

基于混合整数线性规划的乡村农作物多情境种植策略优化研究

林依硕^{1,2}, 荣梦杰¹

¹ 西安外事学院工学院 陕西西安

² 朴茨茅斯大学 英国

【摘要】本文以华北某山区乡村为研究对象, 针对其农作物种植策略优化问题, 采用混合整数线性规划 (MILP) 模型, 对 2024 至 2030 年的农作物种植方案进行优化, 旨在提升生产效益并减少市场波动和不确定性带来的风险, 为乡村可持续发展提供支持。针对多阶段约束优化问题, 模型综合考虑了地块类型、作物轮作、重茬禁忌、季节性限制及市场需求等多重因素, 分别探讨了产量超出需求时的滞销与降价两种情境。建立混合整数线性规划模型, 以最大化总收益并控制种植面积和轮作要求。结果表明, 滞销情境下通过精确控制作物种植面积避免浪费, 降价情境下则允许适度超产并平衡超产收益与降价损失。

【关键词】混合整数线性规划 (MILP); 多目标优化; 种植策略; 风险管理

【收稿日期】2025 年 8 月 21 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 17 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250203

Research on optimization of multi-scenario planting strategies for rural crops based on mixed integer linear programming

Yishuo Lin^{1,2}, Mengjie Rong¹

¹School of Engineering, Xi'an International University, Xi'an, Shaanxi

²University of Portsmouth, United Kingdom

【Abstract】 This paper takes a mountainous village in North China as the research object. Focusing on the optimization of its crop planting strategy, the mixed integer linear programming (MILP) model is adopted to optimize the crop planting plan from 2024 to 2030, aiming to enhance production efficiency and reduce the risks brought by market fluctuations and uncertainties, providing support for the sustainable development of the village. For multi-stage constrained optimization problems, the model comprehensively considers multiple factors such as plot type, crop rotation, continuous cropping taboos, seasonal restrictions, and market demand, and respectively explores two scenarios of overstocking and price reduction when the output exceeds the demand. Establish a mixed-integer linear programming model to maximize the total revenue and control the planting area and crop rotation requirements. The results show that in the case of overstocking, waste can be avoided by precisely controlling the planting area of crops, while in the case of price reduction, moderate overproduction is allowed and the gains from overproduction and the losses from price reduction can be balanced.

【Keywords】 Mixed Integer Linear Programming (MILP); Multi-objective optimization; Planting strategy; Risk management

引言

农业是乡村经济的重要支柱, 科学的农作物种植策略对提高农民收入、保障粮食安全和土地资源的可持续利用具有重要意义^[1]。传统的经验式种植安排忽视系统约束与不确定性, 导致资源利用效率低下、抗风险能力不足。尤其在华北山区等自然资

源有限的地区, 如何根据耕地特性、作物生长规律及市场变化, 制定科学的种植计划, 已成为当前农业管理中的关键问题。该问题来源于 2024 年“高教社杯”全国大学生数学建模竞赛 C 题问题一, 即在保持每种作物在不同耕地上的亩产量、成本、售价及销售不变的情况下, 分别分析产量超过销售

量超过部分不能售卖及以 50%的折扣廉价售卖的问题，给出该乡村 2024~2030 年农作物的最优种植方案。

1 数据预处理

1.1 数据来源

本题数据来源于 2024 年“高教社杯”全国大学生数学建模竞赛 C 题。

1.2 数据分析

对附件 1 中的现有耕地类型进行数据的预处理，可以直观的看到梯田的面积占到总面积的一半以上，所以该乡村中绝大部分的收益来自于梯田地。

根据题目所给数据可以得出南瓜和红薯的产量特别高，南瓜的成本比较低，因此收益要高一些。结合图 1 的地块面积分布图可知南瓜、红薯适合种植

在超过全乡 90%的土地，这为后期的规划提供一定的指导意见。

由附件 2 的 2023 年统计的相关数据表中可以得到以下平旱地所有作物单季的销售价格区间。

2 符号说明

3 问题一的模型建立与求解

3.1 问题一求解思路

本问题需要建立一个多阶段优化约束模型^[2]，用来处理村庄在每年农作物种植中对收益最大化的规划问题^[3]。该模型需要应对不同作物在不同耕地条件下的种植限制。通过优化作物的种植面积和种类分配，该模型最终可以达到在满足市场需求的前提下，最大化种植收益、减少资源浪费，并降低因作物价格波动带来的风险的效果。

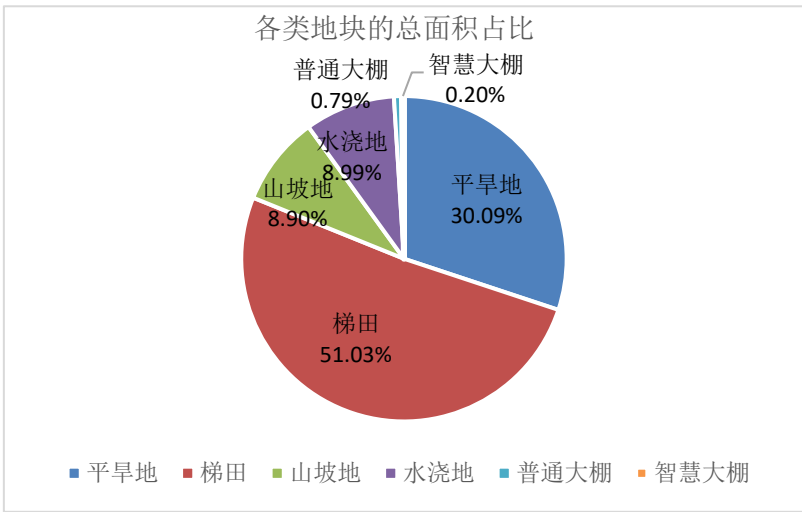


图 1 各类地块的总面积占比

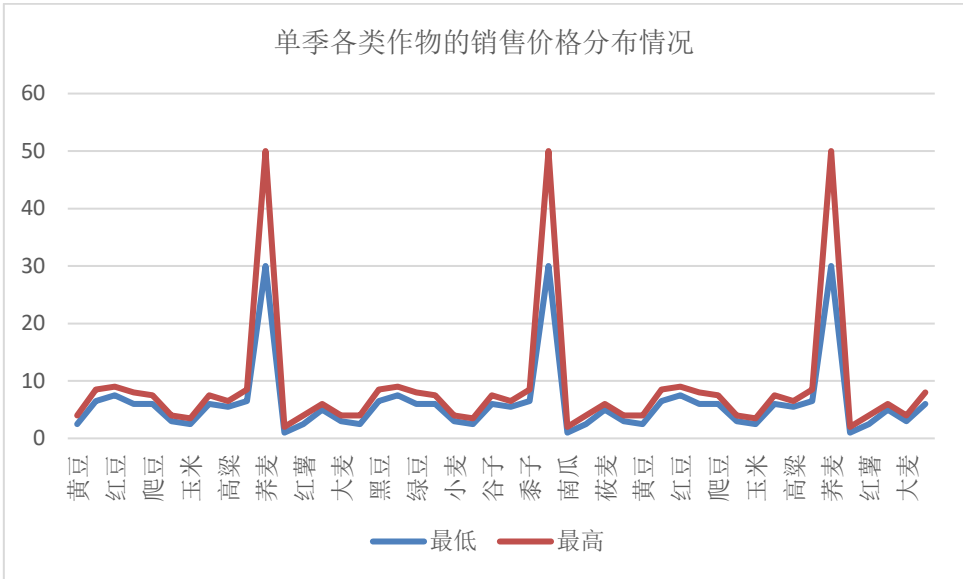


图 2 各类作物的销售价格区间分布图

表 1 索引及其含义

符号	含义
t	年份
i	地块号
j	作物编号
k	季节

表 2 符号及其含义

符号	含义
$X_{ij}^{t,k}$	第 t 年在地块 i 的第 k 季种植作物 j 的面积
R_j	作物 j 每亩的产量
P_j	作物 j 的每亩销售价格
$C_{ij}^{t,k}$	作物 j 在地块 i 第 k 季的种植成本
Y_1	超出部分滞销的总利润
Y_2	超出部分降价处理的总收益
A_i	表示地块 i 的总面积

问题一的求解思路是通过构建混合整数线性规划模型。

3.3 混合整数线性规划模型的建立与求解

3.3.1 建立目标函数

混合整数线性规划能同时处理连续变量和离散变量^[6], 建立其目标函数:

$$\max \sum_{t=2024}^{2030} \left(\sum_{i,j,k} X_{ij}^{t,k} \cdot R_j \cdot D_j^t \right) \cdot P_j - \sum_{i,j,k} X_{ij}^{t,k} \cdot C_{ij}^{t,k} \quad (1)$$

当产量超出市场需求时, 超出部分无收益, 得到目标函数:

$$\max Y_1 = \sum_{t=2024}^{2030} \left(\sum_{i,j,k} \min(X_{ij}^{t,k} \cdot R_j, D_j^t) \cdot P_j - \sum_{i,j,k} X_{ij}^{t,k} \cdot C_{ij}^{t,k} \right) \quad (2)$$

当产量超出市场需求时, 超出部分按市场价格的 50% 出售时, 得到目标函数:

$$\max Y_2 = \sum_{t=2024}^{2030} \left(\sum_{i,j,k} \min(X_{ij}^{t,k} \cdot R_j, D_j^t) \cdot P_j + \sum_{i,j,k} \max(0, X_{ij}^{t,k} \cdot R_j, D_j^t) \cdot 0.5P_j - \sum_{i,j,k} X_{ij}^{t,k} \cdot C_{ij}^{t,k} \right) \quad (3)$$

3.3.2 约束条件

(1) 耕地种植季节的限制

1) 由于平旱地、梯田及山坡地每年只能种植一季作物, 得到约束条件:

$$\sum_{k=1}^2 X_{ij}^{t,k} \leq A_i \quad \forall i \in \{\text{平旱地, 梯田, 山坡地}\} \quad (4)$$

划模型^[4,5], 针对 2024-2030 年的农作物种植方案进行优化, 目标是最大化乡村的总收益。首先, 基于附件 1 的数据, 预处理耕地类型和作物适宜性的信息, 确保不同类型的地块只种植适合的作物。同时, 从附件 2 获取 2023 年农作物的种植数据和销售数据, 以此作为基准, 定义参数。在模型中引入决策变量, 对两种情境分别构建目标函数, 并加入约束条件。通过求解该模型, 得出不同情境下的最优种植方案, 最大化乡村的总体收益。

3.2 模型假设

在建立模型之前, 需要对问题的背景和实际情况进行适当的简化和假设, 以便更好地构建数学模型。以下是针对该乡村农作物种植策略优化问题所做出的主要模型假设:

(1) 所有农作物在 2024-2030 年间的亩产量、市场价格、种植成本与 2023 年保持一致。

(2) 每一块地每个种植季只能选择一种作物进行种植, 不进行混种。

(3) 所有地块受到相同的气候条件影响。

(4) 忽略因农作物种植区域的分散性产生的运输和储存成本, 只考虑作物的种植成本与销售价格。

(5) 水浇地、普通大棚、智慧大棚的第一季度的时间差异忽略不计。

2) 由于水浇地一年可以种植一季作物或者两季作物, 得到约束条件:

$$\sum_{k=1}^2 X_{ij}^{t,k} \leq 2A_i \quad \forall i \in \{\text{水浇地}\} \quad (5)$$

3) 大棚地每年可以种植两季, 得到约束条件:

$$\sum_{k=1}^2 X_{ij}^{t,k} \leq 2A_i \quad \forall i \in \{\text{普通大棚, 智慧大棚}\} \quad (6)$$

(2) 作物的种类限制

1) 平旱地、梯田和山坡地每年只适宜种植粮食类作物 (水稻除外):

$$X_{ij}^{t,k} = 0 \quad \text{若 } j \notin \{\text{粮食类作物}\}, \forall i \in \{\text{平旱地, 梯田, 山坡地}\} \quad (7)$$

2) 水浇地每年可以单季种植水稻或两季种植蔬菜:

$$X_{ij}^{t,1} \cdot X_{ij}^{t,2} = 0, \quad \text{若第一季种植水稻, } \forall i \in \{\text{水浇地}\} \quad (8)$$

3) 若在某块水浇地种植两季蔬菜, 第一季可种植多种蔬菜, 第二季只能种植大白菜、白萝卜或红萝卜:

$$X_{ij}^{t,2} = 0 \quad j \notin \{\text{大白菜, 白萝卜, 红萝卜}\}, \forall i \in \{\text{水浇地}\} \quad (9)$$

(3) 季节性要求

1) 大白菜、白萝卜和红萝卜只能在水浇地的第二季种植:

$$X_{ij}^{t,1} = 0 \quad \text{若 } j \notin \{\text{大白菜, 白萝卜, 红萝卜}\}, \forall i \in \{\text{水浇地}\} \quad (10)$$

2) 普通大棚第一季种植蔬菜, 第二季只能种植食用菌:

$$X_{ij}^{t,2} = 0, \quad \text{若 } j \notin \{\text{食用菌}\}, \forall i \in \{\text{普通大棚}\} \quad (11)$$

(4) 轮作与重茬禁忌

1) 作物不能连续重茬种植:

$$X_{ij}^{t,k} \cdot X_{ij}^{t+1,k} = 0, \quad \forall j, i, k \quad (12)$$

2) 三年内必须种植一次豆类作物:

$$\sum_{t=t_0}^{t_0+2} \sum_{j \in \{\text{豆类作物}\}} X_{i,j}^{t,k} \geq A_i, \quad \forall i \quad (13)$$

3.3.3 结果分析

程序中的迭代次数设置为 1000, 当迭代次数结束时, 输出种群中的最优个体 X_{best} 对应的种植方案, 收益情况见下图 3。总利润 1 为超量部分不能售卖时的总利润, 总利润 2 为超量部分以 50% 的折扣廉价售卖时的总利润。

4 结语

本文以华北某山区乡村为研究对象, 构建了基于混合整数线性规划的多阶段农作物种植优化

模型, 系统考虑了地块类型、轮作约束、季节性限制与市场需求等因素, 分别对滞销与降价两种超产情境进行了建模与求解。结果表明, 在滞销情境下, 通过精确控制种植面积可有效避免资源浪费; 在降价情境下, 适度超产并平衡收益与损失可实现总体效益的最大化。本研究为乡村农业种植策略提供了科学的决策支持, 有助于提升农业生产的经济效益与抗风险能力, 推动农业可持续发展。

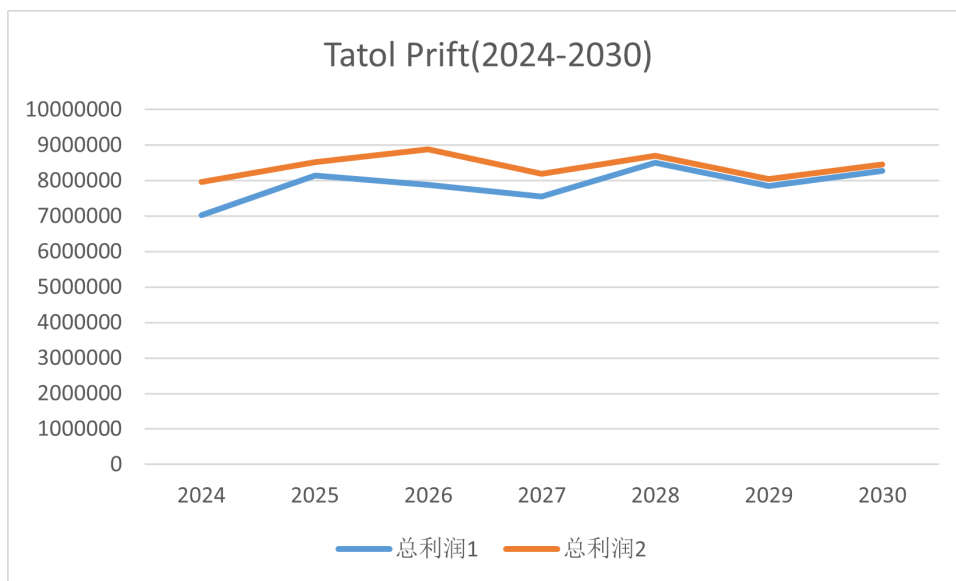


图3 两种情况 2024—2030 年总利润对比图

但是, 本研究对市场需求、气候变化等不确定性因素未做详细处理。因此, 在实际应用中可以结合采用鲁棒优化^[7]或随机规划算法^[8], 确保种植策略在面对市场需求波动、价格变化和气候不确定性时仍能保持较好的效益和稳定性, 提升决策的可靠性和鲁棒性。

参考文献

- [1] 宋艳红. 乡村振兴战略下的特色农业经济发展路径研究[J]. 农村实用技术, 2025(05): 17-18.
- [2] 边乐康, 张成龙, 郭萍等. 区间多阶段双侧随机联合概率机会约束规划模型——以民勤县红崖山灌区水资源优化配置为例[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(11): 228-240.
- [3] 栗小妮. 基于大数据分析技术的农作物种植决策模型研究[J]. 黑龙江粮食, 2023, (10): 88-90.
- [4] 张玺, 廖胜利, 方舟, 等. 耦合复杂生态约束的梯级水电短期优化调度标准混合整数线性规划模型[J/OL]. 电网技术, 1-12[2024-09-08].

- [5] 石一鹏, 刘杰, 祖锦源, 等. 基于混合整数线性规划模型的 SPONGENT S 盒紧凑约束分析[J]. 计算机应用, 2023, 43(05): 1504-1510.
- [6] Garrido A, Barrón CEL, Buitrago YO 等人. 不确定条件下的多梯次全球化农工供应链——两阶段模糊可能性混合整数线性规划模型[J]. 专家系统与应用, 2025, 270.
- [7] Nemati H, Martín SP, Sigrist L 等人. 基于经济风险分析的电力市场纯可再生能源 VPP 招标的柔性鲁棒优化[J]. 国际电力与能源系统学报, 2025, 167.
- [8] 边乐康, 张成龙, 郭萍等. 区间多阶段双侧随机联合概率机会约束规划模型——以民勤县红崖山灌区水资源优化配置为例[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(11): 228-240.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS