

# Crop planting strategy based on simulated annealing algorithm

Wei Li Wenlin He

School of Mechanical and Electrical Engineering Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong, 524048, China

## Abstract

To achieve sustainable development of the rural economy, it is not only necessary for farmers to adapt to local conditions, but also for agronomists to formulate efficient planting strategies. It formulates the optimal planting strategies for the village's crops from 2025 to 2030 and then solves the problem using a linear programming model. Finally, the simulated annealing model improved based on the Monte Carlo method was adopted to solve the established linear programming model, and the optimal planting strategies for the crops in this village from 2045 to 2030 under the two scenarios were obtained.

## Keywords

Simulated annealing algorithm; Monte Carlo simulation; Optimal planting strategy for crops

# 基于模拟退火算法的作物种植策略

李卫 何文林

岭南师范学院机电工程学院, 中国 · 广东 湛江 524048

## 摘 要

为了实现乡村经济的可持续发展, 不仅需要农民因地制宜, 而且需要农艺师制定高效的种植策略, 在尽可能提高作物产量的同时, 尽可能减小生产风险。本文以华北地区的一个乡村用来演示制定种植策略, 并考虑两种处理超出预期销量的情况, 分别制定该乡村2025年至2030年作物的最优种植策略, 然后采用线性规划模型来进行求解。最后采用基于蒙特卡罗思想改进的模拟退火模型对所建立的线性规划模型进行求解, 解出两种情况下该乡村2045年至2030年作物的最优种植策略。

## 关键词

模拟退火算法; 蒙特卡罗模拟; 作物的最优种植策略

## 1 引言

为了实现乡村经济的可持续发展, 不仅需要农民因地制宜, 合理地利用各种农田, 种植合适的作物, 而且需要农艺师制定高效的种植策略, 在尽可能提高作物产量的同时, 尽可能减小生产风险<sup>[1-2]</sup>。现存在一个华北山区乡村, 其拥有 34 个大小不一的地块, 地块面积总计 1201 亩, 四种地块类型分别为平旱地、梯田、山坡地和水浇地<sup>[3]</sup>。该乡村还拥有 16 个普通大棚和 3 个智慧大棚, 且每个大棚的面积均为 0.6 亩<sup>[3]</sup>。

因此, 考虑两种处理超出预期销量的情况, 分别制定该乡村 2025 年至 2030 年作物的最优种植策略。本文采用线性规划模型来进行求解。我们首先定义决策变量, 以便后续确定哪种作物在某季度会被种植到哪个地块。然后以各耕地类型的适种作物不同、同一地块 (含大棚) 在连续的两个季度里种植不同的作物、每个地块 (含大棚) 在三年里至少种植一次豆类作物以及每种作物每季的种植地尽可能的集中

为约束条件, 以每年的盈利达到最大值为目标函数, 建立线性规划模型。最后采用基于蒙特卡罗思想改进的模拟退火模型对所建立的线性规划模型进行求解, 最终求解出两种情况下该乡村 2025 年至 2030 年作物的最优种植策略。

## 2 模型假设

假设本文所使用的数据均准确有效;  
假设 2023 年各作物的产量等于 2023 年各作物的销量;  
假设所有作物的种植成本平均每年增长 4% 至 6% 之间;  
假设蔬菜类作物的销售价格平均每年增长 4% 至 6% 之间;  
假设所有地块都相连在一起。

## 3 线性规划模型建立

### 3.1 定义决策变量

$$x'_{ij,k} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中的  $x'_{ij,k}$  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。

【作者简介】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。

### 3.2 确定目标函数

因为本问要求我们制定最优的种植策略，其目的在于每年作物销售后都能获取最大的盈利，所以本问的目标函数设为每年的盈利达到最大值。又因为需要考虑“超过部分滞销，造成浪费”和“超过部分按 2023 年销售价格的 50% 降价出售”两种情况，所以其转换而来的数学表达式分别为：

①超过部分滞销，造成浪费

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

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。

②超过部分按 2023 年销售价格的 50% 降价出售

$$Q_j = sv_j - ay_j \times area_j = \begin{cases} Q_j, Q_j > 0 \\ 0, Q_j \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\max f_2 = \sum_{t=2024}^{2030} \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{107} \sum_{k=1}^2 x_{i,j,k}^t \times area_j \times [(sp_j \times \min(ay_j \times area_j, sv_j) + Q_j \times sp_j^{2023} \times 0.5) - pc_j] \quad (4)$$

其中  $Q_j$  的表示第  $j$  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。

### 3.3 确定约束条件

当地块类型为智慧大棚时，每年可以种植两季的蔬菜，所以其转换而来的数学表达式为：

$$x_{i,j,k}^t = 1, j = \text{两季蔬菜}, i = \text{智慧大棚} \quad (5)$$

每个地块（含大棚）在三年里至少需要种植一次豆类作物，所以其转换而来的数学表达式为：

$$\sum_{t=T}^{T+2} \sum_{j \in \text{豆类作物}} x_{i,j,k}^t \geq 1, T = 2024, \dots, 2027 \quad (6)$$

为了确保每种作物每季的种植地尽可能的集中，本文引入最小阈值  $\delta_{minj}$ ，让每种作物的每季种植面积不能小于  $\delta_{minj}$ ，其转换而来的数学表达式为：

$$\sum_{i=1}^{34} \sum_{k=1}^2 x_{i,j,k}^t \times area_j \geq \delta_{minj} \quad (7)$$

为了避免作物连续重茬种植而导致产量减小，本文引入不重茬约束，其转换而来的数学表达式为：

$$\sum_{t=2024}^{2030} x_{i,j,k}^t \times x_{i,j,k}^{t-1} = 0 \quad (8)$$

在上述数学表达式中，当连续两年种植同一作物时即和的值均为 1 时，的结果也为 1，表达式不成立。因此只有连续两年种植不同作物时，上述表达式才成立。故该表达式可用于约束不重茬。

### 3.4 建立线性规划模型

结合目标函数和约束条件，分别建立两种情况的线性规划模型，数学表达式如下：

超过部分滞销，造成浪费

$$\max f_1 = \sum_{t=2024}^{2030} \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{107} \sum_{k=1}^2 x_{i,j,k}^t \times (sp_j \times \min(ay_j \times area_j, sv_j) - pc_j \times area_j) \quad (9)$$

$$st. \begin{cases} x_{i,j,1}^t = 1, \forall i \in (\text{平旱地、梯田、山坡地}) \\ x_{i,j,2}^t = 0, \forall i \in (\text{平旱地、梯田、山坡地}) \\ x_{i,j,1}^t = 1, \forall j = (\text{单季的水稻, 两季的蔬菜}), i = \text{水浇地} \\ x_{i,j,2}^t = 1, \forall j = \text{两季的蔬菜}, i = \text{水浇地} \\ x_{i,j,1}^t = 1, j = \text{蔬菜}, i = \text{普通大棚} \\ x_{i,j,2}^t = 1, j = \text{食用菌}, i = \text{普通大棚} \\ x_{i,j,k}^t = 1, j = \text{两季蔬菜}, i = \text{智慧大棚} \\ \sum_{t=T}^{T+2} \sum_{j \in \text{豆类作物}} x_{i,j,k}^t \geq 1, T = 2024, \dots, 2027 \\ \sum_{i=1}^{34} \sum_{k=1}^2 x_{i,j,k}^t \times area_j \geq \delta_{minj} \\ \sum_{t=2024}^{2030} x_{i,j,k}^t \times x_{i,j,k}^{t-1} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\max f_2 = \sum_{t=2024}^{2030} \sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^{107} \sum_{k=1}^2 x_{i,j,k}^t \times area_j \times [(sp_j \times \min(ay_j \times area_j, sv_j) + Q_j \times sp_j^{2023} \times 0.5) - pc_j] \quad (11)$$

约束条件见式 10 所示。

综上所述，基于模拟退火算法的种植策略建模流程见图 1 所示。

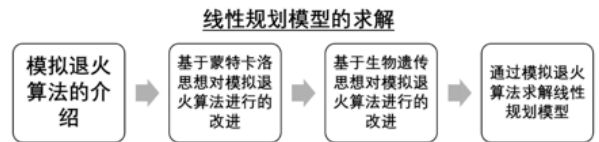


图 1 建模流程图

线性规划模型求解超过部分按 2023 年销售价格的 50% 降价出售

### 3.5 基于蒙特卡洛思想对模拟退火算法进行的改进

模拟退火算法<sup>[4]</sup>是一种以概率为基础的全局优化算法，它通过对固体退火过程进行模拟，增大搜索范围从而找到全局最优解。蒙特卡洛模拟<sup>[5]</sup>是一种随机模拟方法，它以概率和统计理论为基础，使用随机数（或伪随机数）来解决问题。本文采用蒙特卡洛模拟思想对模拟退火算法进行改进，蒙特卡洛思想的流程图为（图 2）：

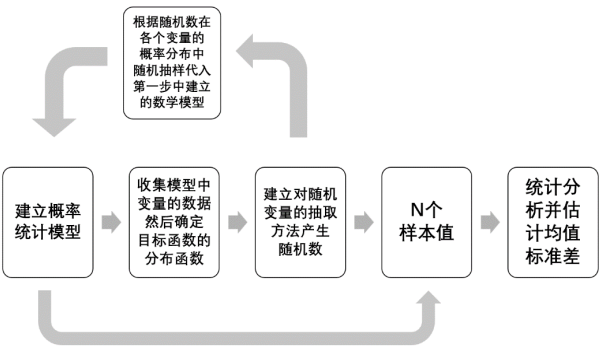


图 2 蒙特卡洛思想的流程图

3.6 基于生物遗传思想对模拟退火算法进行的改进

在模拟退火的寻优过程中，为了找到最合适最优解，本文引入生物遗传中的生物变异思想，即在模拟退火算法确定种植作物 A 时，把作物 A 随机变异成符合条件的作物 B，

如果盈利得到增加，我们就把作物 A 换成作物 B，否则就保持不变，以此来寻找最优解。该模型不仅能提高搜索效率，而且可以产生多种最优解，从而找到最合适解<sup>[6-7]</sup>。

3.7 通过模拟退火模型求解线性规划模型

本文通过 Matlab 分别建立基于两种不同思想改进的模拟退火模型，进而对上述线性规划问题进行求解。模拟退火初始温度为 1000℃，最大迭代次数 500，温度衰减系数 0.95。将相关数据代入上述两种模拟退火模型，比较两种模型得到的结果，从而得到该乡村在两种情况下 2024 年至 2030 年作物的最优种植策略。由于本文篇幅有限，只展示第二种情况（式 11）各年最大盈利的结果，如表 1 所示。

以 2024 年第一种情况和第二种情况的求解结果为例，得到第一种情况的最大盈利为 20619637 元，第二种情况的最大盈利为 315436392 元，它们的求解迭代图如图 3 和图 4 所示。

表 1 第二种情况下的各年最大盈利（元）的结果

2024 年	2025 年	2026 年	2027 年	2028 年	2029 年	2030 年
315436392	282035756	233440454	288899963	282972007	296129182	237239408

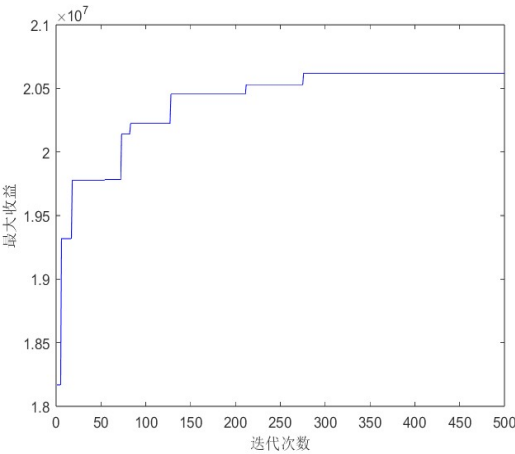


图 3 2024 年第一种情况的求解结果迭代图

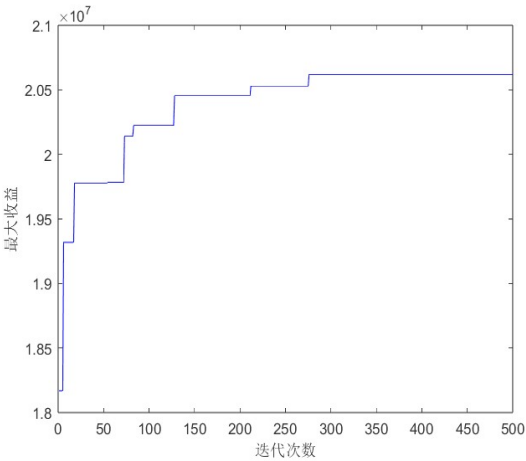


图 4 2024 年第二种情况的求解结果迭代图

4 结语

本文所使用的模拟退火算法拥有较强的搜索能力，能够帮助我们准确地找出全局最优的种植决策。本文模型不用繁琐的数学推导与结果计算，这有利于我们的理解与应用。但是，本文所使用的模拟退火算法的收敛速度较慢，进而导致找出全局最优解所需的时间比较长。

参考文献

[1] 郑明立.河南省白灵菇栽培现状与发展前景[J].河南农业,2007,(12):15+17.  
[2] 陆静雯.我国羊肚菌产业发展的机遇与挑战[J].蔬菜,2018,(05):

61-67.

[3] 朱柳蓉,王钰,黄筱珂.奋力耕耘正当时[N].中国县域经济报,2024-01-18(007).  
[4] 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.  
[5] 朱陆陆.蒙特卡洛方法及应用[D].华中师范大学,2014.  
[6] 姜德重.新玉米上市季小麦替代影响几何[N].粮油市场报,2021-09-09(003).  
[7] 董楠.不同作物组合间作优势和时空稳定性的生态机制[D].中国农业大学,2017.