)

均方根误差（Root Mean Square Error，RMSE）是衡量模型预测误差的标准方法。对于 m 个样本$(x_1,y_1),(x_2,y_2),...(x_m,y_m)$，模型的估计值为$(x_1,y'_1),(x_2,y'_2),...(x_m,y'_m)$，RMSE 的计算公式如下式所示：

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(y_i-y')^2} \tag{3.1}$$

其中，$y_i$为真实值，$y'_i$为预测值。RMSE 实际上是放大了较大误差之间的距离，根号内的部分类似于线性回归的损失函数。我们在测试集上计算损失函数的值，并取其平方根以更好地描述数据。RMSE 值越小，表示误差越小，模型预测效果越好。

(2) 拟合度 ($R^2$)

拟合度（R-squared，$R^2$）是衡量回归模型对观测值拟合程度的统计量。其计算公式如下式所示：

$$R^2=1-\frac{RSS}{TSS} \tag{3.2}$$

其中，分子为残差平方和（RSS），表示模型预测的总误差，分母为总平方和（TSS），表示样本的总变异量，$y'$为样本均值。具体计算公式如下：

$$RSS=\sum_{i=1}^{m}(y_i-y')^2 \tag{3.3}$$

$$TSS=\sum_{i=1}^{m}(y_i-mean(y_i))^2 \tag{3.4}$$

$R^2$的值越大，表示模型的拟合效果越好。$R^2$的最优值为 1，若预测模型为随机值，$R^2$可能为负值；若预测值恒为样本均值，$R^2$为 0。通过以上两个评价标准，我们可以对模型的预测性能和拟合效果进行全面评估。

## 3.3 模型建立

### 3.3.1 主元素分析

通过相关性计算主要相关的元素，可以帮助我们确定哪些因素对目标变量（如粮食产量）的影响最显著。在分析气候变化对中国粮食安全的影响时，我们主要考虑了年平均气温、受灾面积、极端天气次数和机械化程度（用主要农业机械年末拥有量来衡量）等因素。此外，对于预测粮食净进口量，我们还需考虑粮食进口数、进口均价、出口数、出口均价、人均主要农产品产量等。通过计算每个因素与目标变量之间的相关系数，我们可以衡量它们之间的线性关系强度，并按相关系数的绝对值进行排序，以确定哪些因素与目标变量的相关性最强。根据排序结果，选择前几个相关性最强的因素作为主要相关因素，重点分析这些因素对目标变量的影响。通过这些步骤，我们可以识别出对目标变量影响最显著的因素，从而在分析气候变化对中国粮食安全的影响时，重点关注这些主要相关因素。这不仅有助于简化模型，还能提高分析结果的准确性和可靠性。

通过查阅资料，影响三大粮产量的主要因素有气温、受灾面积、受灾次数、机械化程度。我们通过对这些因素进行主元素分析，得到他们对三大粮食产量的影响权重。同样，影响粮食净进口量的主要因素有粮食产量、粮食进口数量、进口均价、出口数、人均主要农产品产量，对这些因素进行主元素分析，得到他们对粮食净进口量的影响权重。

### 3.3.2 聚类分析

聚类分析是一种无监督的机器学习方法，旨在根据样本的特征将其划分为多个组（簇），使得同一簇内的样本具有较高的相似性，而不同簇之间的样本则具有较大的差异性。在研究气候变化、受灾情况和机械化程度对粮食安全影响的过程中，聚类分析可以帮助我们识别不同样本的潜在模式和结构，从而提供有价值的见解。

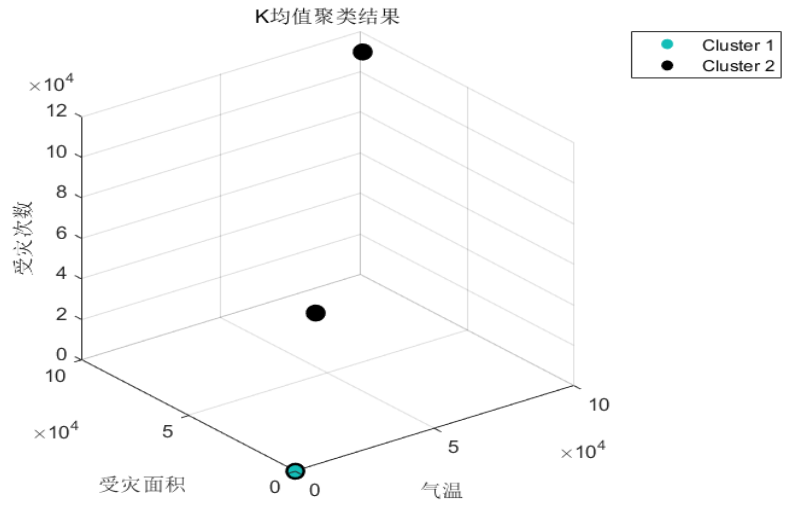


图 3.2 聚类分析示意图

### 3.3.3 线性回归

线性回归模型是统计学和机器学习中最常见的回归分析方法之一，用于描述两个或多个变量之间的关系。线性回归的目标是找到一个最佳拟合直线，使得自变量和因变量之间的误差最小化。

线性回归模型可以表示为以下形式：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_n x_n + \varepsilon \tag{3.5}$$

其中，y 是因变量（目标变量）。$x_1, x_2, ..., x_n$ 是自变量。$\beta_0$ 是截距项。$\beta_1, \beta_2, ..., \beta_n$ 是自变量的回归系数。$\varepsilon$ 是误差项。

### 3.3.4 时间序列分析

时间序列分析是一种统计方法，用于分析时间序列数据，即按时间顺序排列的观测值。其主要目的是发现数据中的特征和规律，从而预测未来的值。时间序列分析广泛应用于经济学、金融学、气象学、工程学、医学等领域。

时间序列数据通常包含趋势、季节性、周期性和随机性等特征。趋势是时间序列数据中长期变化的方向，可以是上升、下降或水平的；季节性是时间序列数据中周期性波动的成分，通常以一年为周期，反映出特定时间段的重复模式；周期性是指具有较长周期的波动，通常与经济周期、商业周期等有关；随机性则是时间序列数据中不可预测的成分，通常由短期的、无规律的波动组成，反映数据中的噪声或不确定因素。

时间序列分析的方法包括描述性分析、去趋势与去季节性、平稳性检验、模型拟合和预测。描述性分析通过对数据的可视化和基本统计量的计算来了解数据的基本特征。去趋势和去季节性处理使数据更平稳，常用的平稳性检验方法有单位根检验。模型拟合则使用统计模型来描述数据中的规律，常用模型有自回归模型（AR）、移动平均模型（MA）、自回归移动平均模型（ARMA）和自回归积分滑动平均模型（ARIMA）。最终，预测是时间序列分析的目标，通过拟合的模型对未来的值进行预测，并通过交叉验证和误差度量评估预测结果的准确性。

时间序列分析在经济和金融、气象和环境、工程和工业、医学和健康等领域有广泛应用。在经济和金融领域，它用于预测股票价格、利率、汇率、GDP、通货膨胀率等；在气象和环境领域，用于预测天气、气温、降水量、空气质量等；在工程和工业领域，用于预测设备故障、生产量、需求量等；在医学和健康领域，用于监测和预测患者的病情变化、疾病传播趋势等。通过合适的数据处理和模型选择，时间序列分析可以帮助我们更好地理解和利用时间序列数据，为各类实际问题提供有力的解决方案。

本文拟采用自回归模型对粮食净进口量进行预测。自回归模型（Autoregressive Model, AR 模型）用于时间序列分析和预测，假设当前值是过去若干时间点的线性组合和随机误差项的结果[4,5]。基本公式为

$$y_t = c + \sum_{i=1}^{p} \Phi_i y_{i-1} + \varepsilon_t \tag{3.6}$$

其中 $y_t$ 是时间点 t 的值，c 是常数项，$\Phi_i$ 是自回归系数，$p$ 是模型阶数，$\varepsilon_t$ 是误差项。AR 模型通过选择模型阶数、参数估计、模型诊断和预测步骤进行分析。

## 3.4 模型求解

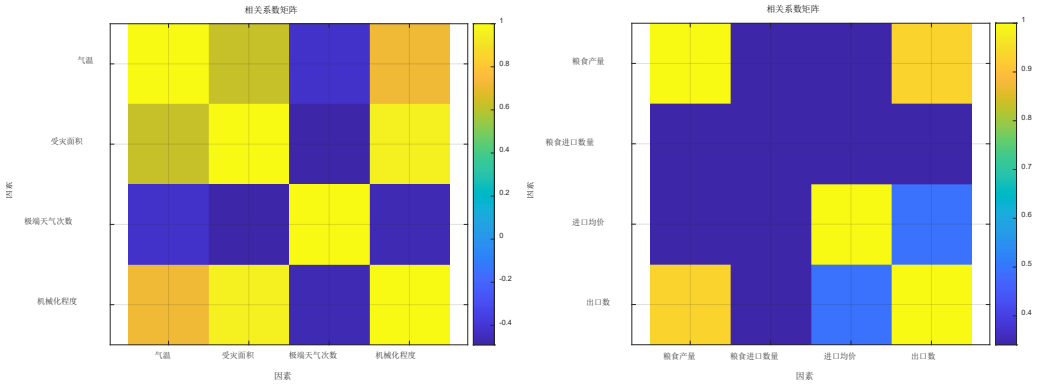


图 3.3 影响三大粮产量因素相关系数矩阵（左）影响粮食净进口量因素相关系数矩阵（右）

通过主元素分析结果可以看出，影响三大粮食产量的主要因素中，气温是最主要的影响因素，其次是年受灾面积，最后是极端天气次数和机械化程度。计算得出各元素的权重如下：

$$\beta^c=\left[\beta_s,\beta_x,\beta_y\right]=\begin{bmatrix}\beta_{s,1},\beta_{x,1},\beta_{y,1}\\ \beta_{s,2},\beta_{x,2},\beta_{y,2}\\ \beta_{s,3},\beta_{x,3},\beta_{y,3}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.75,0.55,0.65\\ 0.18,0.25,0.28\\ 0.07,0.20,0.07\end{bmatrix} \tag{3.7}$$

通过主元素分析结果可以得出，在影响粮食净进口量的主要因素中，粮食产量是最主要的影响因素，其次是进口均价，最后是粮食进口量和出口数目。为了进一步分析各元素之间的关系，我们进行了聚类分析，以排除各元素之间存在相关性的可能性。

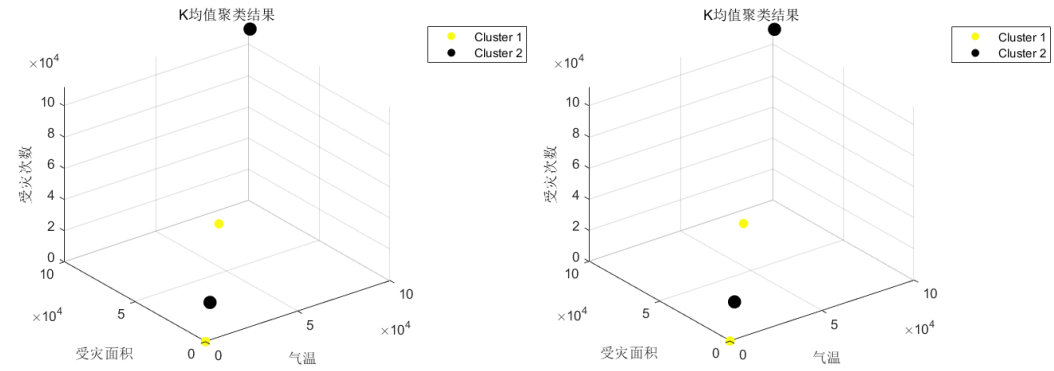


图 3.4 影响三大粮产量因素聚类分析结果（左）影响粮食净进口量因素聚类分析结果（右）

从上图可以看出，通过聚类分析，发现各因素之间并无明显成簇现象，因此采用各因素独立的方式进行模型的建立更加符合实际情况。

为了量化各个子因素之间的关系，我们引入子因素关联系数。该系数用于表示各子因素在模型中的相关性和影响程度。通过计算这些关联系数，可以建立各因素与三大主粮产量之间的关系模型，从而更准确地评估和预测粮食产量的变化。子因素关联系数定义如下：

$$\alpha=\left[\alpha_s,\alpha_x,\alpha_y\right]=\begin{bmatrix}\alpha_{s,0},\alpha_{x,0},\alpha_{y,0}\\ \alpha_{s,1},\alpha_{x,1},\alpha_{y,1}\\ \alpha_{s,2},\alpha_{x,2},\alpha_{y,2}\\ \alpha_{s,3},\alpha_{x,3},\alpha_{y,3}\end{bmatrix}$$

通过对该矩阵的求解，即可建立各因素和三大粮产量之间的关系。现针对各个影响三大粮食产量的子因素进行如下建模：

年均气温：$$\Phi=\frac{1}{365}\int_{day=1}^{day=365}T(day)d(day)=\frac{1}{365}\sum_{n=1}^{365}T(n) \tag{3.8}$$

年受灾面积：$$\Gamma=\int_{day=1}^{day=365}DA(day)d(day)=\sum_{n=1}^{365}DA(n) \tag{3.9}$$

年极端天气次数：$$\Psi=\int_{day=1}^{day=365}FEW(day)d(day)=\sum_{n=1}^{365}FEW(n) \tag{3.10}$$

年均极端天气烈度：$$\Omega=\frac{\int_{day=1}^{day=365}DA(day)d(day)}{\int_{day=1}^{day=365}FEW(day)d(day)}=\frac{\Gamma}{\Psi} \tag{3.11}$$

查阅相关资料可知，年均极端天气烈度和不确定因素之间具有互相约束的相关性。为了不失一般性，设定不确定因素权重系数$\Upsilon=0.75$。

通过上述元胞分析，可以进一步对三大粮食产量进行系统建模。我们将各个子因素整合到回归模型中，以全面反映气温等因素对三大粮产量的影响。具体模型如下：

$$\begin{cases}Y_{s,year}=\alpha_{s,0}+\alpha_{s,1}\beta^{c}{}_{s,1}\Phi_s+\alpha_{s,2}\beta^{c}{}_{s,2}\Gamma_s+\alpha_{s,3}\beta^{c}{}_{s,3}\Psi_s+\gamma\Omega_s+(1-\gamma)\varepsilon_s\\ Y_{x,year}=\alpha_{x,0}+\alpha_{x,1}\beta^{c}{}_{x,1}\Phi_x+\alpha_{x,2}\beta^{c}{}_{x,2}\Gamma_x+\alpha_{x,3}\beta^{c}{}_{x,3}\Psi_x+\gamma\Omega_x+(1-\gamma)\varepsilon_x\\ Y_{y,year}=\alpha_{y,0}+\alpha_{y,1}\beta^{c}{}_{y,1}\Phi_y+\alpha_{y,2}\beta^{c}{}_{y,2}\Gamma_y+\alpha_{y,3}\beta^{c}{}_{y,3}\Psi_y+\gamma\Omega_y+(1-\gamma)\varepsilon_y\end{cases} \tag{3.12}$$

其中，$Y_{s,year}$代表水稻产量，$Y_{x,year}$代表小麦产量，$Y_{y,year}$代表玉米产量。

分别对2004年到2023年共计20年期间三类主粮（即水稻、小麦、玉米）的年产量进行逐年回归分析，对回归后的系数进行年平均处理。根据上述模型的回归分析结果，我们得到了三大主粮年均产量与气温为主导的各因素之间的关系系数矩阵。该系数矩阵展示了各因素对水稻、小麦和玉米产量的影响权重，具体如下图所示：

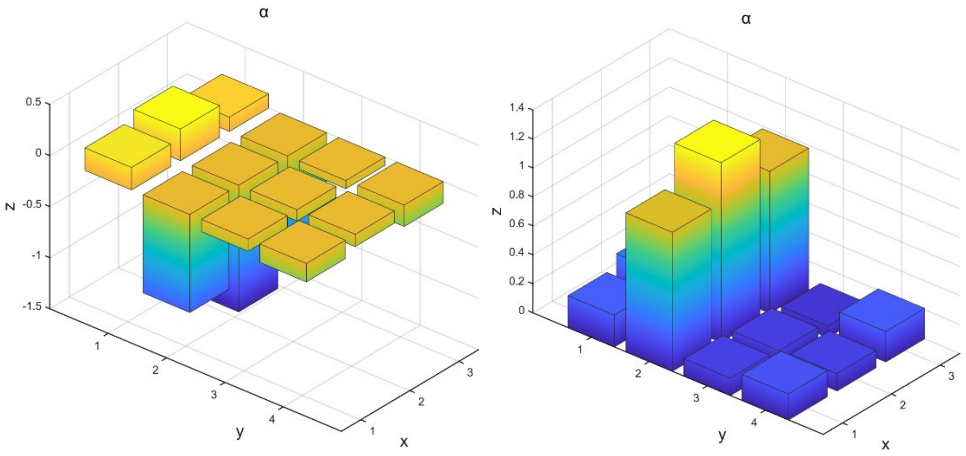


图 3.5 因素关联系数矩阵回归计算结果(左)和其绝对值（右）

计算所得关系系数矩阵如下：

$$\alpha=\left[\alpha_s,\alpha_x,\alpha_y\right]=\begin{bmatrix}\alpha_{s,0},\alpha_{x,0},\alpha_{y,0}\\ \alpha_{s,1},\alpha_{x,1},\alpha_{y,1}\\ \alpha_{s,2},\alpha_{x,2},\alpha_{y,2}\\ \alpha_{s,3},\alpha_{x,3},\alpha_{y,3}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}+0.22,+0.31,+0.14\\ -0.96,-1.24,-0.98\\ -0.12,-0.11,-0.08\\ -0.18,-0.12,-0.21\end{bmatrix} \quad (3.13)$$

随机对拟合曲线抽样50个点，通过计算均方差和拟合度，对模型进行评估。计算结果如下表所示：

表 3.1 均方差与拟合度计算结果

| | |
|---|---|
| RMSE | 0.124 |
| $R^2$ | 0.879 |

如表所示，均方根误差（RMSE）为0.124，拟合度（$R^2$）为0.879。这表明模型的预测误差较小，拟合效果良好。具体来说，RMSE为0.124表示模型预测值与实际值之间的平均差异较小，模型在捕捉数据变化方面具有较高的精度。拟合度$R^2$为0.879则表明模型能够解释约87.9%的数据变异，这意味着模型对数据的拟合程度较高，能较好地反映实际数据的趋势和规律。总体而言，该模型在预测和拟合方面表现出色，能够较准确地反映数据的真实情况。

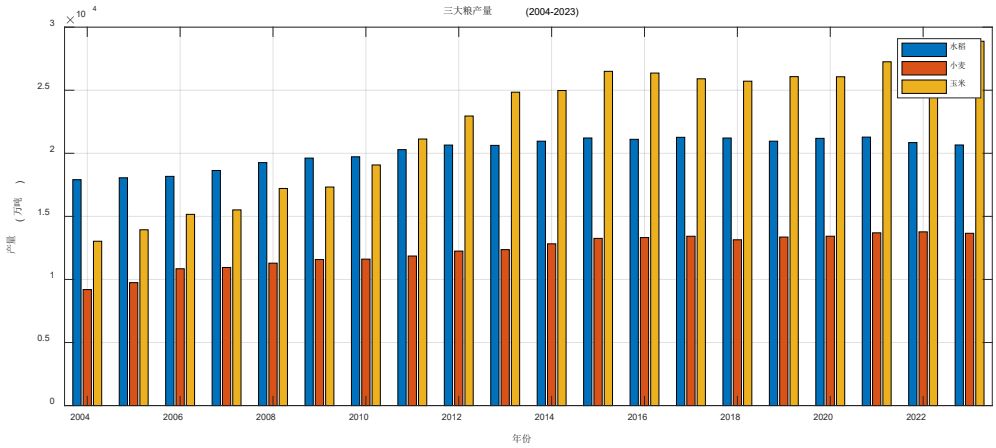


图 3.6 三大粮产量（2004-2023）

气候变化对中国粮食安全的影响主要体现在气温、受灾面积、极端天气次数和烈度等方面。气温变化与水稻、小麦、玉米产量呈负相关关系，其中小麦对气温变化最为敏感。气温升高会加速小麦生长周期，导致产量下降。极端天气事件增加了农田受灾面积和作物生长的压力，尽管这些影响相对气温变化较弱，但在气温变化的背景下，其累积效应不容忽视。生长期缩短和播种期调整是应对气温变化的必要措施。

经过调研分析，认为粮食净进口量(Net Grain Imports,NGI)主要受粮食产量、进口数量（Gross Import，GI）、进口均价、人均主要农产品数量、出口数量（Total Export Volume,TEV）、出口均价的影响，其中占主要部分的是进口均价和出口均价的比值以及粮食产量。

$$NGI = GI - TEV \qquad (3.14)$$

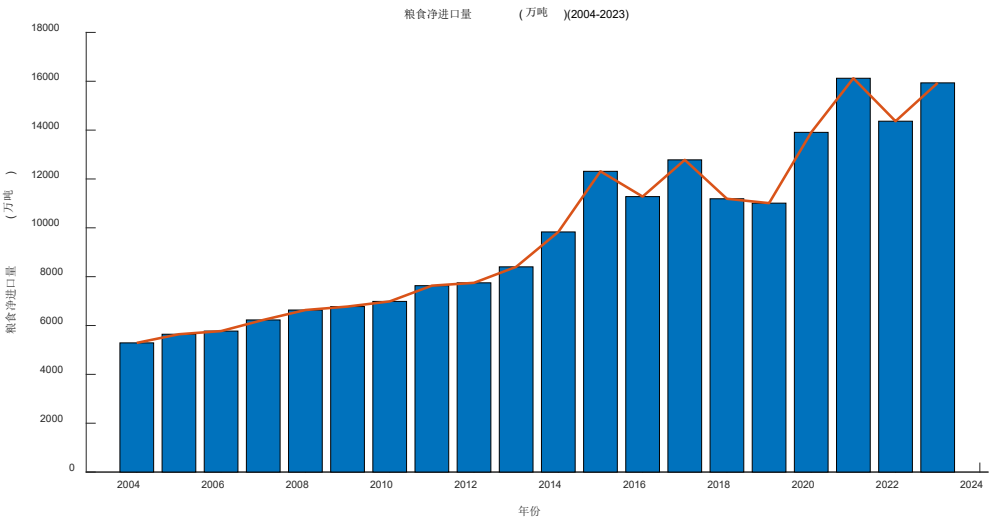


图 3.7 粮食净进口量（2004-2023）

将NGI数据导入自回归模型，对未来十年的粮食净进口量进行预测，得到以下预测结果：

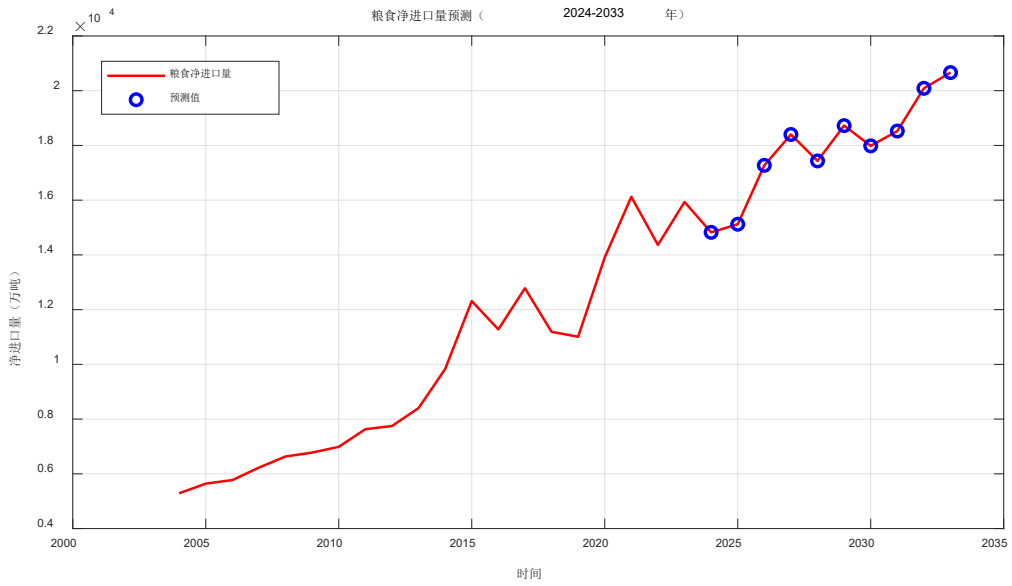


图 3.8 粮食净进口量预测结果

模型预测结果显示，未来十年，我国粮食净进口量预计为：

| 年份 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 净口量（$\times 10^4$ 万吨） | 1.4824 | 1.5121 | 1.7273 | 1.84 | 1.7434 | 1.8724 | 1.7984 | 1.8526 | 2.0087 | 2.0662 |

## 3.5 问题小结

相关研究表明，过去几十年中，中国平均气温每 10 年升高 0.3℃。在此背景下，研究发现气温每升高 0.1℃，中国水稻、小麦和玉米三大主粮的单产将下降约 2.6%。这一现象突显了气候变化对农业生产的重要影响，尤其是在气温不断上升的情况下，粮食安全面临严峻挑战。为了更好地理解气温变化对粮食产量的影响，收集了年平均气温、水稻、小麦、玉米产量、受灾面积、极端天气次数及机械化程度等相关数据。

通过对收集到的数据进行主成分分析和聚类分析，我们能够确定影响粮食产量的主要因素并量化其影响权重。分析表明，气温变化是影响粮食产量的主要因素，占比最大；受灾面积和极端天气次数也对产量有显著影响，但相对较弱。此外，机械化程度作为一种缓解气候变化影响的手段，也在一定程度上影响了粮食产量的稳定性。通过构建回归模型，进一步量化了各因素对粮食产量的具体影响。

基于上述分析，我们采用时间序列分析法预测了未来 10 年中国粮食净进口量的走势。结果表明，随着气温继续上升，中国的粮食产量将受到更大冲击，预计未来 10 年粮食净进口量将逐步增加。这一预测结果强调了制定有效的农业政策和采取适应性措施的重要性，以应对气候变化对粮食安全的负面影响。通过全面的分析和预测，本研究为中国未来的粮食安全提供了科学依据和参考，帮助决策者制定更加合理的粮食安全策略。

# 4 问题二的分析与模型建立

## 4.1 问题分析

首先，通过时间序列分析对过去 20 年的耕地面积和质量数据进行趋势分析，以识别耕地变化的长期模式。其次，利用多元线性回归模型来量化自然灾害、农业机械总动力、气温和耕地灌溉面积等因素对耕地变化的具体影响。接着，通过构建综合评价模型对耕地质量进行多维度评估。进一步，评估现行政策在遏制耕地“非农化”和“非粮化”方面的实际效果。通过这一综合分析框架，我们可以更深入地理解耕地变化的动因，评估政策效果，并提出针对性的改进建议，以应对粮食安全面临的耕地减少挑战。

## 4.2 模型准备

### 4.2.1 数据处理

(1) 数据收集与整合：将过去 20 年的耕地面积、自然灾害记录（包括受灾面积和灾害次数）、农业机械总动力、气温以及耕地灌溉面积等数据收集齐全，并整合到一个统一的数据框架中。

(2) 数据清洗：检查数据集中的缺失值、异常值或错误记录。对于缺失数据，根据数据的性质决定是填充、删除还是进行插值处理。异常值需要进行识别和处理，以避免影响模型的准确性。

(3) 数据转换：对数据进行必要的转换，如对时间序列数据进行年度汇总，将非数值型数据转换为数值型数据，以及将数据标准化或归一化，以消除不同量纲和量级的影响。

(4) 可视化：通过图形展示数据的分布、趋势和关系，这有助于识别数据中的模式和异常，为后续的模型建立提供直观的参考。

(5) 数据一致性检验：确保数据集中的各项指标在逻辑上是一致的，比如耕地面积的减少不应导致耕地灌溉面积的增加。

数据存储：将清洗和处理后的数据以适当的格式存储，以便于后续的模型建立和分析

### 4.2.2 评价标准

研究采用均方根误差（RMSE）、相关系数（R）、$\gamma^2$ 和拟合优度（$R^2$）对模型性能进行定量评估。

$$\mathrm{RMSE}=\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(M_i-O_i)^2\right)^{1/2}$$

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(M_i-\bar{M}\right)\left(O_i-\bar{O}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{N}\left(M_i-\bar{M}\right)^2\sum_{i=1}^{N}\left(O_i-\bar{O}\right)^2\right)^{1/2}}$$

$$\gamma^2 = \frac{Var(O-M)}{Var(O)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y-\hat{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2}$$

其中，N 为观测总数，M 和 O 分别表示模型值和观测值，以及等式中的$\overline{\ }$表示时间平均。Var 表示方差算子。RMSE 是观测值与模型预测值之间差异的标准度量。R 是衡量两个变量之间线性关系强度和方向的度量。物理上，$\gamma^2$值表示模型后置误差的方差与观测值的方差之间的比值。$\gamma^2$越小，模型性能越好。根据经验，$\gamma^2$的阈值被选择为 1。$R^2$衡量的是回归方程整体的拟合度，是表达因变量与所有自变量之间的总体关系。$R^2$等于回归平方和在总平方和中所占的比率，即回归方程所能解释的因变量变异性的百分比。$R^2$的值越接近 1，说明回归直线对观测值的拟合程度越好；反之，$R^2$的值越小，说明回归直线对观测值的拟合程度越差。

## 4.3 模型建立

### 4.3.1 多元线性回归模型

多元线性回归是统计学中用于分析两个或两个以上自变量（解释变量）与一个因变量（响应变量）之间线性关系的一种方法。多元线性回归模型可以帮助我们理解耕地面积变化与自然灾害、农业机械总动力、气温和耕地灌溉面积等因素之间的关系。

模型形式：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_n X_n + \epsilon \qquad (4.1)$$

其中：

- $Y$是因变量，即耕地面积。
- $X_1, X_2, \ldots, X_n$是自变量，包括自然灾害受灾面积、灾害次数、农业机械总动力、气温和耕地 灌溉面积。
- $\beta_0$是截距项。
- $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_n$是各自变量的系数，表示各自变量对因变量的影响程度。
- $\epsilon$是误差项，表示模型无法解释的随机变异。

### 4.3.2 综合评定法建立耕地质量评价体系

确定影响耕地质量的所有相关指标，例如灌溉条件、地形条件、气候条件等。由于各指标的量纲和数值范围可能不同，需要进行标准化处理，以确保评价的公正性。为每个指标设定评分标准，为每个指标设定评分标准，将每个样本的每个指标得分与其权重相乘，然后求和得到综合得分。

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} (w_j \times s_{ij}) \qquad (4.2)$$

其中：

- $\boldsymbol{S_i}$是第$\boldsymbol{i}$个样本的综合得分。

• $w_j$是第$j$个指标的权重。

• $s_{ij}$是第$i$个样本在第$j$个指标上的得分。

我们利用了三个指标：耕地单位面积产量（A）、灌溉条件（B）、农业机械总动力（C），每个指标的权重分别为 $w_A$=0.5， $w_B$=0.3， $w_C$=0.2。因此所得到的耕地质量的得分区间为[-1,1]。

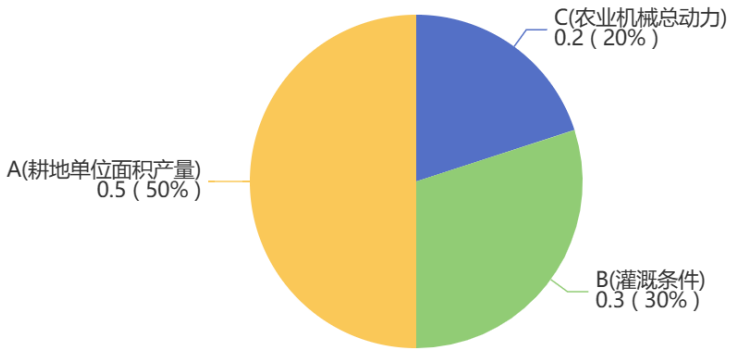


图 4.1 耕地质量评价体系指标

## 4.4 分析总结

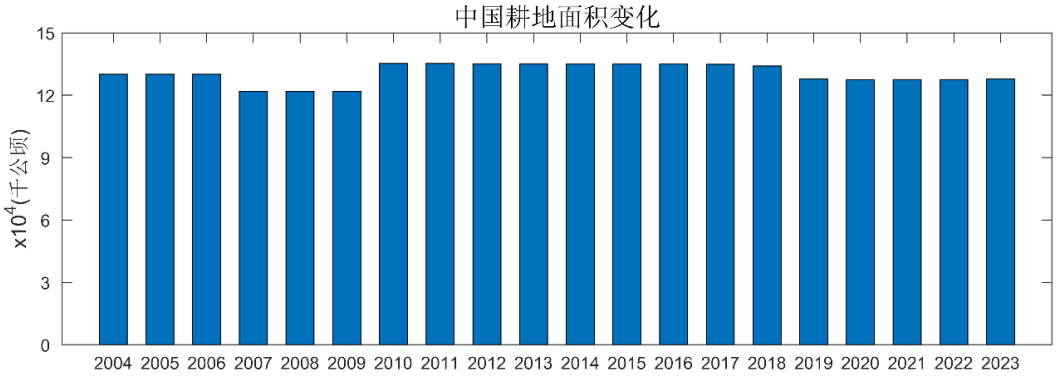


图 4.2 中国耕地面积变化

近二十年来，中国耕地面积经历了一系列变化。时间上，耕地总面积呈现“先减后增再区域稳定”的趋势，如今相对于二十年前耕地面积基本保持一致。2023年度全国国土变更调查初步汇总结果显示，全国耕地面积为 12786.67 万公顷，相较于上年末净增加了约 28.68 万公顷。这显示出中国在近年来已经初步遏制了耕地总量持续减少的势头，并连续第二年实现了全国耕地总量的净增加。

在政策方面，中国政府已经明确了一系列严格的耕地保护措施，包括但不限于禁止在未批准的情况下扩大退耕还林还草还湿还湖的规模，严格控制新增农业设施建设用地使用一般耕地，并要求县级人民政府强化县域范围内耕地转为其他农用地和农业设施建设用地的统筹安排和日常监管。这些措施和数据表明，中国政府高度重视耕地保护，通过一系列政策和措施来确保耕地资源的稳定和可持续利用。

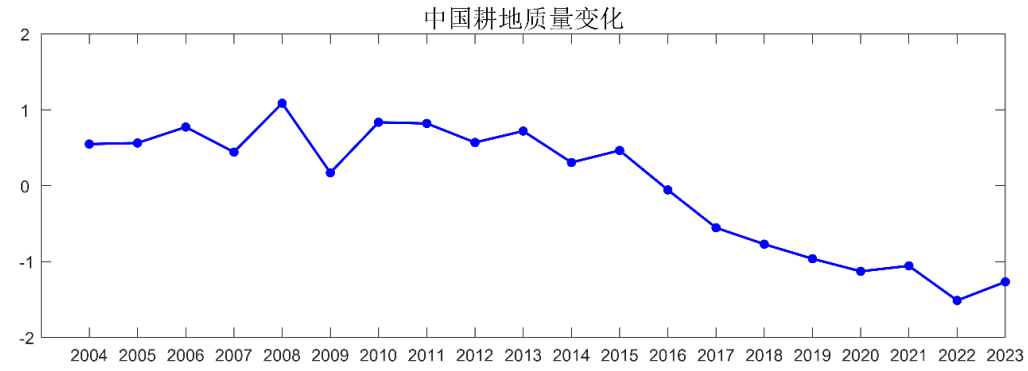


图4.3 中国耕地质量变化

随着时间的推移，中国耕地不仅面临数量上的减少，耕地质量也出现了下降的趋势。

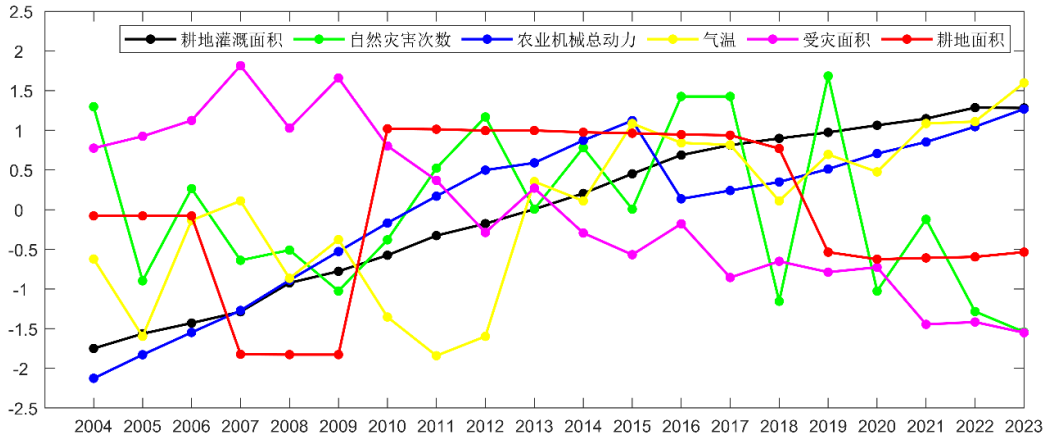


图4.4 耕地面积及其相关因素的变化

我们利用了耕地灌溉面积，自然灾害次数，农业机械总动力，气温，受灾面积这些变量去拟合这二十年来耕地质量的变化情况，分析探讨影响耕地变化的具体原因，所用的方法为多元线性回归。

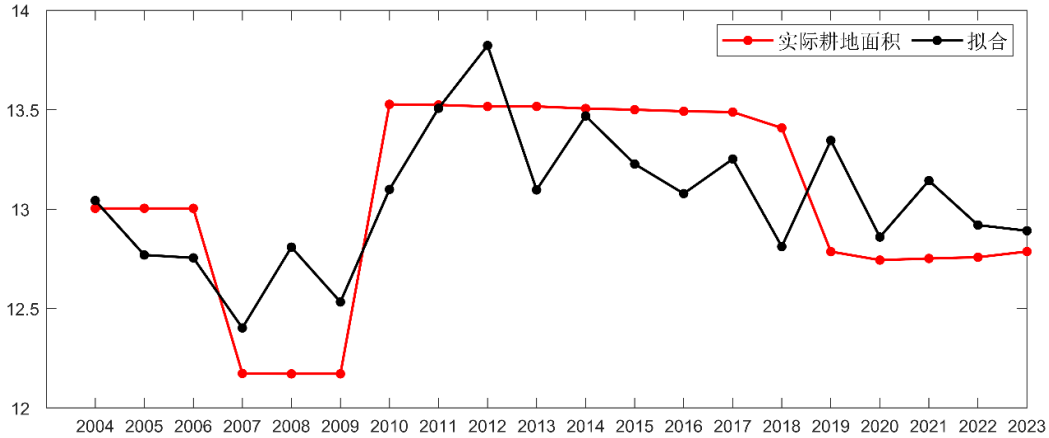


图4.5 中国耕地面积拟合曲线

所得到的耕地质量拟合曲线的最终表达式为：

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6,)$$
$$= 1.3042 - 0.0285 \times x_1 + 0.02 \times x_2 + 0.0312 \times x_3 - 0.0168 \times x_4 - 0.0255 \times x_5$$

其中$x_1$为自然灾害次数，$x_2$为耕地灌溉面积，$x_3$为农业机械总动力，$x_4$为气温，$x_5$为受灾面积。根据结果可知耕地面积与耕地灌溉面积、农业机械总动力成正比，与自然灾害次数、气温、受灾面积成反比。灌溉面积的增加通常意味着更多的耕地可以通过人工灌溉来补充自然降雨的不足，从而提高耕地的生产潜力和稳定性。因此，理论上，灌溉面积的增加可能会与耕地面积的增加成正比。农业机械化水平的提高可以增加农业生产效率，使得更多的土地得到耕作，或者同一块土地能够更加频繁地耕种。因此，农业机械总动力的增加可能会促进耕地面积的扩大。自然灾害次数的增加，如洪水、干旱、风暴等，可能会导致现有耕地受损，从而减少可用于耕种的土地面积。因此，耕地面积可能会随着自然灾害次数的增加而减少。受灾面积的增加意味着更多的耕地受到自然灾害的影响。这可能导致耕地质量下降或耕地无法使用，从而减少可用于耕种的土地面积。

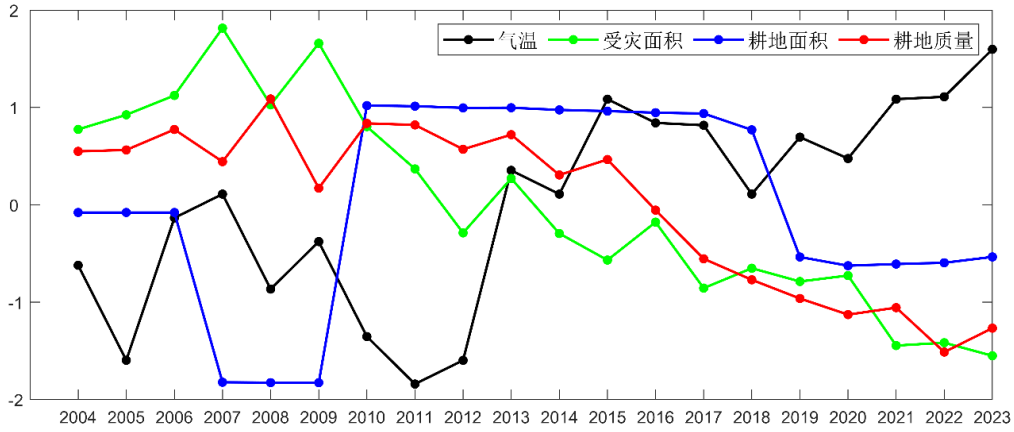


图4.6 耕地质量及其相关因素的变化

我们利用了气温、受灾面积和耕地面积这三个变量去拟合这二十年来耕地质量的变化情况，具体所用的方法为多元线性回归。

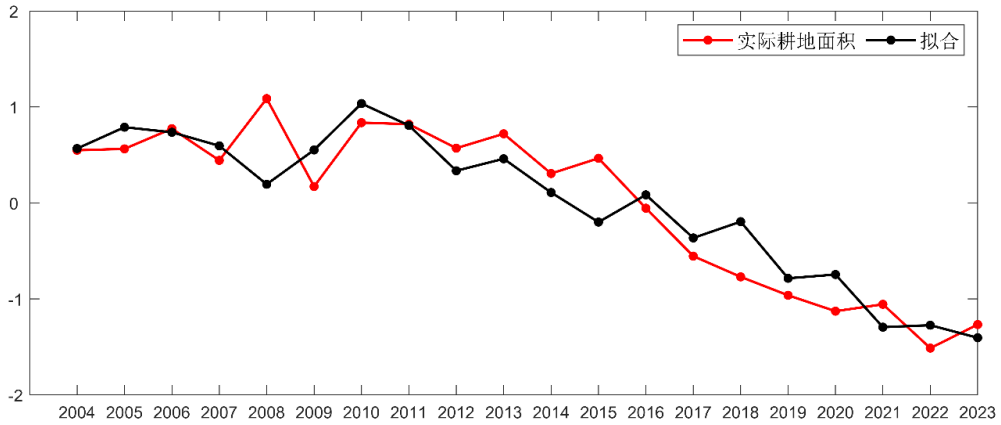


图4.7 中国耕地质量拟合曲线

所得到的耕地质量拟合曲线的最终表达式为：

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = 0.6633 \times x_1 - 0.1263 \times x_2 + 0.3262 \times x_3$$

其中$x_1$为受灾面积，$x_2$为气温，$x_3$为耕地面积。根据结果可知耕地质量与耕地面积成正比，与气温变化成反比。耕地面积越大，可能意味着有更多的土地资源可用于农业生产。随着气温不断升高，超出了作物生长的适宜温度范围，就可能导致生长受阻，降低耕地质量，极端高温或持续干旱可能对作物造成热害或缺水从而降低耕地质量。

## 4.5 模型的适用性评判

表4.1 模型评判因素

| | R | RMSE | $\gamma^2$ | 拟合优度 |
|---|---|---|---|---|
| 耕地面积 | 0.6963 | 0.7596 | 0.5152 | 0.4848 |
| 耕地质量 | 0.9067 | 0.4209 | 0.1778 | 0.8222 |

从结果可以看出，耕地质量的拟合效果要好于耕地面积的变化。这反映出影响耕地面积的因素远不止于上述所提到的原因，还包括城市化发展、农业结构调整、生态退耕和国土绿化等人为因素，而这些人为因素在很大程度上影响了耕地面积的变化。城市化占用耕地是导致耕地减少的重要原因，尤其在城市中心附近区域。此外，一些生态脆弱地区的耕地减少主要是由于生态建设的需要。非农建设占用耕地严格落实了占补平衡的情况下，耕地地类减少的主要原因是农业结构调整和国土绿化。实施的生态退耕还林还草还湿等措施，以及对生态环境的保护，导致了部分耕地的减少。此外近二十年来，中国耕地质量的变化也受到了其他多方面因素的影响， 在“占补平衡”政策下，虽然耕地面积得到了一定补充，但存在“占优补劣”现象，导致耕地总体质量和产能有所下降。中国政府实施了一系列耕地保护政策，如严格耕地用途管制，建立耕地“进出平衡”制度等，以确保耕地保护责任得到有效落实。

中国实行最严格的耕地保护制度，牢牢守住18亿亩耕地红线，通过法律、行政、技术和经济手段相结合的方式进行耕地保护。政策执行中存在不均衡现象，耕地数量下降速度虽有所放缓，但耕地质量和生态问题仍需进一步提升。近年来，耕地保护政策逐渐向数量、质量、生态“三位一体”保护新格局转变，更加注重耕地的系统保护和可持续利用。

综上所述，中国耕地面积和耕地质量的变化是多种因素共同作用的结果，政府已经采取了一系列措施来应对这些挑战，并在一定程度上取得了积极效果。未来，需要继续加强耕地保护政策的执行力度，提高耕地保护的科学性和有效性。

# 5 问题三的分析与模型建立

## 5.1 问题分析

问题三要求通过查询相关资料和数据收集，对当前种子“退化”、“绝育”现象以及全球产业链布局情况进行分析，并从数据和质量两个视角分别测度近20

年来我国粮食种子的自给率，同时解析“种子按斤称到论粒卖”销售变化背后的内在原理与理论逻辑。

种子退化与绝育现象通常指种子在繁殖过程中，由于遗传变异、环境压力、病虫害等因素导致的品质下降，由于遗传变异以及病虫害等因素对种子的影响难以量化，因此本问题中仅考虑自然灾害（旱灾/水灾）对种子的影响。全球产业链布局情况则通过我国种子进出口量和进出口价格进行量化分析。种子自给率是指一个国家或地区在一定时期内，国内生产的粮食种子满足国内农业生产需求的能力[6]，本问题中涉及数量自给率与质量自给率，数量自给率主要关注粮食总量是否满足需求，而质量自给率则关注种子本身的品质、性能以及适应性等方面。根据以上分析，计算自给率需要收集近20年来我国粮食播种面积、粮食产量、种子进口量、出口量以及国内种子生产量等数据。并根据计算结果，探讨“种子按斤称到论粒卖”这种销售变化背后的经济学原理和市场机制，如供需关系、价格弹性、差异化竞争等。同时，分析这种变化对农民、种子企业和整个产业链的影响。

## 5.2 模型准备

问题三中所使用数据的时间尺度均为2004年至2023年，包括旱涝灾害次数、受灾面积、耕地面积、进出口种子量、进出口种子价格、粮食产量等；旱涝灾害次数与受灾面积数据通过查阅每年的气候公报统计得，其余数据均来源于国家统计局、国家粮食局等官方网站，个别年份数据存在缺漏则通过插值补全。

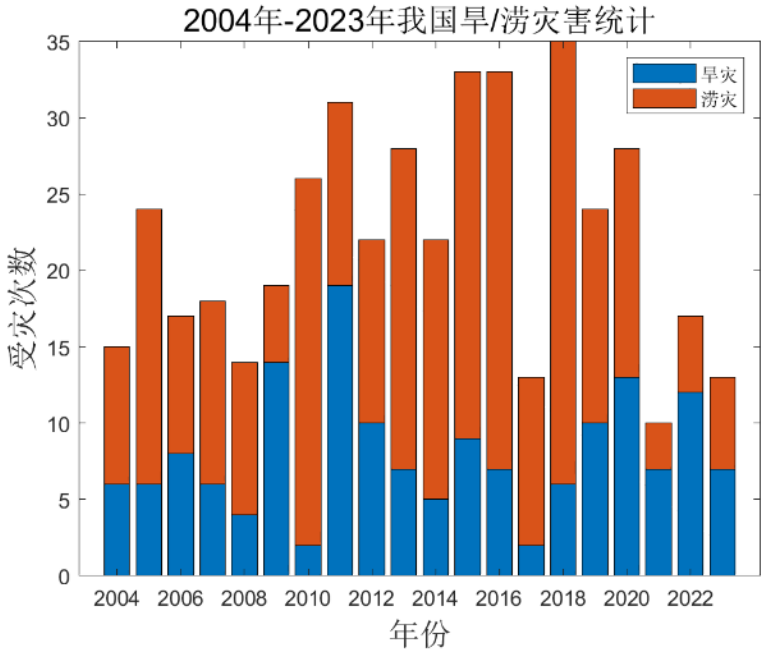


图5.1 2004-2023年我国旱/涝灾害统计

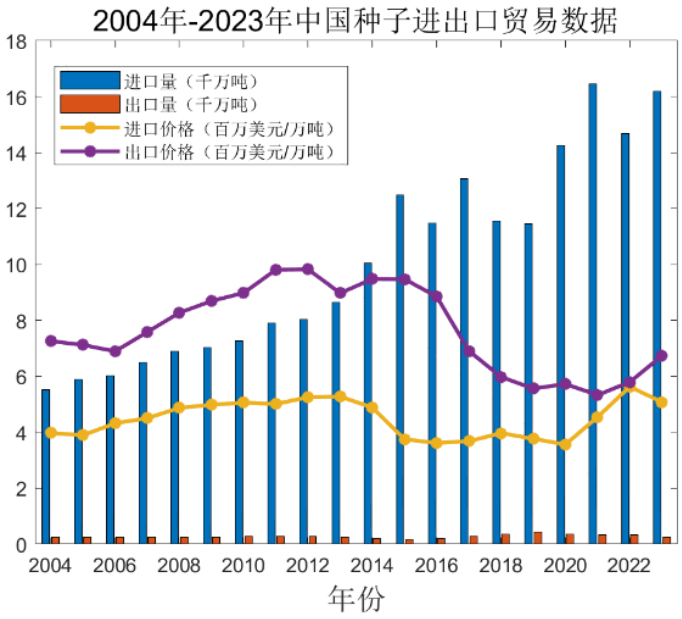


图5.2 2004-2023年中国种子进出口贸易数据

## 5.3 模型建立

该种子自给率模型综合考虑了多种因素，旨在评估在特定灾害条件和国际市场环境下，国内种子生产的自给自足能力。模型通过集成灾害影响、种子损耗、生产总量、需求预测以及进口价格等多个关键要素，来计算并展示种子自给率的变化情况。

(1) 灾害影响：模型考虑两种灾害类型（旱灾/涝灾）及其受灾面积，并计算得出由灾害导致的种子退化绝育的数量，即种子损耗率，具体计算方式如下：

首先计算旱（涝）灾害的影响系数$IC$，该系数定义为第$i$年旱灾（涝灾）次数与近20年所有旱灾（涝灾）次数的比值:

$$IC = \frac{num(i)}{\sum_{i=1}^{i=n} num(i)} \tag{5.1}$$

通过该系数计算加权受灾面积（$WA_affected$）与总耕地面积的比例（$P_affected$），并根据种子损耗因子得出种子损耗率（$D_loss$，该损耗率反映了灾害后实际可用于生产的种子减少情况）与有效种子生产量。

$$WA_affected = A_affected \times IC \tag{5.2}$$

$$P_affected = \frac{sum(WA_{affected})}{A_total} \tag{5.3}$$

$$D_loss = P_affected \times seed_loss_factor \tag{5.4}$$

$$effective_production = S_domestic(i) \times (1 - D_loss) \tag{5.5}$$

其中$A_affected$代表每种灾害的受灾面积，$A_total$代表总耕地面积，$seed_loss_factor$代表种子损耗因子，$S_domestic$代表粮食总产量，$effective_production$代表有效种子生产量。

(2) 进口因素：模型考虑了进口种子量（$imported_seeds$）以及进口价格（$import_price$）对国内种子生产的影响。通过引入价格敏感系数（$alpha$）和基准价格（$base_price$，近20年平均进口价格），简化了进口价格变化对国内生产调整的反应。

$$beta = alpha \times (import_price - base_price) / base_price \quad (5.6)$$

$$adjusted_production = effective_production \times (1 + beta) \quad (5.7)$$

$$adjusted_production_m = \frac{adjusted_production}{A_total \times (1 - P_affected)} \quad (5.8)$$

(3) 种子需求量：种子需求量与国内粮食总产量和种子进出口量密切相关，模型中对种子需求量的定义如下所示：

$$\text{种子需求量} = S_domestic + imported_seeds - exported_seeds \quad (5.9)$$

$$\text{单位面积种子需求量} = \frac{\text{种子需求量}}{A_total} \quad (5.10)$$

(4) 自给率计算：基于上述因素，模型计算了经过价格调节后的种子生产量与考虑灾害损后的种子生产量，并据此计算了种子数量自给率和种子质量自给率。

$$\text{种子数量自给率} = \frac{adjusted_production}{\text{种子需求量}} \quad (5.11)$$

$$\text{种子质量自给率} = \frac{adjusted_production_m}{\text{单位面积种子需求量}} \quad (5.12)$$

## 5.4 模型求解

根据统计所得数据计算得出2004年至2023年逐年的种子数量自给率和种子质量自给率。 其变化趋势如下图所示，种子自给率整体呈稳定上升趋势，在2012年至2014年间上升幅度较大，其后逐渐稳定但略有波动。具体而言，从2014年开始，种子质量与数量自给率大致保持在90%左右，种子数量自给率波动略大于质量自给率。

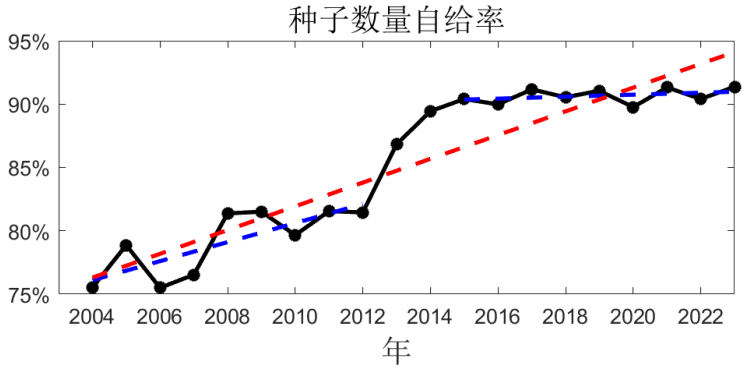


图 5.3 2004-2023 年中国数量自给率变化趋势

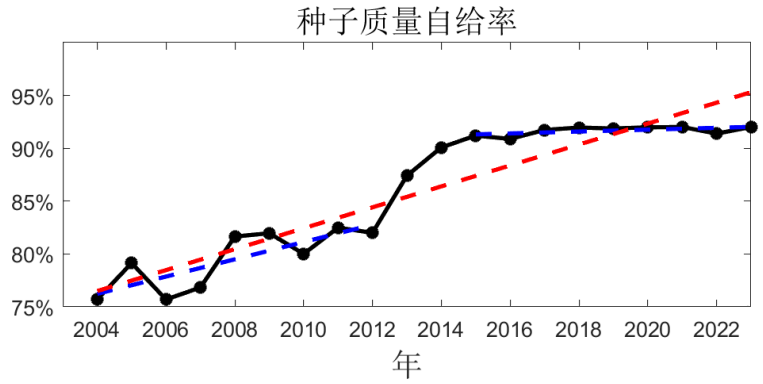


图 5.4 2004-2023 年中国质量自给率变化趋势

## 5.5 分析总结

科技的稳步发展使我国对于种子的进口依赖逐步降低，促进了“种子按斤称到论粒卖”这一销售变革，反映了我国农业从粗放式种植向精细化、科学化种植的转变。

### 5.5.1 内在原因：

农民种植观念的转变：随着农业现代化进程的推进，农民对种子的质量要求越来越高。他们不再满足于传统的“撒种即收”的粗放种植方式，而是更加注重种子的品质、发芽率、抗病性等指标，以确保单位土地面积上的经济效益最大化。农民种植观念的转变促使种子市场从“重量”向“质量”转变，即不再单纯追求种子的数量，而是更加注重种子的质量。

农业供给侧结构性改革的推动：农业供给侧结构性改革旨在通过调整农业生产结构，提高农产品供给体系的质量和效率。这一改革促使农业生产者更加关注市场需求和消费者偏好，从而推动种子等生产资料的质量提升。在此背景下，种子企业纷纷加大科研投入，通过引进先进技术、改良品种等方式，提高种子的质量和市场竞争力。这也为种子按粒销售提供了有力支持。

现代农业科技的发展：如基因工程、杂交育种等技术的应用，使得种子的品质得到了显著提升。这些高品质的种子往往具有更高的发芽率、更强的抗病性和更好的产量表现，从而满足了农民对高质量种子的需求。同时，科技的进步也使得种子的包装和储存技术得到了改进，为种子按粒销售提供了技术保障[7]。

### 5.5.2 理论逻辑

市场需求与供给的匹配：在市场经济条件下，商品的价格和销量取决于市场需求和供给的匹配程度。随着农民对高质量种子的需求增加，种子市场逐渐形成了按粒销售的模式。这一模式有助于实现市场需求与供给的精准匹配，提高资源配置效率。

成本效益分析：对于种子企业来说，按粒销售有助于降低生产成本和库存压力。因为按粒销售可以减少种子的浪费和损耗，提高种子的利用率。同时，高品质的种子往往具有更高的售价和利润空间，从而激励企业加大科研投入和品种改良力度。

对于农民来说，按粒购买种子可以降低种植成本和提高经济效益。因为农民可以根据实际需要购买适量的种子，避免浪费和损失。同时，高品质的种子有助于提高作物的产量和品质，从而增加农民收入。

产业升级与转型：种子按粒销售是农业产业升级和转型的重要标志之一。它反映了农业生产方式从粗放型向集约型、从数量型向质量型的转变。这一转变有助于提升我国农业的整体竞争力和可持续发展能力。

综上所述，“种子按斤称到论粒卖”的销售变化背后是农民种植观念的转变、农业供给侧结构性改革的推动以及科技进步的支撑等多方面因素共同作用的结果。这一变化体现了我国农业向现代化、精细化、科学化方向发展的必然趋势。

# 6 问题四的分析与模型建立

## 6.1 问题分析

本题要求我们依据前面的研究，分析气候变化、耕地减少和种子短缺对中国粮食安全的因果关系，评估我国粮食安全形势的演变趋势。具体而言，我们需要揭示气温升高对水稻、小麦、玉米产量的影响机制，包括气温升高和极端天气事件对粮食生产的影响。同时，需要分析耕地面积减少对粮食产量的直接影响及土壤质量下降、污染等问题对粮食生产的附加压力。此外，还要探讨种子供应不足和种子退化问题对作物产量和抗逆性的限制。综合以上因素，预测我国未来的粮食安全趋势，并提出应对措施以保障未来的粮食安全。

## 6.2 模型建立

我国粮食安全形势同时受到气候变化、耕地减少和种子短缺问题的影响，可以认为是三者的泛函，

我国粮食安全形势 ＝{气候变化，耕地减少，种子短缺}

可以建模为如下形式：

$$FoodSecurity=\Gamma(T(\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_n),GD(\beta_1,\beta_2,...,\beta_m),Z(\gamma_1,\gamma_2,...,\gamma_k)) \tag{6.1}$$

其中，$T$ 代表气候变化，$GD$ 代表耕地减少问题，$Z$ 代表种子短缺问题；$\alpha_i$ 代表气候变化的影响因素，$\beta_m$ 代表耕地减少的影响因素，$\gamma_k$ 代表种子短缺的影响因素。

## 6.3 分析解答

根据研究内容，气候变化、耕地减少和种子短缺是影响我国粮食安全的三大主要因素。气候变化的影响尤为显著[8]，随着全球气温不断上升，中国的年平均气温每 10 年升高 0.3℃。气温升高直接影响了水稻、小麦和玉米三大主粮的单产，研究表明，气温每升高 0.1℃，这三大作物的单产会下降约 2.6%。气温升高还导致极端天气事件频发，如干旱和洪涝等，进一步减少了农作物的产量。此外，

气候变化还引发了农业气象灾害的频发和水资源的短缺，这些变化对中国的粮食生产构成了严峻挑战。

耕地减少也是粮食安全的重大威胁。随着城市化和工业化进程的推进，耕地面积逐年减少，耕地质量也在不断下降[9]。根据国家统计局的数据，从 2009 年到 2019 年，中国的耕地总面积减少了 1.13 亿亩。耕地的“非农化”和“非粮化”问题严重威胁着粮食安全。此外，耕地利用效率低下，土壤肥力降低和污染加剧等问题也对粮食生产带来了负面影响。

种子短缺和种子质量问题进一步加剧了粮食安全的风险。作为农业生产的“芯片”，种子的质量和供给直接影响粮食的产量和质量。中国种业总体竞争力较弱，种子研发能力不足，部分优质种子依赖进口。一旦国外种子供应中断，中国的粮食生产将面临严重危机。种子退化问题也限制了作物产量的提升和抗逆性的增强，影响了粮食安全。

基于以上因素的分析，我国粮食安全形势的演变趋势不容乐观。随着气温持续上升，极端天气事件频发，耕地面积减少和种子质量问题频现，未来粮食生产将面临更大的不确定性和挑战。为了应对这些挑战，需要采取综合措施，包括加强农业科研投入，提升种子研发和推广水平，改进耕地保护和管理，推广节水灌溉和高效种植技术。同时，建立健全粮食储备和调控机制，提高粮食进口能力，确保在极端情况下的粮食供应安全。通过多方协同努力，才能在不断变化的气候条件和资源约束下，保障我国的粮食安全，确保国民的基本生活需求。

## 参考文献


[1] 郑国富, 于敏. 新粮食安全观下我国大米进口贸易发展的特征、问题与建议[J]. 对外经贸实务, 2024, 42(2): 11-16, 31.

[2] 任毅鑫. 新时代粮食安全问题治理与中国方案[J]. 粮油与饲料科技, 2024(1): 7-9.

[3] 李艳. 新中国成立以来我国粮食安全思想发展研究[D]. 山东财经大学, 2024.

[4] 孙同贺, 闫国庆. 求解自回归模型参数的最小二乘法[J]. 测绘与空间地理信息, 2024, 47(6): 16-19.

[5] Zhang K, Zuo W, Chen Y, 等. Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2017, 26(7): 3142-3155.

[6] 王晗. 种子绝育技术与农民留种权冲突研究[D]. 南京农业大学, 2020.

[7] 葛守荣.中央一号文件中粮食安全政策历史演进及经验研究[D].牡丹江师范学院,2024.

[8] 边永民. 气候变化所致损失和损害的国家责任[J]. 政法论坛, 2024: 1-12.

[9] 何阳, 段邵聪, 肖慧敏. 农地流转、耕地“非粮化”与粮食安全——兼论“谁来种粮”问题[J]. 西北农林科技大学学报（社会科学版）, 2024, 24(4): 74-82.

# 附录 附件目录/主要程序

## 附录Ⅰ 附件目录：

| 文件名称 | 说明 |
|---|---|
| Q1.m | 第一题主要代码 |
| Q2.m | 第二题主要代码 |
| Q3.m | 第三题主要代码 |
| 耕地面积及粮食进出口数据.xlsx | 原始数据 |
| 旱涝灾害次数.xlsx | 原始数据 |
| 受灾面积.xlsx | 原始数据 |
| 主要农业机械年末拥有量.xlsx | 原始数据 |
| 粮食产量（1960-2023）.xlsx | 原始数据 |
| 单位面积粮食产量（1960-2023）.xlsx | 原始数据 |
| China_T_1980_2023.mat | 中国年平均气温数据 |

## 附录Ⅱ 主要程序：

```
clear;close all;clc;
% 数据读取
excelFiles = {
    '耕地面积及粮食进出口数据.xlsx',...
    '旱涝灾害次数.xlsx', ...
    '受灾面积.xls', ...
    '主要农业机械年末拥有量.xls'....
    '粮食产量（1960-2023）(1).xls'};
matFile = 'China_T_1980_2023.mat';
%预留变量存储空间，提高数据读取速度
year=[];
xm=[];
ym=[];
sd=[];
temp=[];
shouzaimianji=[];
shouzaicishu=[];
jixeihuachengdu=[];
ls_chanliang=[];
ls_jinkoushul=[];
ls_jinkoujunjia=[];
ls_chukoushu=[];
ls_renjunliang=[];
ls_chukoujunjia=[];
```

```
%读取 Excel 文件中的数据
for i = 1:length(excelFiles)
    %  读取当前 Excel 文件
     data = readtable(excelFiles{i},'VariableNamingRule' ,'preserve');
     %将变量存储为 double 数组
     if i==1
          year=rot90(data.("年份")(1:20));
          gengdimianji=rot90(data.("耕地面积(千公顷)")(1:20));
          ls_jinkoushul=rot90(data.("粮食进口数量（万吨）")(1:20));
          ls_jinkoujunjia=rot90(data.("进口均价（万美元/万吨）")(1:20));
          ls_chukoushu=rot90(data.("出口数量（万吨）")(1:20));
          ls_chukoujunjia=rot90(data.("出口均价（万吨）")(1:20));
          ls_renjunliang=rot90(data.("人均主要农产品产量（公斤）")(1:20));
     elseif i==2
         shouzaicishu=rot90(data.("总和")(1:20));
     elseif i==3
          shouzaimianji=rot90(rot90(table2array(data(1,2:21))));
     elseif i==4
          jixeihuachengdu=table2array(data(1,8:27));
     elseif i==5
          xm=table2array(data(9,2:21));
          sd=table2array(data(5,2:21));
          ym=table2array(data(12,2:21));
     end
end
a=load(matFile);
temp=rot90(rot90(a.t_year_mean));
temp=rot90(temp(1:20));
%  主元素分析
%气温、受灾面积、受灾次数、机械化程度
y1=[temp;shouzaimianji;shouzaicishu;jixeihuachengdu];
%粮食产量、粮食进口数量、进口均价、出口数、人均主要农产品产量
y2=[ls_chanliang;ls_jinkoushul;ls_jinkoujunjia;ls_chukoushu;jixeihuachengdu];
R1 = corrcoef(y1');
%  绘制相关系数矩阵的图形
%  设置标签
labels = {'气温', '受灾面积', '极端天气次数', '机械化程度'};
%  绘制相关系数矩阵的图形
%  绘制相关系数矩阵的图形
figure;
imagesc(R1);   %  使用 imagesc 函数绘制相关系数矩阵
colorbar;   %  显示颜色条
axis equal;   %  使轴的刻度相等
title('相关系数矩阵');
```

```
xlabel('因素');ylabel('因素');
set(gca, 'XTick', 1:4, 'XTickLabel', labels, 'YTick', 1:4, 'YTickLabel', labels);  % 设置 X 和 Y 轴的刻度和标签
grid on;  % 显示网格
%---
R2 = corrcoef(y2');
% 绘制相关系数矩阵的图形
% 设置标签
labels = {'粮食产量';'粮食进口数量';'进口均价';'出口数';'人均主要农产品产量'};
% 绘制相关系数矩阵的图形
figure(2);
imagesc(R2);  % 使用 imagesc 函数绘制相关系数矩阵
colorbar;  % 显示颜色条
axis equal;  % 使轴的刻度相等
title('相关系数矩阵');xlabel('因素');ylabel('因素');
set(gca, 'XTick', 1:4, 'XTickLabel', labels, 'YTick', 1:4, 'YTickLabel', labels);  % 设置 X 和 Y 轴的刻度和标签
grid on;  % 显示网格
% 聚类分析
data=y1;
% 选择聚类数目 K
K = 2;  % 假设分为 3 个聚类
% 执行 K 均值聚类
[idx, C] = kmeans(data, K);
% 绘制聚类结果
figure;
scatter3(data(:,1), data(:,2), data(:,3), 50, idx, 'filled');hold on;
% 绘制聚类中心
scatter3(C(:,1), C(:,2), C(:,3), 100, 'k', 'filled');
% 设置标签和标题
xlabel('气温');ylabel('受灾面积');zlabel('受灾次数');
title('K 均值聚类结果');grid on;
% 设置图例
legend('Cluster 1', 'Cluster 2', 'Cluster 3', '聚类中心');hold off;
%---2---
data=y2;
% 选择聚类数目 K
K = 2;  % 假设分为 3 个聚类
% 执行 K 均值聚类
[idx, C] = kmeans(data, K);
% 绘制聚类结果
figure;
scatter3(data(:,1), data(:,2), data(:,3), 50, idx, 'filled');hold on;
% 绘制聚类中心
```

```
scatter3(C(:,1), C(:,2), C(:,3), 100, 'k', 'filled');
% 设置标签和标题
xlabel('粮食产量');ylabel('粮食进口数量');zlabel('');
title('K 均值聚类结果');grid on;
% 设置图例
legend('Cluster 1', 'Cluster 2', 'Cluster 3', '聚类中心');hold off;
%绘制柱状图
% 定义年份
years = 2004:2023;
% 定义每年的水稻、小麦、玉米产量 (示例数据)
rice_yield =rot90(rot90(sd));
wheat_yield = rot90(rot90(xm));
corn_yield =rot90(rot90( ym));
% 创建一个矩阵，包含每年的产量
yield_data = [rice_yield; wheat_yield; corn_yield]';
% 绘制柱状图
figure;
bar(years, yield_data, 'grouped');
xlabel('年份');ylabel('产量(万吨)');title('三大粮产量(2004-2023)');
legend({'水稻', '小麦', '玉米'});grid on;
% NGI
NGI=ls_jinkoushul-ls_chukoushu;NGI=rot90(rot90(NGI));
figure;hold on;
bar(years, NGI, 'grouped');
plot(years,NGI,'LineWidth',1.5);
xlabel('年份');ylabel('粮食净进口量(万吨)');
title('粮食净进口量(万吨)(2004-2023)');
%% AR 自回归模型预测
close all;clc;
% 拟合自回归模型（AR 模型）
model = ar(NGI, 7); % 选择 2 阶 AR 模型，可以根据实际数据调整阶数
% 预测未来值
numSteps = 10; % 预测未来 10 个时间点
forec1 = forecast(model, NGI', numSteps);
% 绘制预测值曲线
year=2004:2033;
y_forecast=[NGI forec1'];
figure;
plot(year, y_forecast, 'r', 'LineWidth',1.3,'DisplayName', '粮食净进口量');hold on;
plot(2024:2033, forec1', 'bo','LineWidth',1.8,'DisplayName', '预测值');
legend('show');xlabel('时间');ylabel('净进口量（万吨）');
title('粮食净进口量预测（2024-2033 年）');grid on;
```