

基于线性规划模型的农作物最优种植方案研究

刘欣灵 凌智慧 朱文博

沈阳药科大学

DOI:10.12238/as.v8i4.2932

[摘要] 我国作为一个人多地少的农业大国,为确保粮食安全与耕地的合理利用,对农作物种植进行科学规划和合理布局异常重要。如何科学合理考虑种植成本、亩产量、销售价格、销售量等因素可能造成的种植风险,优化种植策略,方便种植管理,提高生产效益,达到投资利润最大化,是迫切需要研究解决的问题。本文通过交叉弹性模型与价格弹性指数等经济学知识,基于线性规划模型研究方法,利用Python随机生成函数进行变量区间内随机性的模拟,引入决策变量,分别确立在不同情况下的总利润最大化为目标函数,通过一系列约束条件,使用Matlab计算工具对优化策略进行求解,最终对农作物种植方案给出最优结果。

[关键词] 线性规划; 模型; 最优种植; 农作物; 利润; 最大化

中图分类号: S5 **文献标识码:** A

Research on the Optimal Crop Planting Plan Based on the Linear Programming Model

Xinling Liu Zhihui Ling Wenbo Zhu

Shenyang Pharmaceutical University

[Abstract] As a large agricultural country with a large population and limited arable land, it is extremely important for China to ensure food security and the use of arable land by scientific planning and reasonable layout of crop planting. How to scientifically and reasonably consider the planting risks that may be caused by factors such as planting cost yield per mu, selling price, and sales volume, optimize planting strategies, facilitate planting management, improve production efficiency, and maximize investment profits is an urgent problem that needs to be studied solved. This paper studies the method based on the linear programming model. Economic knowledge such as cross-elasticity model and price elasticity index are used. The Python random generation function used to simulate randomness within the variable interval. The decision variable is introduced. The maximum total profit under different situations is established as an objective function. Through a series of constraints, the strategy is solved by using the Matlab calculation tool. Finally, the optimal results of the crop planting scheme are given.

[Key words] linear programming; model; optimal planting; crops; profit; maximization

引言

我国人多地少的基本国情使得合理规划和有效利用耕地资源的重要性日益凸显。针对乡村实际情况,合理利用耕地资源,根据原有地形特点发展有机种植产业,选择适宜的农作物,优化种植策略,方便田间管理,提高农作物种植效益,减少各种不确定因素可能造成的种植风险,对改善粮食安全状况和推动乡村经济可持续发展尤为重要。

某乡村地处华北山区,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,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。

根据2023年的农作物种植和相关统计数据,假定各种农作物未来的预期销售量、种植成本、亩产量和销售价格相对于2023年保持稳定,每季种植的农作物在当季销售。如果某种作物每季的总产量超过相应的预期销售量,超过部分不能正常销售。

本文针对超过部分浪费与按2023年销售价格的50%出售两种情况,分别给出乡村2024~2030年农作物的最优种植方案。

1 模型的建立

针对以上问题,构建一个精确的数学模型,旨在优化2024~2030年期间的农作物种植策略。将综合考虑农作物销售量、种植成本、单位面积产量及销售价格等多个关键变量的变化趋势影响,并充分考虑市场环境中的不确定性因素。通过该模型计算分析,制定出更为科学合理的种植策略,以应对农业种植风险的挑战。

1.1 模型的假设

(1) (修改序号,与“题干的层级”一样)假设所有作物未来的种类与生长周期相对于原本保持稳定。

(2) (修改序号,与“题干的层级”一样)假设在预期时间范围内市场保持稳定,无金融危机等事件的出现。

(3) 假设在预测时间范围内,该乡村无极端天气情况、重大地质灾害和生物灾害发生,即忽略不可预测的自然因素对产量的影响。

(4) 假设该乡村不改变所种植作物的种类。

(5) 假设不同类型的地块(大棚)的面积在预测时间范围内保持不变。

(6) 假设农业技术与种子的质量等因素在预期内不变,即忽略科技进步对亩产量的影响。

1.2 模型的建立

本文引入种植面积 X_{ijt} 作为决策变量,表示在第t年,第j块地上种植作物i的面积(t表示年份,j表示地块编号,i表示作物编号),以实现2024~2030年种植农作物的总利润最大化为目标,合理规划并计算农作物种植量,确保减少滞销浪费。通过现有耕地面积约束、豆类作物轮种约束、重茬种植约束、作物种植面积约束、大棚种类限制约束作为约束条件,建立线性规划模型。

1.2.1 第一种情况

若某种作物每季总产量超过部分滞销浪费情况下,每季总产量超过部分滞销,造成浪费,因此总收益仅考虑未超过预期销量的部分,对超过部分(滞销部分)不记为收入,故总利润的目标函数可以表示为式(1):

$$\max \pi_1 = \sum_{t=2024}^{2030} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\min(S_{ijt}, D_i) \cdot P_i - X_{ijt} \cdot C_i) \quad (1)$$

$$S_{ijt} = X_{ijt} \cdot Y_i \quad (2)$$

式中:

π 为种植总利润,单位:元。

S_{ijt} 为在第t年,编号为j的地上种植作物编号为i的农作物的产量,单位:斤。

X_{ijt} 为在第t年,编号为j的地上种植作物编号为i的种植面积,单位:亩。

Y_i 代表编号为i的农作物的亩产量,单位:斤。

D_i 代表编号为i的农作物的预期销售量,单位:斤。

P_i 代表编号为i的农作物的销售单价,单位:元/斤。

C_i 代表编号为i的农作物种植成本,单位:元/亩。

目标函数约束条件:

(1) 耕地面积约束:每块地的种植面积不得高于该地块的总面积,如式(3):

$$\sum_{i=1}^N X_{ijt} \leq A_j, \forall j, t \quad (3)$$

(2) 豆类作物轮种约束:为保障土壤肥力,每一块地在三年之内至少种植一次豆类植物,如式(4):

$$\sum_{i=T}^{T+2} \sum_{i \in [1,5] \cup [17,19]} X_{ijt} > 0, \forall j \quad (4)$$

(3) 重茬种植约束:为保障农作物的产量,同一块地不得连续两季种植同一种作物,如式(5):

$$X_{ijt} \cdot X_{ij(t+1)} = 0 \quad (5)$$

(4) 作物种植面积约束:每种农作物在单个地块上的种植面积不宜太小,使每种作物的种植面积不小于最小面积,如式(6):

$$X_{ijt} \geq \min X_i \forall i, j, t \quad (6)$$

(5) 大棚作物种类限制:

普通大棚:只能种蔬菜和食用菌,不能种植其他作物,如式(7):

$$X_{ijt} = 0 \forall i \notin (\text{蔬菜类}, \text{食用菌类}) \quad (7)$$

智慧大棚:只能种植蔬菜,不能种植其他作物,如式(8):

$$X_{ijt} = 0 \forall i \notin (\text{蔬菜类}) \quad (8)$$

此外,对于智慧大棚,每年可以种植两季蔬菜,因此需要针对每个大棚在每个季节分别添加约束。

最后,对上述式(3)~(8)进行汇总整理,得本次线性规划模

型式(1)的总约束条件如式(9)所示:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N X_{ijt} \leq A_j, \forall j, t \\ \sum_{t=T}^{T+2} \sum_{i \in [1,5][17,19]} X_{ijt} > 0, \forall j \\ X_{ijt} \cdot X_{ij(t+1)} = 0 \\ X_{ijt} \geq \min X_i, \forall i, j, t \\ X_{ijt} = 0, \forall i \notin (\text{蔬菜类}, \text{食用菌类}) \\ X_{ijt} = 0, \forall i \notin (\text{蔬菜类}) \end{cases} \quad (9)$$

式中:

A_j 代表编号为j的地块面积, 单位: 亩。

\forall_j 为全称量词, 无量纲。

1.2.2第二种情况

若某种作物每季总产量超过部分按2023年销售价格的50%出售情况下, 与上一情况类似, 不同之处在于超过部分按照2023年销售价格的50%降价出售。通过分析, 作物总产量超过预测销售量部分的产量并非完全浪费, 而是考虑其降价出售带来的综合收入, 适当调整种植策略问题。因此, 在此情况下, 需要对目标函数中超出预计销售量部分的收益进行区分和处理。当实际产量小于预测销售量时, 收益取实际产量与销售单价的乘积; 当实际产量大于预测销售量时, 收益取实际产量与销售单价的乘积以及超过部分与50%销售单价的乘积之和。故得出该情况下总利润目标函数如式(10)所示:

$$\begin{aligned} \max \pi_2 &= \sum_{t=2024}^{2030} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\min(S_{ijt}, D_i) \cdot P_i + \\ &\max(S_{ijt} - D_i, 0) \cdot 0.5P_i - X_{ijt} \cdot C_i) \end{aligned} \quad (10)$$

因该情况下的背景信息、基础数据与上一情况相同, 故该情况下与上一情况的约束条件完全一致, 为避免内容的重复和冗余, 不再对该情况下的边界约束条件进行复述。

2 最优种植方案分析

2.1数据的处理

2.1.1数据的整合

首先, 检查2023年的农作物种植情况与2023年统计的相关数据不同字段数据的一致性, 确保2023年数据无异常值与格式不一致的情况。然后, 使用Python将2023年的农作物种植情况与2023年统计的相关数据进行整合, 合并作物名称与地块类型为新主键, 生成新成果数据。

2.1.2数据的处理及可视化

本文数据较为复杂繁多, 为便于计算、提高后续的计算效率和更直观的感受。对2023年数据进行整合后, 继续进行数据处理

及可视化工作。通过分析, 主要需对预期销售量与销售单价区间两个问题进行处理。将作物预期销售量问题转化为总产量问题, 并利用Python随机生成函数进行作物销售价格区间的处理。

(1) 预期销售量的处理

根据数据整合后的表格, 分析农作物在不同地块的亩产量与不同农作物的种植面积, 进一步得到各作物在其对应土地上的总产量。假设预期销售量与总产量数值一致, 得出各类作物在相应类型土地上的预期销售量(总产量), 并将结果进行可视化, 如图1所示。

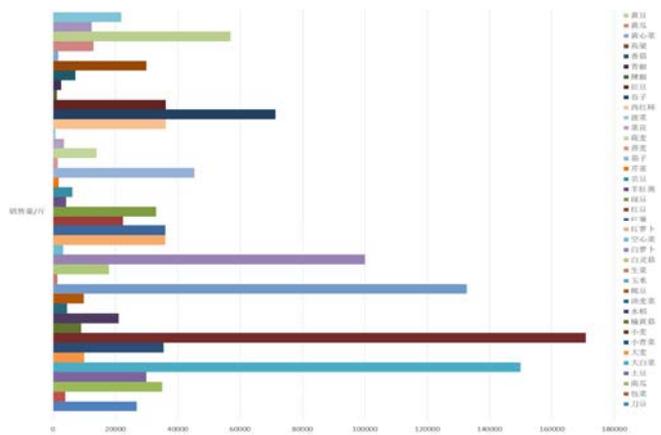


图1 2023年各类作物销售量

(2) 销售单价区间的处理

为保证后续结果的准确性和真实性, 对销售单价区间进行预处理。首先, 将“销售单价(元/斤)分割为左右两个区间。由于市场价格的波动性, 模拟真实情况, 使用Python中的random库随机生成函数、随机生成作物的销售单价, 并将生成的不同作物对应的销售单价结果进行可视化, 如下图2所示。

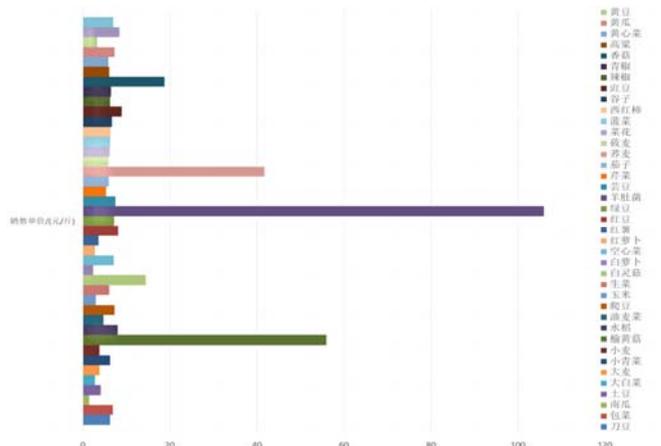


图2 2023年各类作物销售单价

2.2最优种植方案

2.2.1第一种情况

根据以上处理后的数据, 采用式(1)分析计算后, 得到该乡村2024~2030年在第一种情况下农作物最优种植方案, 因数据多, 以2025年10种作物成果为例, 结果见表1; 全部利润如图3所示。

表1 第一种情况最优种植方案(2025年部分)(亩)

| 季别 | 地块名 | 南瓜 | 红薯 | 莜麦 | 大麦 | 水稻 | 豇豆 | 刀豆 | 芸豆 | 土豆 | 西红柿 |
|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| 第一季 | A1 | 8 | 0 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A2 | 5.5 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A3 | 0 | 0 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A4 | 7.2 | 14.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A5 | 0 | 0 | 6.8 | 6.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 第一季 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 第一季 | D6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | D7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.2 | 2.2 | 0 | 0 | 2.2 | 0 |
| 第一季 | D8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 第一季 | E1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0.06 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | E2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 | 0.06 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 第二季 | F1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0.06 | 0 | 0 | 0 |
| 第二季 | F2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.12 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 |
| 第二季 | F3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 |
| 第二季 | F4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 | 0.06 |

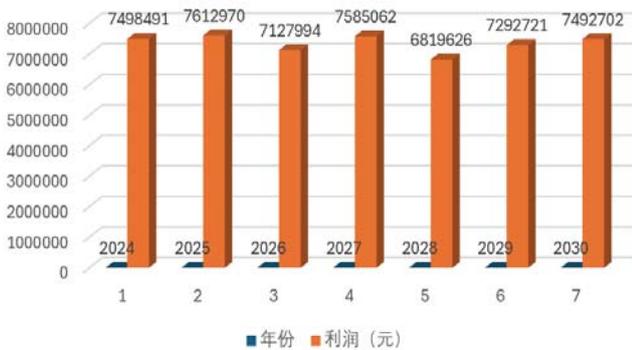


图3 第一种情况利润图

2.2.2 第二种情况

根据以上处理后的数据,采用式(10)分析计算后,得到该乡

村2024~2030年在第二种情况下农作物最优种植方案,因数据多,以2025年10种作物成果为例,结果见表2;全部利润如图4所示。

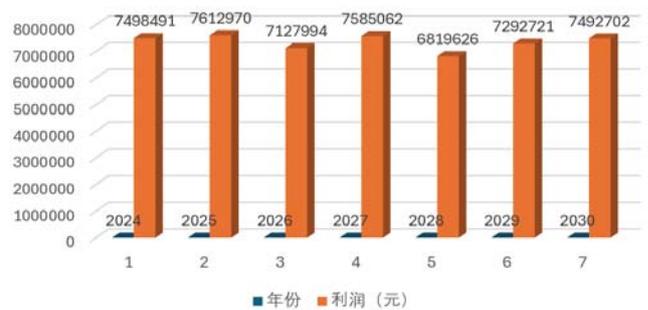


图4 第二种情况利润图

表2 第二种情况最优种植方案(2025年部分)(亩)

| 季别 | 地块名 | 南瓜 | 红薯 | 苻麦 | 大麦 | 水稻 | 豇豆 | 刀豆 | 芸豆 | 土豆 | 西红柿 |
|-----|-----|-----|----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| 第一季 | A1 | 8 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A2 | 0 | 0 | 5.5 | 5.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A3 | 3.5 | 7 | 3.5 | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A4 | 7.2 | 0 | 7.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A5 | 6.8 | 0 | 0 | 6.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | A6 | 0 | 0 | 5.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 第一季 | D5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 第一季 | D6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 0 |
| 第一季 | D7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.2 | 2.2 | 0 | 2.2 | 0 |
| 第一季 | D8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 第一季 | E1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 | 0.06 | 0 |
| 第一季 | E2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0.06 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 第二季 | F1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0.06 | 0 | 0 | 0 |
| 第二季 | F2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0.06 |
| 第二季 | F3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| 第二季 | F4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 | 0 | 0.06 |

3 结语

(1) 本文模型导向明确、易于理解且高效。可灵活处理各类约束条件,同时保证找到较为精确的全局最优解。

(2) 经济学交叉弹性模型能够清晰揭示作物间的关系,精准定位,优化资源配置。

(3) 本文依据2023年农作物种植情况及统计的相关数据,采用线性规划模型分析计算后,得出了作物每季总产量超过部分浪费与按2023年销售价格的50%出售两种情况下、乡村2024~2030年农作物的最优种植方案。可为该乡村2024~2030年农作物的种植提供参考。

(4) 本文建立的线性规划模型可移植用于某区域内多种类型地块种植多种农作物的最优方案分析研究。

[参考文献]

[1] 卓金武, 萨和雅, 王鸿钧. MATLAB数学建模方法与实践(第

4版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2023.

[2] 姜启源, 谢金星, 叶俊, 数学建模(第五版)[M].北京:高等教育出版社,2018.

[3] EricMatthes著,袁国忠译,Python编程从入门到实践(第2版)[M].北京:人民邮电出版社,2022.

[4] 隋亚莉, 曲子芳, 概率统计(第4版)[M].北京:清华大学出版社,2014.

[5] 薛安克, 鲁棒最优控制理论与应用[M].北京:科学出版社,2008.

[6] 高鸿业, 经济学原理(第四版)[M].北京:中国人民大学出版社,2022.

作者简介:

刘欣录(2005--),女,云南昆明人,本科,药学专业。