

基于优化模型和蒙特卡洛模拟的农作物种植策略模型

康一帆, 熊真祥, 徐梦婷, 孙广磊

河南科技大学数学与统计学院, 河南 洛阳

收稿日期: 2025年7月14日; 录用日期: 2025年8月7日; 发布日期: 2025年8月15日

摘要

在中国乡村振兴战略背景下, 本论文针对资源有限和气候条件严苛的乡村地区, 探讨了如何通过优化农作物种植策略来推动乡村经济的可持续发展。通过分析华北山区某乡村的耕地资源、作物适应性、市场数据和潜在风险, 本研究建立了基于线性规划和蒙特卡洛模拟的优化模型, 为华北山区某乡村制定2024至2030年的农作物种植方案。该方案旨在最大化经济收益, 同时确保策略的灵活性和抗风险能力, 为乡村经济发展提供科学指导。

关键词

农作物种植策略, 市场不确定性, 优化模型, 蒙特卡洛模拟, 种植风险管理

A Crop Planting Strategy Model Based on Optimization Models and Monte Carlo Simulation

Yifan Kang, Zhenxiang Xiong, Mengting Xu, Guanglei Sun

School of Mathematics & Statistics, Henan University of Science & Technology, Luoyang Henan

Received: Jul. 14th, 2025; accepted: Aug. 7th, 2025; published: Aug. 15th, 2025

Abstract

Under the background of China's Rural Revitalization Strategy, this paper explores how to promote the sustainable development of rural economies in resource-limited and harsh climatic areas through optimizing crop planting strategies. By analyzing the arable land resources, crop adaptability, market

data, and potential risks of a village in the North China mountainous region, this study establishes an optimization model based on linear programming and Monte Carlo simulation to formulate a crop planting plan for the village from 2024 to 2030. The plan aims to maximize economic benefits while ensuring the flexibility and risk resistance of the strategy, providing scientific guidance for rural economic development.

Keywords

Crop Planting Strategy, Market Uncertainty, Optimization Model, Monte Carlo Simulation, Planting Risk Management

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

本文主要以华北山区的某乡村为例进行农作物种植的优化研究，某乡村常年温度偏低，大多数耕地每年只能种植一季农作物。该乡村现有露天耕地 1201 亩，分散为 34 个大小不同的地块，包括平旱地、梯田、山坡地和水浇地 4 种类型。平旱地、梯田和山坡地适宜每年种植一季粮食类作物；水浇地适宜每年种植一季水稻或两季蔬菜。该乡村另有 16 个普通大棚和 4 个智慧大棚，每个大棚耕地面积为 0.6 亩。普通大棚适宜每年种植一季蔬菜和一季食用菌，智慧大棚适宜每年种植两季蔬菜。同一地块(含大棚)每季可以合种不同的作物。根据农作物的生长规律，每种作物在同一地块(含大棚)都不能连续重茬种植，否则会减产；因含有豆类作物根菌的土壤有利于其他作物生长，从 2023 年开始要求每个地块(含大棚)的所有土地三年内至少种植一次豆类作物。同时，种植方案应考虑到方便耕种作业和田间管理，譬如：每种作物每季的种植地不能太分散，每种作物在单个地块(含大棚)种植的面积不宜太小，等等。聚焦优化种植结构、提升土地利用率以及降低市场滞销和种植风险等问题，建立相关模型进行风险预测，并给出种植策略建议[1]。首先建立应对超过部分滞销，造成浪费与超过部分按 2023 年的销售价格的 50%降价出售风险的线性规划模型，然后引入了预期销售量、产量、种植成本和价格的不确定性以及潜在的种植风险，建立应对以上潜在种植风险的线性规划模型[2]，然后，综合考虑农作物之间的可替代性和互补性以及预期销售量与销售价格、种植成本之间的相关性，给出最优种植策略并与前面结果作比较分析。

2. 基本假设

- (1) 市场需求对于不同作物是已知且稳定的，或者可以通过历史数据测。
- (2) 作物的种植周期是固定的，并且每个周期内作物的产量是可预测的。
- (3) 滞销的农产品无法储存到下一个销售周期，必须在当前周期内处理。
- (4) 乡村的耕地面积和类型在研究期间不会发生重大变化。
- (5) 不同作物之间的种植转换成本和时间是固定的或可忽略的。
- (6) 政策变化、技术进步和其他外部因素对种植决策的影响在短期内可以忽略不计。
- (7) 作物之间的替代性和互补性可以通过市场调研或历史销售数据进行量化。
- (8) 销售量、销售价格和种植成本之间的相关性可以通过经济模型来分析。
- (9) 乡村地区的基础设施和物流条件在研究期间保持稳定，不会对农产品的销售和运输造成限制。

3. 问题一模型建立与求解

3.1. 问题一思路图(图 1)

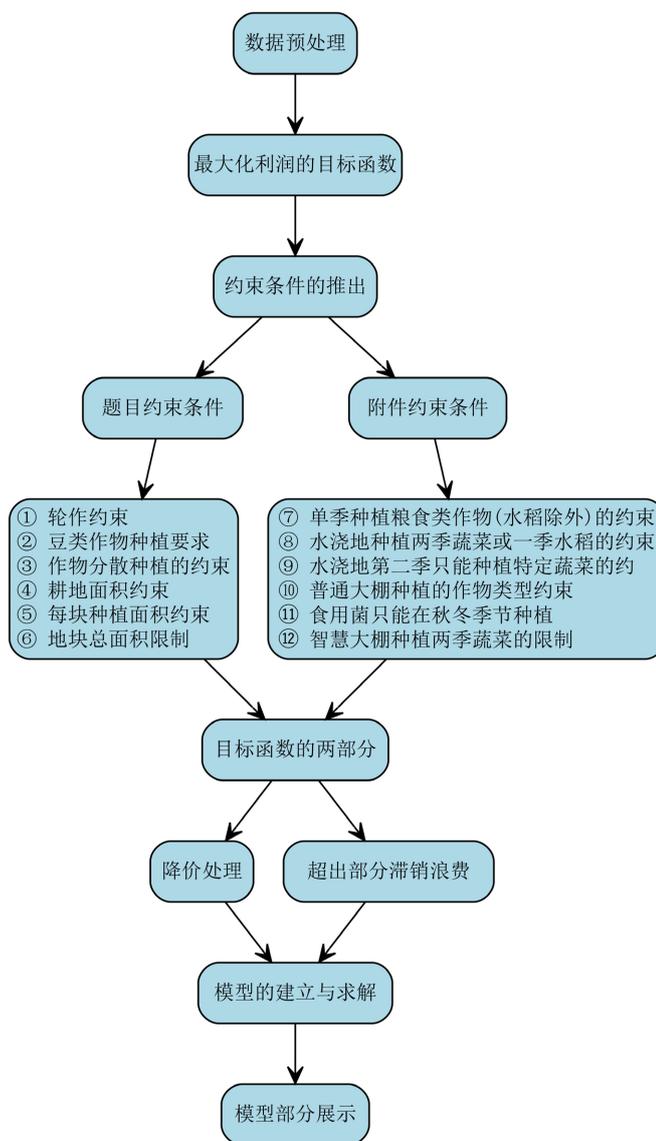


Figure 1. Problem one thought diagram

图 1. 问题一思路图

3.2. 模型建立

(1) 决策变量的选取

为了确定 2024~2030 年间的最优农作物种植方案，我们对 41 种农作物在 54 块不同地块上的种植情况进行定义，由于种植情况的不同将会导致收益不同，于是我们将这一变量定义为决策变量。

决策变量如下：设 $x_{i,j,t}$ 表示第 t 年在第 i 块耕地上种植作物 j 的面积(单位为亩)，其中 i 表示不同地块、 j 表示不同农作物。

(2) 目标函数的建立

其中种植方案包括两种① 超过部分滞销，造成浪费，无法带来收益；② 超过部分按 2023 年销售价格的 50% 降价出售。两种方案的思路如图一所示。

种植方案① 目标函数：

超过部分滞销，造成浪费，目标是最大化作物的总销售收益[2]：

$$\begin{aligned} \text{年利润} &= \text{总收益} - \text{总成本} - \text{滞销收益} \\ \max W_1 &= \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1) \cdot p_j - \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1 - m_j) p_j \\ &\quad - \sum_j (a_2 + b_2 + \dots + f_2) \end{aligned}$$

种植方案② 目标函数：

超过部分按 2023 年销售价格的 50% 降价出售

$$\begin{aligned} \text{年利润} &= \text{总收益} - \text{总成本} - \text{滞销收益} \times 50\% \\ \max W_2 &= \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1) \cdot p_j - \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1 - m_j) p_j \cdot 50\% \\ &\quad - \sum_j (a_2 + b_2 + \dots + f_2) \end{aligned}$$

其中， q_j 表示亩产量； p_j 表示销售单价 n_j 表示种植成本。

其余变量做出部分详细解释如下：

$$a_1 \text{ 表示干旱地上种植第 } j \text{ 类作物的产量： } a_1 = \sum_{j=1}^6 x_{ij} \cdot q_{ja} ;$$

$$a_2 \text{ 表示干旱地上种植 } j \text{ 类产品的成本： } a_1 = \sum_{j=1}^6 x_{ij} \cdot q_{ja} ;$$

q_{ja} 表示第 j 类农作物在干旱地上的亩产量；

n_{ja} 表示第 j 类农作物在干旱地上的种植成本；

同样的我们让 a_x 表示干旱地、 b_x 表示梯田、 c_x 表示山坡地、 d_x 表示水浇地、 e_x 表示普通大棚、 f_x 表示智慧大棚。

3.3. 约束条件

(1) 主要约束条件：由题意分析得到以下约束条件

① 轮作约束：防止导致土壤退化和减产，轮作(不同作物的轮流种植)保持土壤肥力。表达式为：

$$z_{ijt} + z_{ij(t+1)} \leq 1 \tag{5.1}$$

其中 z_{ijk} 为 0~1 变量：

$$z_{ijt} = \begin{cases} 0, & \text{第 } t \text{ 年地块 } i \text{ 上不种植第 } j \text{ 类农作物} \\ 1, & \text{第 } t \text{ 年地块 } i \text{ 上种植第 } j \text{ 类农作物} \end{cases}$$

② 豆类作物种植要求：豆类作物能固氮改善土壤条件，要求每三年内至少种植一次豆类作物。表达式为：

$$\begin{aligned} z_{ibean,jt} + z_{ibean,j(t+1)} + z_{ibean,j(t+2)} &\geq 2 \\ \forall j, t \in \{2024, 2025, \dots, 2028\} \end{aligned} \tag{5.2}$$

③ 作物分散种植的约束：每种作物在同一个季节的种植地块不宜过于分散，以便于田间管理，提升作业效率。我们令某个地块最大种植地块类型限制为 $J_{\max} = 2$ ，则约束条件为：

$$\sum_j z_{ijt} \leq J_{\max} \quad \forall i, t \quad (5.3)$$

④ 耕地面积约束：每个作物在每个地块上的种植面积不应低于一定的最小面积阈值。为确保农作物种植的规模化，便于管理和操作，阈值设定为 0.3。公式为：

$$x_{ij} \geq 0.3 \quad (5.4)$$

⑤ 每块种植面积约束：每个地块(包括大棚)在每季的种植面积不能超过其总面积，假设 A_i 为种植地块的面积，其余 B_i, \dots, F_i 同理表示不同种植地块类型的面积，公式如下：

$$\sum_j x_{ij} \leq A_i \quad (5.5)$$

⑥ 地块总面积限制：该乡村现有露天耕地总面积为 1201 亩，每种地块(包括大棚)的总种植面积限制，约束条件如下：

$$\sum_j \sum_i x_{ij} \leq 1201 \quad (5.6)$$

(2) 附件约束条件：由附件分析得到以下约束条件

引入 0~1 规划模型对下面约束条件进行定义

$$x_{ij}^{\text{农作物类型}} = \begin{cases} 1, & \text{单季种植第}j\text{类作物} \\ 0, & \text{单季不种植第}j\text{类作物} \end{cases} \quad (5.7)$$

⑦ 单季种植粮食类作物(水稻除外)的约束条件：平旱地、梯田和山坡地每年只能种植一季粮食作物，不适合种植水稻。因此必须限制这些耕地的种植作物类型，公式如下：

$$x_{l_1 j}^{\text{粮食}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, 16 \quad (5.8)$$

$l_1 = a, b, c$ 表示平旱地、梯田和山坡地。

⑧ 水浇地种植两季蔬菜或一季水稻的约束条件：水浇地适合种植一季水稻或两季蔬菜。公式如下：

$$x_{l_2 16}^{\text{水稻}} \leq 1 \text{ or } x_{l_2 j_1}^{\text{蔬菜}} + x_{l_2 j_2}^{\text{蔬菜}} \leq 2 \quad (5.9)$$

$l_2 = d$ 表示水浇地。

⑨ 水浇地第二季种植特定蔬菜的约束条件：水浇地的第二季只能种植大白菜、白萝卜或红萝卜公式如下

$$x_{l_2 j_1}^{\text{蔬菜}} + x_{l_2 j_2}^{\text{蔬菜}} \leq 2 \quad (5.10)$$

其中 x_{j_1} 表示第一季种植情况， $j_1 = 17, 18, \dots, 34$ ； x_{j_2} 表示第二季种植情况 $j_2 = 35, 36, 37$ 。 $l_2 = d$ 表示水浇地。

⑩ 普通大棚种植的作物类型约束条件：普通大棚每年可以种植两季作物，但第二季只能种植食用菌，因此必须对普通大棚的种植结构进行限制。公式如下：

$$x_{l_3 j_3}^{\text{蔬菜}} + x_{l_3 j_4}^{\text{食用菌}} \leq 2 \quad (5.11)$$

其中 $j_3 = 17, 18, \dots, 37, j_4 = 38, 39, 40, 41$ 。

⑪ 食用菌只能在秋冬季节的普通大棚中种植的约束条件：由于食用菌适应在低温、湿度适宜的环境中生长，因此只能在普通大棚的秋冬季种植。

$$x_{l_3 j}^{\text{食用菌}} = 1 \text{ or } x_{l_3 j}^{\text{食用菌}} = 0 \quad (5.12)$$

其中 $l_3 = e, j = 38, 39, 40, 41, l = a, b, c, d, e$ 。

⑫ 智慧大棚种植两季蔬菜的限制：智慧大棚每年可以种植两季蔬菜，必须限制蔬菜的种植季节数，且不能种植大白菜、白萝卜和红萝卜。公式如下：

$$x_{l_4j_5}^{蔬菜} + x_{l_4j_6} \leq 2 \tag{5.13}$$

$l_4 = f$ 表示智慧大棚， $j_5, j_6 = 17, 18, \dots, 34$ 。

这些公式构成了问题中关键的种植约束条件，确保了农作物的合理安排和优化种植策略的实现。

综上所述模型为：

$$\begin{aligned} \max W_1 &= \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1) \cdot p_j - \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1 - m_j) p_j \\ &\quad - \sum_j (a_2 + b_2 + \dots + f_2) \\ \max W_2 &= \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1) \cdot p_j - \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1 - m_j) p_j \cdot 50\% \\ &\quad - \sum_j (a_2 + b_2 + \dots + f_2) \end{aligned}$$

$$s.t. \begin{cases} z_{ijt} + z_{ij(t+1)} \leq 1 \\ z_{ibean,jt} + z_{ibean,j(t+1)} + z_{ibean,j(t+2)} \geq 2, \forall j, t \in (2024, 2025, \dots, 2030) \\ \sum_j z_{ijt} \leq J_{\max}, \forall i, t \\ x_{ijt} \geq 0.3 \\ \sum_j x_{ij} \leq A_i \\ \sum_j \sum_i x_{ij} \leq 1201 \\ x_{l_j}^{粮食} \leq 1, j = 1, 2, \dots, 16 \\ x_{l_216}^{水稻} \leq 1 \text{ or } x_{l_1j_1}^{蔬菜} + x_{l_2j_2}^{蔬菜} \leq 2 \\ x_{l_2j_1}^{蔬菜} + x_{l_2j_2}^{蔬菜} \leq 2 \\ x_{l_3j_3}^{蔬菜} + x_{l_3j_4}^{食用菌} \leq 2 \\ x_{l_3j}^{食用菌} = 1 \text{ or } x_{l_j}^{食用菌} = 0 \\ x_{l_4j_5}^{蔬菜} + x_{l_4j_6} \leq 2 \end{cases}$$

3.4. 部分结果(见表 1, 表 2)展示

Table 1. Result one

表 1. 结果一

	地块名	黄豆	豆	红豆	绿豆	爬豆	小麦	.....	榆黄菇	香菇	白灵菇	羊肚菌
第一季	A1	80	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	55	.....	0	0	0	0
第一季	B1	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0
	B2	40	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0
...
第二季	E11	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0.6
	E12	0	0	0	0	0	0	.....	0	0.6	0	0

续表

第二季	F1	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0

Table 2. Result two

表 2. 结果二

	地块名	黄豆	黑豆	红豆	绿豆	爬豆	小麦	.....	榆黄菇	香菇	白灵菇	羊肚菌
第一季	A1	0	0	0	0	0	80	.....	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0
	B2	0	0	46	0	0	0	.....	0	0	0	0
第二季	E11	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0.6
	E12	0	0	0	0	0	0	.....	0.6	0	0	0
	F1	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	.....	0	0	0	0

4. 问题二模型建立与求解

4.1. 问题二思路图

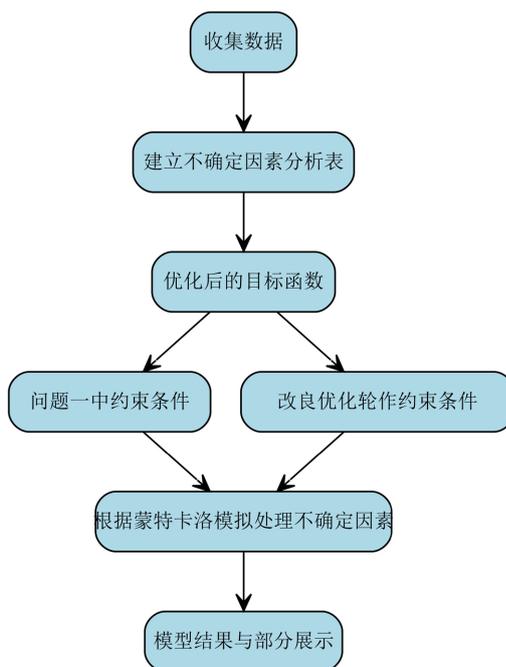


Figure 2. Problem two thought diagram

图 2. 问题二思路图

4.2. 模型建立

(1) 决策变量的选取;

同问题一，我们设决策变量 $x_{i,j,t}$ 表示第 t 年在第 i 块耕地上种植作物 j 的面积(单位为亩)。

辅助决策变量： $x_{l,j,t}$ 表示第 t 年在第 l 种耕地上种植作物 j 的面积(单位为亩)。

(2) 目标函数建立：

按照市场规律分析出大多数滞销产品中有 20%的比例浪费掉，这部分即损失了成本又没有收益；另外 80%将按照原价的 60%出售。问题二具体思路如图 2 所示。

为了方便计算，将滞销收益单独计算，令为 H ，滞销收益如下表示

$$H = \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1 - m_j) \cdot 20\% p_j + \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1 - m_j) \cdot 80\% p_j \cdot 40\%$$

年利润 = 总收益 - 总成本 - 滞销收益

$$\max W_3 = \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1) p_j - \sum_j (a_2 + b_2 + \dots + f_2) - H \tag{5.14}$$

(3) 约束条件

同问题一前六个约束条件同样适应，此外综合考虑加入另一约束条件，规定每年只能种特定的农作物。以干旱地为例，2023 年种植方案中种植在干旱地上的农作物类型只有黄豆、黑豆、绿豆、小麦、玉米、红薯六种，为了简化约束条件中①②③，决定把以上六种农作物分两组分别种植。2024 年在干旱地上种植黄豆、小麦、红薯这三种类型，2025 年种植另外三种，七年内按顺序重复以上方案。表达式为

$$\begin{cases} x_{l,j,t} = 0 \quad \forall l=1, j \in J_1 \\ x_{l,j,t} = 0 \quad \forall l=1, j \in J_2 \end{cases} \tag{5.15}$$

其中在偶数年份种植 J_1 种作物，在奇数年份种植 J_2 种作物，设 l 表示不同类型的耕地集合，范围 $l = \{a, b, c, d, e, f\}$ 表示六种耕地。设 J 表示作物集合，范围 $J = \{1, 2, \dots, 41\}$ ，表示 41 种作物。

(4) 蒙特卡洛模拟[3]

蒙特卡洛模拟能充分体现随机因素对装备运用过程的影响和作用。更确切地反映运用活动的动态过程。还可以用于处理不确定性因素和随机变量的模拟。综上所述模型为：

$$\max W_3 = \sum_j (a_1 + b_1 + \dots + f_1) p_j - \sum_j (a_2 + b_2 + \dots + f_2) - H$$

约束条件如上。

4.3. 模型求解

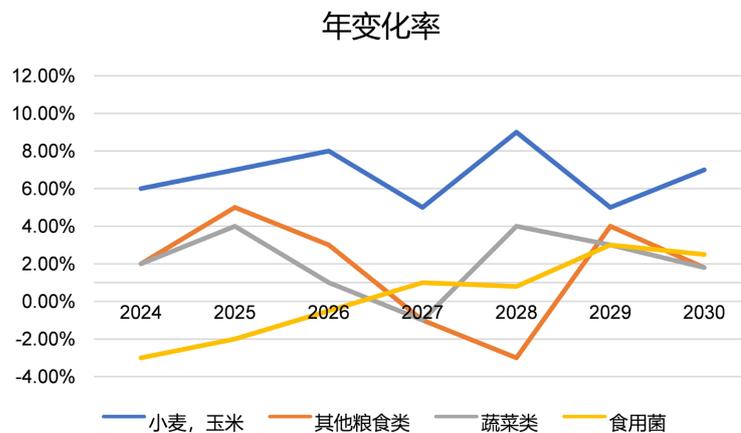


Figure 3. Annual change rate of planting costs
图 3. 种植成本年变化率

(1) 通过蒙特卡洛模拟[4]和线性规划的结合, 我们能够得到未来几年中种植不同农作物的最优策略, 并在面对市场不确定性时进行合理的风险管理[5]。

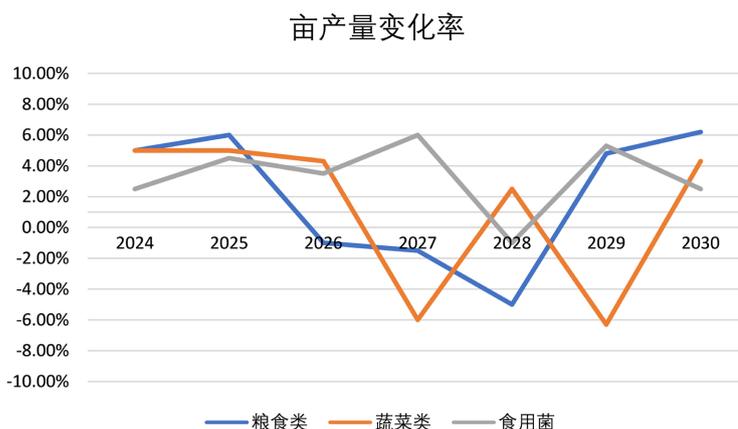


Figure 4. Annual change rate of yield per mu
图 4. 亩产量年变化率

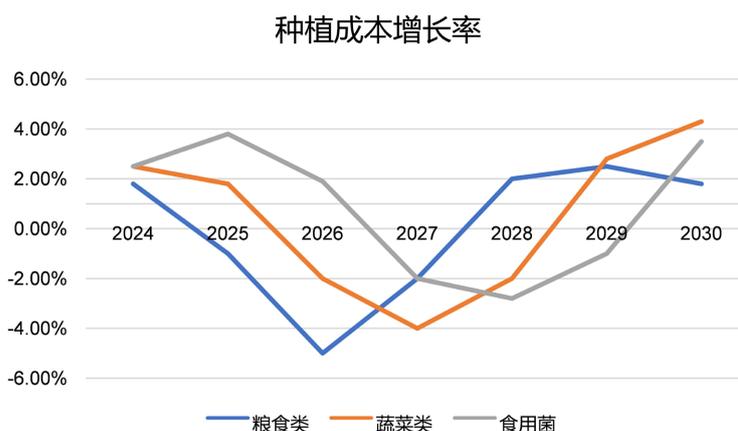


Figure 5. Annual growth rate of yield per mu
图 5. 种植成本年增长率

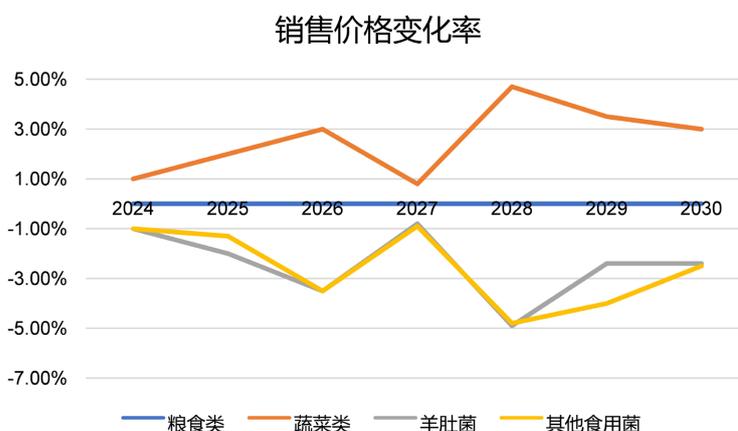


Figure 6. Annual change rate of sales price
图 6. 销售价格年变化率

首先得到在不确定性因素与潜在种植风险影响下的 2024 年到 2030 年的预期销售量如图 3 所示，亩产量如图 4 所示，种植成本如图 5 所示，销售价格的年变化率如图 6 所示。

(2) 部分结果(见表 3)展示

Table 3. Result three

表 3. 结果三

	地块名	黄豆	黑豆	红豆	绿豆	爬豆	小麦	榆黄菇	香菇	白灵菇	羊肚菌
第一季	A1	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	B2	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0
第二季	E11	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0	0
	E12	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5. 问题三模型建立与求解

5.1. 问题三思路图

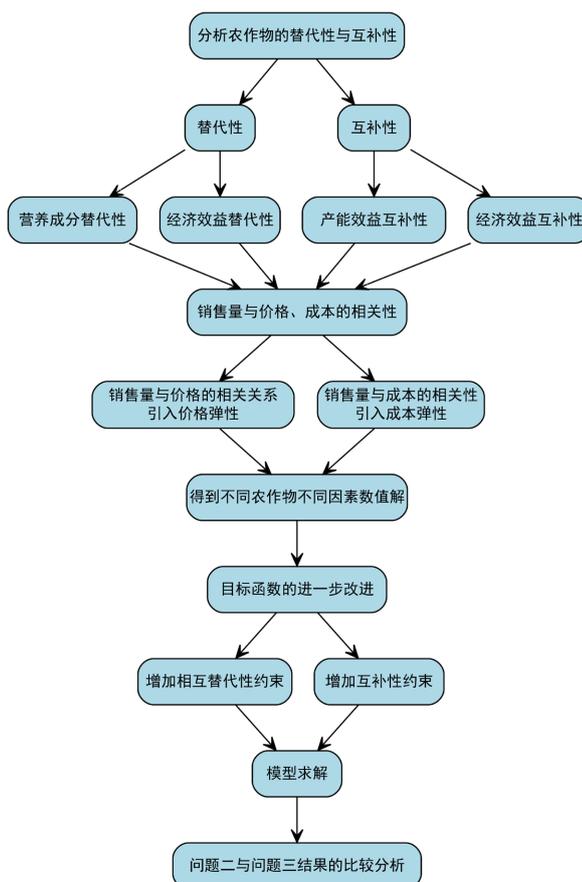


Figure 7. Problem three thought diagram

图 7. 问题三思路图

5.2. 模型建立

5.2.1. 农作物之间的替代性分析

农作物之间的可替代性指作物之间在效用相似，在资源有限的情况下，如果种植一种作物带来的收益或成本更优，可以用这种作物替代另一种作物。

① 营养成分可替代性：在市场中，不同产品之间往往存在竞争关系，消费者会根据自身需求和预算在不同产品之间做出选择。当两种或多种产品在功能、用途或效用相似时，它们之间就存在可替代性。

② 经济效益可替代性：在经济活动中不同生产要素、产品或服务之间在达到相同或相似经济效益时有相互替代的可能性。通常把这一可替代性叫做经济效益可替代性。下面我们引入收益差异系数这一量对经济效益可替代性进行描述。计算这一值首先要计算不同种类农作物的每亩收益。计算方法如下：

$$\text{每亩收益} = \frac{\sum \text{不同土地类型亩产量} \times \text{销售价格}}{\sum \text{不同土地类型亩数}} \quad n_1 = \frac{\text{其中一种农作物每亩收益}}{\text{其他40种农作物每亩收益}}$$

其中 n_1 表示收益系数，如果收益差异系数在 0.8~1.2 之间，称这两种农作物之间具有经济效益可替代性。

(2) 作物之间的互补性分析

农作物之间的互补性是指不同作物在生长过程中对资源环境的需求和利用方式上存在差异，通过合理搭配种植，可以提高土地利用效率，增长产量，改善土壤肥力，减少病虫害等。

① 产能效益互补性：以玉米和大豆为例，大豆可以固氮，为土壤提供养分，有助于玉米的生长。这两种作物可以轮作或间作，提高土壤肥力和产量。

② 经济效益互补性：对这一定义的描述我们仍使用上述定义的变量收益差异系数，如果收益差异系数在 0.3~0.5 之间或在 1.5~1.8 之间，我们称这两种农作物之间具有经济效益互补性。

5.2.2. 销售量与价格，成本的相关性

对于销售量与价格的相关性描述，引入价格弹性[6]这一定义，销售量对价格变化的敏感度称为价格弹性。如果产品具有较高的价格弹性(如奢侈品或替代品丰富的产品)，价格的微小变化就会对销售量产生显著影响。相反，价格弹性较低的产品(如必需品)在价格变化时对销售量的影响相对较小。定义价格弹性公式为：

$$E_p = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} \times \frac{P}{Q} \quad (5.16)$$

其中 E_p 表示价格弹性、 ΔQ 表示需求量变化、 Q 表示原始需求量、 ΔP 表示价格的变化、 P 表示原始价格。

销售量与成本的相关性。

对于销售量与成本的相关性描述，我们引入成本弹性[7]这一定义，消费者对价格的敏感度会影响种植成本与预期销售量之间的关系。如果消费者对价格变化反应敏感，那么成本增加导致的价格上涨可能会显著减少预期销售量。定义成本弹性公式为：

$$E_c = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta C/C} = \frac{\Delta Q}{\Delta C} \times \frac{C}{Q} \quad (5.17)$$

其中 E_c 表示成本弹性、 ΔQ 表示产量变化、 Q 表示原始需求量、 ΔC 表示成本的变化、 C 表示原始成本。

5.2.3. 建立模型

(1) 决策变量的选取

设 $x_{i,j,t}$ 表示第 t 年在第 i 块耕地上种植作物 j 的面积(单位为亩)。

(2) 目标函数的改进

对农作物之间的可替代性与互补性，预期销售量，销售价格，种植成本之间的相关性进行分析后，发现农作物之间的可替代性与互补性影响预期销售量，相关性影响销售价格，于是在改进目标函数时，将预期销售量与销售价格进行调整，分别乘以它们在影响下的年变化率，具体如下所示：

$$L_{1last} = a_1 + b_1 + \dots + f_1 \text{ 表示一种农作物在所有土地类型的总产量；}$$

$$l_{2last} = a_2 + b_2 + \dots + f_2 \text{ 表示一种农作物在所有土地类型的总种植成本；}$$

$$n_{last} = \frac{|n_1 - 1| + 0.35}{10} + 1 \text{ 表示预期销售量在上述论述相关性因素下的年增长率；}$$

$$E_{last} = \frac{E_p + E_c}{2} + 1 \text{ 表示销售价格在上述论述相关性因素下的年变化率。}$$

$$H_1 = \sum_j (l_{1last} - m_j n_{last}) \cdot 20\% \cdot E_{last} \cdot p_j + \sum_j (l_{1last} - n_{last} m_j) \cdot 80\% \cdot E_{last} \cdot p_j \cdot 40\%$$

问题三思路图如图 7 所示，目标函数为：

$$\max W_4 = \sum_j l_{1last} \cdot p_j \cdot E_{last} - \sum_j l_{2last} - H$$

(3) 约束条件

同问题一、二前 13 个约束条件同样适应，此外经过综合考虑我们加入另两个约束条件，分别是相互替代性约束和互补性约束。

相互替代性约束：相互替代性约束体现在若一种农作物的种植面积减少，则可与它相互替代的农作物的种植面积以一定比例增长，该比例与收益差异系数有关，则相互替代性约束表达式为：

$$\Delta S_B \downarrow = (|n_1 - 1| + 0.5) \cdot \Delta S_A \uparrow \tag{5.18}$$

互补性约束：互补性约束体现在若一种农作物的种植面积减少，则可与它互补的农作物的种植面积以一定比例减少，该比例与收益系数有关，互补性约束表达式为

$$\Delta S_B \uparrow = (|n_1 - 1| + 0.2) \cdot \Delta S_A \uparrow$$

5.2.4. 部分结果(见表 4)展示

Table 4. Result four
表 4. 结果四

	地块名	黄豆	黑豆	红豆	绿豆	爬豆	小麦	……	榆黄菇	香菇	白灵菇	羊肚菌
第一季	A1	0	0	0	0	0	80	……	0	0	0	0
	A2	0	0	0	0	0	0	……	0	0	0	0
	B1	0	0	0	0	0	0	……	0	0	0	0
	B2	0	0	46	0	0	0	……	0	0	0	0
	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……	……
第二季	E11	0	0	0	0	0	0	……	0	0.6	0	0
	E12	0	0	0	0	0	0	……	0	0	0.6	0
	F1	0	0	0	0	0	0	……	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	……	0	0	0	0

6. 结论

在问题一的背景之下, 分析最后结果得到粮食作物在 ABC 类的地块的种植面积较大, 特别是小麦, 玉米, 谷子, 南瓜, 红薯的种植面积较多且集中, 种植面积较大, 红萝卜和大白菜在 D 类地块中的总种植面积较大, EF 类地块的蔬菜种植面积分布相对均匀, 没有明显的集中趋势。为解决滞销问题, 问题一提出了两种应对滞销的两种解决方案, 通过对最后结果进行剖析, 发现按滞销价格的百分之五十出售得到的收益更多。在加入不确定因素之后, 粮食作物在 ABC 的种植面积较大, 特别是谷子, 南瓜, 红薯, D 类中土豆种植面积较大, EF 相对均匀。通过对结果进行分析发现, 在加入不确定风险之后, 尽管风险得到了有效控制, 但收益也相应有所降低。

将问题二与问题三进行对比分析发现, 每年都有许多种植的农作物种类固定不变, 且对应的种植亩数也基本不发生波动, 其中有黄豆, 小麦, 玉米, 红薯, 南瓜等等, 这些农作物的种植面积基本都是最大种植面积且几乎每两到三年会重复一次。在考虑农作物的可替代性之后, 将单位面积收益差不多的农作物进行两两配对, 当某种农作物的种植面积下降后, 与之匹配的农作物种植面积会随之上升, 使其收益不会减少, 保持稳定, 甚至稳中有升。在进行互补性分析之后发现, 当某种农作物的种植面积上升, 由于互补性的影响, 与之配对的农作物的种植面积也会随之上升, 这集中农作物的亩产量与预期销售量上升, 使得整体收益显著提高。引入价格弹性与成本弹性之后, 我们对可种植农作物进行区分, 保留了价格弹性和成本弹性适中的农作物, 因此当某种农作物的销售价格和种植成本上升时, 其对应的预计销售量变化不大, 减少了部分损失, 使其收益保持在较高的水平。

通过考虑不确定性风险, 可替代性, 互补性以及价格弹性, 成本弹性, 可使农户在应对种植风险时还能保持收益甚至收益更高。以上分析深刻剖析农户在种植过程中可能遇到的种植风险, 为农户提供了较好的种植策略, 以应对不确定性种植风险, 且能够获得相对较高的收益。

基金项目

河南科技大学创新创业训练计划项目(No.2024242)。

参考文献

- [1] 黄安保. 因地制宜理念下有机农业种植发展策略研究[J]. 黑龙江粮食, 2022(10): 81-83.
- [2] 李闯, 高萱, 祝悦, 等. 基于多目标优化的黑龙江省农作物种植结构调整[J]. 农业与技术, 2022, 42(24): 1-6.
- [3] 侯云先, 朱永达, 赵理, 等. 用蒙特卡洛模拟分析及预测气象灾害对区域农业的影响[J]. 河南农业大学学报, 1993, 27(3): 248-252.
- [4] 王建成, 胡晋, 黄歆贤, 等. 蒙特卡洛模拟在种质资源研究中的应用探讨[J]. 种子, 2009, 28(1): 59-62.
- [5] 杨艳. 农业风险管理的实践与研究进展[J]. 桉树科技, 2020, 37(4): 65-70.
- [6] 余银, 唐华仓. 粮食作物的供给价格弹性分析——以小麦、玉米、大豆为例[J]. 农业与技术, 2024, 44(12): 145-149.
- [7] 刘丹. 降成本增效益提产量[N]. 中国气象报, 2023-08-23(002).