

Research on Crop Planting Strategy Considering Random Perturbation

Qiang Li¹ Feifei Huang¹ Qiang Hao¹ Wenlin He² Jinhua Tan² Wei Li^{2*}

1. Guangzhou Railway Polytechnic, Guangzhou, Guangdong, 511300, China

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong, 524048, China

Abstract

To achieve sustainable development of the rural economy, it is necessary to formulate efficient planting strategies that increase crop yields while minimizing production risks. This paper takes a village in North China as an example. Considering the random perturbation of planting costs and sales prices, the repeated random sampling method is adopted to solve each random fluctuation term. Furthermore, the simulated annealing algorithm is improved using Monte Carlo simulation to enhance its robustness in searching for optimal solutions in a stochastic environment. It is then embedded into the linear programming framework to solve multi-objective optimization models under various constraints. Based on this, an optimal cropping strategy for the village from 2025 to 2030 is formulated to enhance the long-term resilience of the agricultural system.

Keywords

Random perturbation; Simulated annealing algorithm; Optimal planting strategy for crops

考虑随机扰动的作物种植策略研究

李强¹ 黄菲菲¹ 郝强¹ 何文林² 谭锦华² 李卫^{2*}

1. 广州铁路职业技术学院, 中国·广东广州 511300

2. 岭南师范学院机电工程学院, 中国·广东湛江 524048

摘要

为实现乡村经济的绿色、可持续发展, 必须构建高效的种植决策体系, 在稳步提升作物产量的同时, 有效降低自然与市场风险。本文聚焦华北地区某一典型乡村, 综合考虑种植成本及市场销售价格随机性等多重扰动因素, 引入重复随机抽样方法对各不确定性变量进行模拟生成。进一步, 运用蒙特卡洛模拟对模拟退火算法进行改进, 增强其在随机环境下的寻优鲁棒性, 并将其嵌入线性规划框架中, 在产量、成本、收益与资源约束条件下, 求解线性优化模型。基于此, 为该乡村制定2025年至2030年作物的最优种植策略, 以增强农业系统的长期韧性。

关键词

随机扰动; 模拟退火算法; 作物的最优种植策略

1 引言

为推进乡村经济可持续发展, 一方面应立足本地实际,

【基金项目】2026年广东省科技创新战略专项资金(大学生科技创新培育)(项目编号: 2026KJCX005); “百千万工程”与设计驱动创新双维耦合下湛江智能家电产业集群高质量发展研究(项目编号: ZJ25YB88)。

【作者简介】李强(1989—), 男, 中国江苏徐州人, 博士, 讲师, 从事计算摩擦学研究,

【通讯作者】李卫(1988—), 男, 土家族, 中国湖北巴东人, 博士, 讲师, 从事计算摩擦学、连接结构动力学研究。

科学规划不同农田类型, 精准选种适宜作物^[1]; 另一方面须制定高效种植方案, 在最大化作物产量的同时, 有效控制生产风险^[2-3]。华北某山区乡村现有34个地块, 总面积达1201亩, 涵盖平旱地、梯田、山坡地及水浇地四种类型, 配备16个普通大棚与3个智慧大棚, 每个大棚面积均为0.6亩^[4-5]。

本文以该乡村为例, 结合各作物的种植成本和销售价格的随机波动特征, 为该乡村规划2025年至2030年的作物种植策略。首先, 基于历史数据构建种植成本与销售价格的随机干扰模型, 并采用重复随机抽样方法求解出各项随机波动参数。在此基础上, 建立以经济收益最大化为目标、兼顾资源约束与风险控制的线性规划模型。进一步利用蒙特卡洛模

拟优化后的算法对模型进行高效求解，最终得到该乡村在不同随机情景下的作物最优种植结构，为乡村农业的稳健可持续发展提供科学决策依据。

2 模型假设

在构建乡村作物种植优化模型时，为简化系统复杂性并聚焦于策略层面的分析，需基于现实背景设定若干合理假设。这些假设旨在平衡模型的精确性与可操作性，为后续的随机优化与决策制定提供逻辑起点。具体如下：

(1) 假设 2023 年各作物的产量等于 2023 年各作物的销量；(2) 假设所有作物的种植成本平均每年增长 4% 至 6% 之间；(3) 假设蔬菜类作物的销售价格平均每年增长 4% 至 6% 之间；(4) 假设所有地块都相连在一起。

3 随机波动模型

3.1 种植成本随机增长模型的建立

受市场供需波动、气候条件及政策调控等多重因素影响，本文假设各作物种植成本与部分农产品销售价格每年增长率在 5% 左右浮动，具体波动范围设定为 4% 到 6%，以此为基础建立随机增长模型，其数学表达式如下：

$$\begin{cases} pc_i = pc_{i-1} \times (1+r_4), i=2024, 2025, \dots, 2030 \\ r_4 \in [0.04, 0.06] \end{cases} \quad (1)$$

其中的 pc_i 表示各作物未来几年的种植成本， r_4 表示各作物未来种植成本的随机增长率波动项。

3.2 销售价格随机模型的建立

3.2.1 粮食类作物销售价格随机波动模型的建立

基于粮食市场价格的相对稳定性，并参考近年价格波动规律，本文假设粮食类作物销售价格在 2023 年基准价格基础上存在 $\pm 1\%$ 的年际随机扰动，建立如下随机波动模型，其数学表达式为：

$$\begin{cases} csp_i = csp_{2023} \times (1+r_5), i=2024, 2025, \dots, 2030 \\ r_5 \in [-0.01, 0.01] \end{cases} \quad (2)$$

其中的 csp_i 表示粮食类作物未来几年的销售价格， r_5 表示粮食类作物未来销售价格的随机扰动项。

3.2.2 蔬菜类作物销售价格随机增长模型的建立

蔬菜类作物的销售价格受市场供需、季节性波动及政策调控等因素影响，平均每年增长约 5%，以此为基础建立如下随机增长模型：

$$\begin{cases} vsp_i = vsp_{i-1} \times (1+r_6), i=2024, 2025, \dots, 2030 \\ r_6 \in [0.04, 0.06] \end{cases} \quad (3)$$

其中的 vsp_i 表示蔬菜类作物未来几年的销售价格， r_6 表示蔬菜类作物未来销售价格的随机增长率波动项。

3.3 各作物种植成本和销售价格随机模型的求解

为了确定种植成本和销售价格的随机波动项，采用重复随机抽样方法，模拟其不确定性对规划结果的影响。在考虑历史数据与波动分布特征的基础上，进行了 2000 次蒙特

卡洛模拟抽样，随后基于概率密度分析提取出现概率最高的随机取值作为波动项的代表值。最终，为直观展示模拟结果的分布特征与集中趋势，对该过程进行了可视化处理，如图 1 所示，为后续优化建模提供了可靠的随机参数输入。

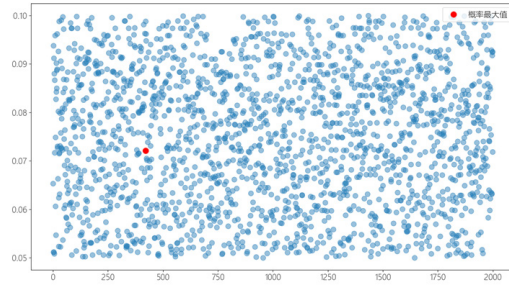


图 1 进行 2000 次模拟的可视化图

4 线性规划模型

4.1 定义决策变量

$$x_{i,j,k}^t = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (4)$$

其中的 $x_{i,j,k}^t$ 为 0-1 变量，0 表示第 j 种作物在第 k 季时不种植在第 i 块地块上，1 表示第 j 种作物在第 k 季时种植在第 i 块地块上。

4.2 确定目标函数

a) 超过部分滞销，造成浪费

$$\max f_1 = \sum_{i=2024}^{2030} \sum_{j=1}^{34} \sum_{k=1}^{107} \sum_{l=1}^2 x_{i,j,k}^l \times (sp_j \times \min(ay_j \times area_j, sv_j) - pc_j \times area_j) \quad (5)$$

其中的 sv_j 表示第 j 种作物的预期销量， ay_j 表示第 j 种作物的亩产量， sp_j 表示第 j 种作物的销售单价， pc_j 表示第 j 种作物的每亩种植成本， $area_j$ 表示第 j 种作物的种植面积。

b) 超过部分按 2023 年销售价格的 50% 降价出售

$$\max f_2 = \sum_{i=2024}^{2030} \sum_{j=1}^{34} \sum_{k=1}^{107} \sum_{l=1}^2 x_{i,j,k}^l \times area_j \times [(sp_j \times \min(ay_j \times area_j, sv_j) + Q_j \times sp_j^{2023} \times 0.5) - pc_j] \quad (6)$$

其中的 Q_j 表示第 j 种作物总产量超过相应的预期销售量的部分， sp_j^{2023} 表示 2023 年第 j 种作物的销售单价。

4.3 建立线性规划模型

结合以经济效益最大化为导向的目标函数，以及土地资源、种植结构、市场需求等多重约束条件，本文分别建立两种情况的线性规划模型，数学表达式如下：

a) 超过部分滞销，造成浪费

$$\max f_1 = \sum_{i=2024}^{2030} \sum_{j=1}^{34} \sum_{k=1}^{107} \sum_{l=1}^2 x_{i,j,k}^l \times (sp_j \times \min(ay_j \times area_j, sv_j) - pc_j \times area_j) \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned}
 &x'_{i,j,1}=1, \forall_i \in (\text{平旱地、梯田、山坡地}) \\
 &x'_{i,j,2}=0, \forall_i \in (\text{平旱地、梯田、山坡地}) \\
 &x'_{i,j,1}=1, \forall_j = (\text{单季的水稻, 两季的蔬菜}), i = \text{水浇地} \\
 &x'_{i,j,2}=1, \forall_j = \text{两季的蔬菜}, i = \text{水浇地} \\
 &x'_{i,j,1}=1, j = \text{蔬菜}, i = \text{普通大棚} \\
 &x'_{i,j,2}=1, j = \text{食用菌}, i = \text{普通大棚} \\
 &x'_{i,j,k}=1, j = \text{两季蔬菜}, i = \text{智慧大棚} \\
 &\sum_{i=T}^{T+2} \sum_{j \in \text{豆类作物}} x'_{i,j,k} \geq 1, T = 2024, \dots, 2027 \\
 &\sum_{i=1}^{34} \sum_{k=1}^2 x'_{i,j,k} \times \text{area}_j \geq \delta_{\min j} \\
 &\sum_{i=2024}^{2030} x'_{i,j,k} \times x'_{i,j,k} = 0
 \end{aligned} \right\} \text{st.} \quad (8)$$

b) 超过部分按 2023 年销售价格的 50% 降价出售

$$\max f_2 = \sum_{i=2024}^{2030} \sum_{j=1}^{34} \sum_{k=1}^2 x'_{i,j,k} \times \text{area}_j \times [(sp_j \times \min(ay_j \times \text{area}_j, sv_j) + Q_j \times sp_j^{2023} \times 0.5) - pc_j] \quad (9)$$

约束条件见式 8 所示。

4.4 模型求解

蒙特卡洛模拟^[6]作为一种基于概率统计的随机模拟方法，通过大量生成随机数来近似复杂系统的行为，常用于处理不确定性问题。模拟退火算法^[7-8]则是一种受固体退火过程启发的全局优化算法，通过引入概率性接受劣解的策略，有效避免陷入局部最优，从而更好地搜索全局最优解。本文将蒙特卡洛模拟的思想融入模拟退火算法的框架中，增强算法在随机环境下的鲁棒性与收敛效率。具体而言，利用第三节通过重复随机抽样得到的扰动项，构建随机规划模型，并在 Matlab 平台上进行多次迭代求解，最终得出该乡村 2025 至 2030 年间适应随机波动的最优作物种植策略。因篇幅所限，仅展示各年度在随机优化下的最大预期盈利结果（见表 1），相应求解过程的收敛曲线与迭代路径如图 2 所示。

表 1 各年最大盈利（元）的结果

2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2029 年	2030 年
24396850	21723419	17369513	22158953	22251186	22493030	17177200

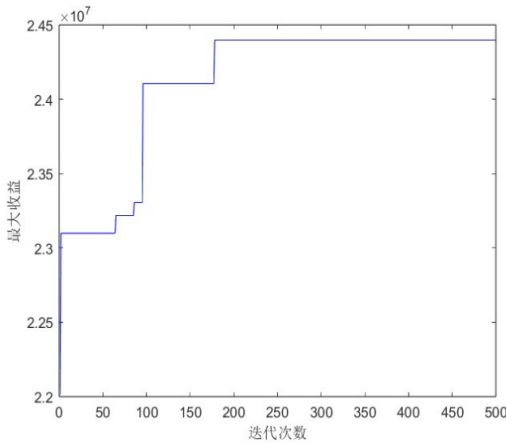


图 2 改进退火模型求解迭代图

5 结语

本文采用的改进模拟退火算法，在蒙特卡洛模拟的辅助下增强了全局探索能力，可有效跳出局部最优，从而锁定适应随机波动的最优种植决策。该模型规避了复杂的数学推导与繁琐的解析计算，降低了实际应用的理解门槛。然而，算法依赖大量随机抽样与迭代寻优，收敛速度相对较慢，且结果仍受随机性影响，存在一定的概率误差，在实时性要求

高的场景中需进一步优化效率。

参考文献

- [1] 田恬,谷达华,郑财贵等.基于土地资源限制性等级的重庆市建设用地开发适宜性评价[J].中国农业资源与区划,2019,40(11):26-34.
- [2] 毛钧,王靖,黄明霞等.云南蔗区播期与水氮耦合对甘蔗产量和糖分影响[J].农业工程学报,2019,35(16):134-144.
- [3] 郑盛,徐凯,周进等.复垦地地力提升与高效种植模式路径研究——以成都市双流区环城生态区为例[J].浙江农业科学,2025,66(09):2287-2291.
- [4] 王杨,张启.华北地区林粮争地问题概况与对策建议[J].陆地生态系统与保护学报,2022,2(05):49-54.
- [5] 许婷婷,冯再勇,谢小韦.基于线性规划模型的农作物种植策略[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2025,43(06):61-67.
- [6] 朱陆陆.蒙特卡洛方法及应用[D].华中师范大学,2014.
- [7] 谢云.模拟退火算法的原理及实现[J].高等学校计算数学学报,1999,(03):212-218.
- [8] Li Junqing, Liu Zhengmin, Li Chengdong, et al. Improved artificial immune system algorithm for type-2 fuzzy flexible job shop scheduling problem[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2021,29(11): 3234-3248.