

华北山区农作物种植业结构调整研究

兰琪儿, 李裕梅

北京工商大学数学与统计学院, 北京

收稿日期: 2025年2月1日; 录用日期: 2025年3月28日; 发布日期: 2025年4月7日

摘要

目的: 梳理华北山区农作物种植结构的时空特征, 发现归纳种植结构演变规律, 以最大化乡村的经济收益为目标, 探索不同作物在各类型地块上的最优种植面积分配。据此提出优化农作物种植结构的相关策略, 以期为该区农业结构布局优化提供参考。方法: 基于2000~2023年华北山区某村庄多种作物播种面积及种植耕地类型, 对多年乡村农作物的种植数据进行整理与归纳。综合运用描述统计、模拟退火优化等方法, 总结种植结构时空演变, 探索最优作物面积分配。结果: 1) 平旱地、山坡地、梯田主要种植小麦、玉米、谷子和黄豆, 小麦占比最大, 超过20%, 其余作物占比较少。2) 水浇地约31%种水稻, 第一季主种西红柿、豇豆, 第二季主种大白菜、白萝卜。3) 普通大棚第一季主种小青菜、西红柿, 小青菜占比超30%, 第二季主种羊肚菌, 占比43.75%, 其余蔬菜占比较少。4) 智慧大棚第一、二季种植蔬菜作物以油麦菜为主。结论: 华北山区农作物种植受销量、利润、土地类型、成本影响。种植结构显著影响农业发展, 需合理调整以提升生产力和农民收入。

关键词

华北山区, 农作物优化种植, 模拟退火优化算法, 种植收益

Research on the Adjustment of Crop Planting Structure in the Mountainous Regions of North China

Qier Lan, Yumei Li

School of Mathematics and Statistics, Beijing Technology and Business University, Beijing

Received: Feb. 1st, 2025; accepted: Mar. 28th, 2025; published: Apr. 7th, 2025

Abstract

Objective: This study aims to systematically analyze the spatiotemporal characteristics of crop

planting structure in the mountainous regions of North China, identify and summarize the evolution patterns of planting structure, and to explore the optimal allocation of crop planting areas on various types of land plots with the goal of maximizing rural economic benefits. Based on this, relevant strategies for optimizing crop planting structure are proposed, in order to provide reference for the optimization of agricultural structure layout in the region. Methods: Based on the planting area and cultivated land types of various crops in a village in Huabei Mountain District from 2000 to 2023, the planting data of rural crops for many years were sorted and summarized. By comprehensively utilizing descriptive statistics, simulated annealing optimization, and other methods, summarize the spatiotemporal evolution of planting structure and explore the optimal allocation of crop area. Results: 1) Flat dry land, hillside land, and terraced fields are mainly planted with wheat, corn, millet, and soybeans, with wheat accounting for the largest proportion, exceeding 20%, and other crops accounting for a relatively small proportion. 2) About 31% of irrigated land is planted with rice, with tomatoes and cowpeas being the main crops in the first season, and Chinese cabbage and white radish being the main crops in the second season. 3) In the first season of ordinary greenhouses, the main crops are small green vegetables and tomatoes, with small vegetables accounting for over 30% of the total. In the second season, the main crops are morel mushrooms, accounting for 43.75%, while the remaining vegetables account for a relatively small proportion. 4) The first and second seasons of planting vegetables in the smart greenhouse are mainly oilseed rape. Conclusion: Crop cultivation in the mountainous regions of North China is influenced by sales volume, profit, land type, and cost. The planting structure significantly affects agricultural development and needs to be adjusted reasonably to enhance productivity and farmers' income.

Keywords

Mountainous Regions of North China, Optimizing Crop Cultivation, Simulated Annealing Optimization Algorithm, Planting Income

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

作物种植结构是由经济、社会、生态多个子系统组成的复合系统[1]。近年来,各地区的种植结构不断向多元化方向发展,相比于只追求单目标的片面性,种植结构多目标优化模型受到了国内外学者越来越多的关注[2],以多目标优化模型的种植结构研究逐渐展开。如陈守煜等[3]以经济效益、社会效益和生态效益为目标,运用多目标的模糊优化模型对农作物的种植结构进行调整,得出综合效益系数并将此系数作为权重进行计算研究。Wu 等[4]以经济效益、节水效益和产量效益为目标,基于博弈算法求解最优种植结构。王禹植等[5]通过模糊优选理论建立基于鲁棒规划的多目标配置模型。张鹏飞等[6]在水-能-粮关联关系的基础上,构建多目标规划模型。周惠成等[7]运用 IFMLP 算法、模糊数学及耗散结构理论,对农作物种植结构进行调整并采用相对有序度熵模型对优化调整的方案合理性进行评价,基于作物种植效益最终选出最优方案。农业种植业优化模型算法是在统筹兼顾社会、生态、经济效益的基础上,以土地资源、农作物需水量、肥料、乡村劳动力资源、农业机械总动力等作为农业种植业规划的约束条件,以达到经济收益最大化的目标[8]。

在种植结构方面,以上学者进行了各类分析,但现有研究多聚焦国家或省级种植结构分析,在村庄层面的研究较少,尤其缺乏综合统计与模拟退火算法结合的方法。该算法能高效处理多变量、多约束的复杂模型,在种植面积优化中快速求得全局最优解,弥补传统线性规划的不足,同时适配本地环境与市

场需求,提升土地资源利用率及作物产量质量。作为我国重要的粮食与经济作物生产基地,华北山区作物种植结构布局对于保障粮食和重要农产品稳定安全供给具有重要作用[9]。本文的研究是在收集整理华北山区某村庄 2000~2023 年各地势作物播种面积基础上,进行变量定义,引入目标函数,以最大化乡村的经济收益为目标,探索不同作物在各类型地块上的最优种植面积分配。同时设置限制条件引入模拟退火优化算法并进行 Python 实现,最后得出最大利润方案。据此提出优化农作物种植结构的相关策略,以期为该区农业结构布局优化提供参考。

2. 研究区域与数据来源

2.1. 研究区域概况

华北山区位于中国北部,是一个涵盖多个省份部分区域的地理单元。其位于温带至暖温带,东经 107°至 123°北纬 35°至 43°之间,包括山东丘陵区、太行山区、冀北辽西山地区以及阴山山地区四部分。该地区夏季炎热多雨,为农作物的生长提供了必要的水分和热量条件。华北山区是我国小麦、玉米和杂粮的主要产区之一,农业生产力较高。经统计,华北山区总人口为 5629 万,总土地面积 3545 万公顷,天然草地总面积为 1588.91 万公顷,占土地总面积的 44.82%,人均草地 0.2823 公顷。山区内河流纵横交错,为当地的水资源和生态环境提供了重要支撑。综上所述,华北山区是一个地理位置优越、气候适宜、资源丰富且地形地貌独特的地理区域,在中国的农业发展中占据着重要地位。

本文以地处华北山区的一个乡村为例,该乡村具有特定的地理环境和耕地条件,包括不同类型的耕地(平旱地、梯田、山坡地和水浇地)以及不同规模的大棚(普通大棚和智慧大棚)。乡村现有露天耕地 1201 亩,分为 34 个地块,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。根据耕地类型,不同的地块适合种植不同类型的农作物,并受到轮作制度、种植成本、预期销售量、销售价格等多种因素的影响。从 2023 年开始,该乡村还实施了新的种植规定,包括三年内每个地块至少种植一次豆类作物,以及避免作物在同一地块连续重茬种植。本文通过数学建模方法,根据乡村的具体情况和市场变化,制定出最优的农作物种植方案,以促进乡村经济的可持续发展。解决此问题需要综合考虑多种因素,包括耕地类型、作物生长规律、市场需求、价格变动等,并通过模拟退火来得出最佳策略。

2.2. 数据来源及预处理

该研究根据国家统计年鉴数据[10]收集整理了 2000~2023 年华北山区某个村庄小麦、水稻、玉米、谷子、高粱、豆类粮食、蔬菜、食用菌等多种作物在不同地块上的播种面积。根据全国农产品成本收益资料汇编[11]对多年乡村农作物的种植数据进行整理与归纳,包括各类农作物的亩产量、种植成本、销售价格、销售量等信息,结合不同类型地块的数量和占比,所有地块的面积分布,作物种植情况等数据进行如下预处理操作。

1) 首先提取 2000~2023 年各类耕地的面积和类型信息,以确保与农作物的种植条件匹配。对 23 年的数据进行加和均分得到各类耕地面积的平均值。根据乡村现有露天耕地 1201 亩这个信息,将上述各类耕地面积等比例分配,从而得到平旱地总亩数为 365,梯田的总亩数为 619,山坡地总亩数为 108,水浇地总亩数为 109。

2) 接着,从农作物种植数据中获取每种作物的种植要求、生产量、种植成本和销售单价等关键信息,对其中的异常数据进行处理,以确保数据符合实际情况。由于作物的销售单价不是确定的数值而是一段数值区间,从而计算销售价格的平均值以简化后续模型。

3) 随后,根据近几年的相关数据统计得到 2024 年各地块的具体种植情况,以提取到的 2024 年各地块的具体种植情况作为基准,确保符合作物种植的轮作约束,特别是满足豆类作物的种植要求。

4) 以提取到的 2024 年各地块的具体种植情况作为基准, 用各作物的销售单价乘亩产量与成本的比值作为衡量相对利润水平的指标, 从而得到单季粮食作物种植在不同的地形(旱地, 山坡地, 梯田)上的利润大小。

5) 以提取到的 2024 年各地块的具体种植情况作为基准, 根据蔬菜的种植条件, 仍然以销售单价乘亩产量与成本的比值表示相对利润比, 得到蔬菜种植在普通大棚, 智慧大棚和水浇地三种不同地块类型的利润大小。

这些预处理步骤为构建最优种植方案提供了可靠的数据基础。

3. 数据可视化分析

为了更好地理解数据, 并为模型建立提供直观的支持, 采用以下的可视化分析。

1) 地块类型分布分析

使用饼图显示不同类型地块和不同规模大棚的数量和占比。通过颜色区分各类型地块, 以直观展示不同地块的分布情况。

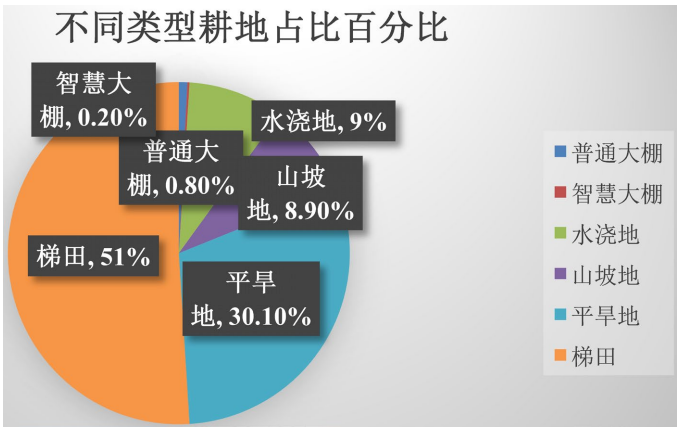


Figure 1. Pie chart of parcel types
图 1. 地块类型饼图

在图 1 的各类地块中, 梯田占据了总体面积的最大比例, 达到了 0.51。这表明该区域的地形和土地利用方式中, 梯田作为一种重要的农业用地类型, 被广泛应用于水土保持和农业生产中, 显示出较高的土地利用效率和适应性。平旱地是第二大类型地块, 其占比约为 0.3。平旱地通常具有较好的土壤条件和灌溉便利性, 是农作物生长的理想环境之一。山坡地的占比相对较低, 仅为 0.089。这可能是由于山坡地形复杂, 耕作难度大, 且存在水土流失等生态风险, 因此在土地利用规划中受到一定的限制。水浇地和普通大棚占比分别为 0.09 和 0.008。水浇地通过灌溉系统提高土壤水分含量, 从而满足作物生长需求, 是干旱和半干旱地区重要的农业用地类型。而普通大棚则通过人为控制环境条件, 如温度、湿度和光照等, 为作物提供适宜的生长环境, 提高产量和品质。这两种地块类型在农业生产中各具特色, 共同促进了农业生产的多样化和高效化。值得注意的是, 智慧大棚作为现代农业发展的新兴产物, 其占比虽然仅为 0.002, 但代表着未来农业发展的方向。智慧大棚通过集成互联网、大数据、人工智能等先进技术, 实现农业生产的精准化、智能化和高效化, 为农业生产带来革命性的变革。

2) 作物种植情况分析

把不同地块类型相对应的作物种植情况和乡村具体种植规定做成思维导图的形式, 以直观反映各地块的作物组合情况。

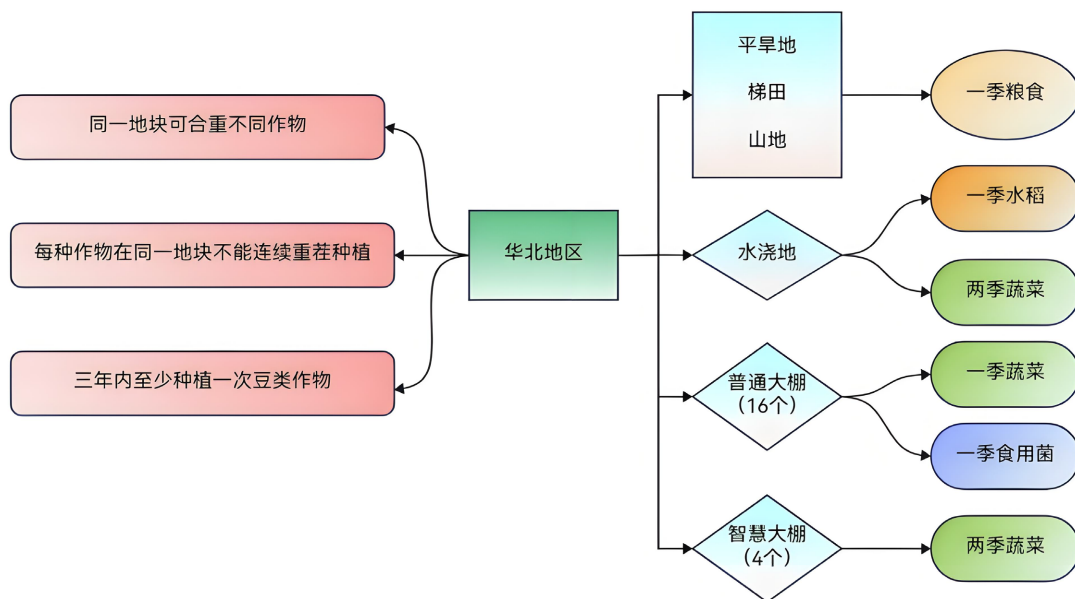


Figure 2. Crop cultivation mind map
图 2. 作物种植情况思维导图

图 2 的思维导图清晰明确地反映了各地块的作物组合情况,从而得知:平旱地,梯田,山坡地只能种植一季粮食,水浇地可以种植一季水稻或两季蔬菜,16 个普通大棚中可以种植一季蔬菜和一季食用菌,四个智慧大棚只能种植两季蔬菜。不同的土地类型独特的土壤质地、pH 值和营养元素含量等特性,决定了它们各自适宜栽培的作物种类。此外图 2 还反映了作物种植规定,依照这些规定和土地类型的特性,在农业生产中选择适宜的作物进行种植,以充分发挥土地的潜力提高农业生产效益。

3) 不同地块单季利润比对比图分析

依据上文预处理所得的各作物销售单价乘亩产量与成本比值的数据,绘制不同地块单季粮食利润比对比图,用折线图的形式直观地反映出不同单季粮食作物种植在平旱地,山坡地,梯田上的利润大小。

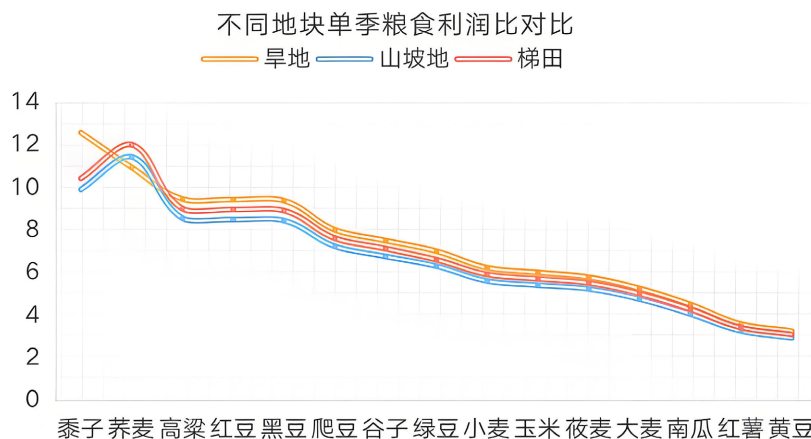


Figure 3. Single-season food profit ratio in different plots
图 3. 不同地块单季粮食利润比情况

根据图 3 可以发现,总体来说,旱地相对利润值高于梯田和山坡地,而荞麦在梯田和山坡地的收益表现情况优于旱地。大多数单季粮食作物更适合在旱地种植,因为它们的耐旱性较强;而荞麦则适合在

山坡地或梯田种植, 因为它能够充分利用这些地块的特定环境。以销售总和与成本的比值作为衡量相对利润水平, 华北山区不同类型的地块对同一种作物的利润水平存在差异。这与地块的土壤质量、水分条件、地形特征以及农作物的适应性有关。

4) 不同地块蔬菜利润比对比图分析

根据上文预处理所得的各蔬菜销售单价乘亩产量与成本比值的数据, 绘制不同地块蔬菜利润比对比图, 用簇状柱状图的形式直观地反映出不同蔬菜种植在普通大棚, 智慧大棚和水浇地三种不同地块类型的利润对比。

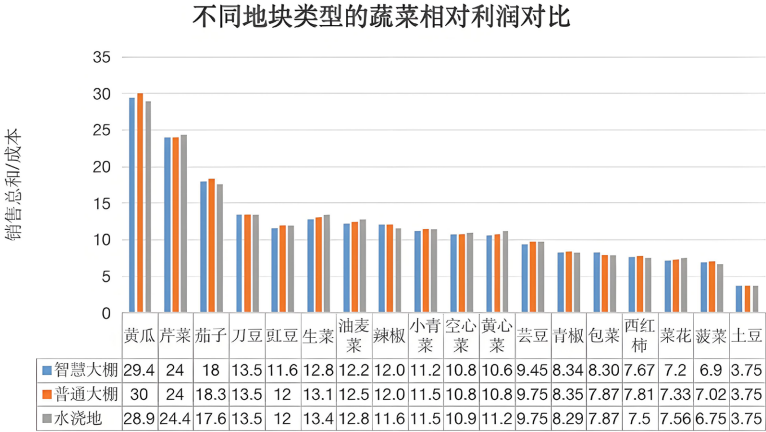


Figure 4. Vegetable profit ratio in different plots
图 4. 不同地块蔬菜利润比情况

根据图 4 同一作物三个邻接条形的高低展示每种蔬菜在不同地块相对利润的对比, 发现在智慧大棚、普通大棚和水浇地各植物利润相差不大, 没有特别的优势地块类型。

这些可视化方案能够帮助深入分析现有的数据, 识别不同地块作物的种植特点和经济表现, 为后续的优化建模提供清晰的依据和方向。

4. 研究方法

根据乡村现有的地块和作物信息, 制定 2025 年最优种植方案。在产量超过预期销售量的部分滞销这种情况下最大化乡村的农作物种植总收益。

首先进行如下假设:

- 1) 假设 2025 年农作物销售量、种植成本、亩产量等保持稳定。
- 2) 假设 2025 年期间, 乡村的气候条件保持稳定, 忽略极端天气对农作物的影响。
- 3) 假设 2025 年预期的销售量为 2024 年的实际产量。

4.1. 决策变量

根据地块、作物产量和价格、成本和收益以及作物销售情况对变量进行定义:

- 1) 地块变量: 记 A_i 表示第 i 个地块的面积(亩), $i = 1, 2, \dots, 34$ 。记 X_{ij} 为第 i 个地块种植第 j 种作物的面积(亩), $j = 1, 2, \dots, n$, 其中 n 是作物种类。
- 2) 产量和价格: 记 Y_j 为第 j 种作物的单位面积产量, P_j 为该作物的单位售价。
- 3) 成本和收益: 记 C_j 为种植第 j 种作物的单位面积成本。收益为作物销售量与售价的乘积, 超出销售量部分滞销处理。

4) 作物销售量的约束：设第 j 种作物的预期销售量为 S_j ，当种植量超过此值，超出部分滞销处理。

4.2. 约束条件

根据研究区域的种植规定，进行如下约束：

1) 作物适应性约束：不同地块只能种植适应性的作物。例如：梯田和山坡地只能种粮食类作物，水浇地可以种植水稻和蔬菜。

2) 不允许重茬种植。

3) 三年内必须种一次大豆：用二进制变量 B_{ij} 表示应季是否种植豆类植物

$$\sum_{i=1}^3 B_{ij} \geq 1, \forall i$$

4) 各个种植作物之间不能过于分散。

5) 面积约束：每个地块的作物种植不能超过总面积 $\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq A_i$ 。

4.3. 目标函数

为了得到 2025 年乡村农作物的最优种植方案，使得总利润最大，对利润目标进行定义。

首先作物的总产量为 $E_{ij} = X_{ij} * Y_j$ 。

当 $E_{ij} \leq S_j$ 时，所有产量均以正常价格出售；

当 $E_{ij} > S_j$ 时，超过部分无法出售。

$$\text{profit}_{ij} = \begin{cases} E_{ij} * P_j - X_{ij} * C_j, & \text{if } E_{ij} \leq S_j \\ S_j * P_j - X_{ij} * C_j, & \text{if } E_{ij} > S_j \end{cases}$$

整个种植方案的总利润为所有地块作物的利润之和，即 $\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^n \text{profit}_{ij}$ 。

4.4. 基于模拟退火方法的模型求解

4.4.1. 支撑数据

以提取到的 2024 年各地块的具体种植情况作为基准，依据上文可视化分析的不同地块单季利润对比图分析，得出大多数单季粮食种植在旱地利润最高，种植在山坡地利润最低，为了使最后结果更加稳定可靠选取利润中间值——种植在梯田上的利润来作为作物单位销售金额比成本的数据。同理依据上文可视化分析的蔬菜的三种植方案各利润相差不大这一结论，得出对于蔬菜种植而言，智慧大棚、普通大棚和水浇地三者没有特别的优势地块类型。所以取三者平均数来作为蔬菜作物单位销售金额比成本的数据。以此建立数学模型。

Table 1. Unit sales amounts to costs for different crops

表 1. 不同作物单位销售金额比成本表

作物名称	单位销售金额比成本	作物名称	单位销售金额比成本	作物名称	单位销售金额比成本
榆黄菇	95.83	红豆	8.96	小青菜	11.43
香菇	38	黑豆	8.9	黄心菜	10.88
黄瓜	29.47	包菜	8.32	空心菜	10.86
芹菜	24.15	青椒	8.03	黍子	10.42
白萝卜	20	西红柿	7.66	羊肚菌	10

续表

红萝卜	19.5	爬豆	7.62	芸豆	9.65
茄子	17.98	菜花	7.37	高粱	9
白灵菇	16	谷子	7.13	水稻	5.15
刀豆	13.5	菠菜	6.89	大麦	5
生菜	13.15	绿豆	6.63	南瓜	4.28
油麦菜	12.53	大白菜	6.25	土豆	3.75
荞麦	12	小麦	5.91	红薯	3.41
辣椒	11.91	玉米	5.7	黄豆	3.09
豇豆	11.88	莜麦	5.5		

根据上面表 1 分析不同作物单位销售金额比成本的数据, 得到平均数为 12.76, 这表明所有作物的平均销售收入是成本的 12.76 倍。中位数为 11.91 比平均数稍低, 说明数据中存在一些较高的值, 这些值拉高了平均数。Q1 约为 10.88, Q3 约为 13.5, 表明中间 50% 的数据集中在 10.88 到 13.5 之间。四分位差为 2.62, 说明中间 50% 的数据分布相对集中。极差为 92.74, 最高和最低单位销售金额比成本之间的差距非常大, 表明某些作物的盈利能力远高于其他作物。方差为 40.39, 说明数据的离散程度相对较高, 即不同作物的单位销售金额比成本差异较大。通过以上分析可以得出, 尽管某些作物(如榆黄菇)的单位销售金额比成本非常高, 但大多数作物的比值集中在 10 到 13 之间, 所以整体而言, 作物的盈利能力相对平均。

依据假设可知 2025 年的预期销售量为 2024 年的实际产量, 在上文预处理过程中已经得到 2024 年的各地块的具体种植情况, 统计 2024 年各作物在不同地块上的总种植面积, 可得各作物的实际产量, 从而可得 2025 年的预期销售量。

Table 2. Table of expected sales of different crops
表 2. 不同作物预期销售量表

作物名称	预期销售量/亩	作物名称	预期销售量/亩	作物名称	预期销售量/亩
小麦	222	红萝卜	12	红薯	18
谷子	185	豇豆	11.8	荞麦	15
黄豆	147	小青菜	10.9	土豆	15
玉米	135	茄子	6.9	西红柿	14.9
绿豆	96	羊肚菌	4.2	刀豆	13.2
红豆	60	榆黄菇	1.8	南瓜	13
高粱	50	香菇	1.8	辣椒	0.6
黑豆	46	白灵菇	1.8	芹菜	0.3
水稻	42	芸豆	1.8	黄心菜	0.3
莜麦	35	黄瓜	0.9	空心菜	0.3
大白菜	30	油麦菜	0.9	菠菜	0.3
白萝卜	25	包菜	0.9	大麦	20
黍子	25	青椒	0.9	生菜	0.6
爬豆	25	菜花	0.9		

根据上面表 2 分析不同作物预期销售量的数据, 得到平均数 31.56, 中位数为 13.0, 中位数远低于平均数, 说明数据中存在一些非常高的值, 这些值拉高了平均数。Q1 约为 10.9, Q3 约为 25.0, 表明中间 50% 的数据集中在 10.9 到 25.0 之间。四分位差为 14.1, 说明中间 50% 的数据分布相对分散。极差为 221.7, 表明不同作物的预期销售量差异极大。方差为 2147.23, 说明数据的离散程度非常高, 不同作物的预期销售量差异极大。通过以上分析可以得出, 作物的预期销售量差异极大, 从 0.3 到 222 不等。预期销售量的数据与作物的生长周期、种植条件、市场需求等因素有关。

4.4.2. 模拟退火算法及本文的模型求解过程

由于涉及多个地块、多种作物, 并且有复杂的约束条件和非线性目标函数, 使用模拟退火优化算法更为适合。

模拟退火算法是根据自然界中的固体物质退火原理而推出的算法。其包含两个部分即 Metropolis 算法和退火过程, 分别对应内循环和外循环。外循环就是退火过程, 按降温系数 α 使固体初始温度 $T(0)$ 按照一定的比例下降, 当达到终止温度 T_f 时, 冷却结束。Metropolis 算法是内循环, 即在每次温度下, 迭代 L 次, 寻找在该温度下能量的最小值(即最优解)。根据 Metropolis 准则, 粒子在温度 T 时趋于平衡的概率为 $\exp(-\Delta E/kT)$, 其中 E 为温度 T 时的内能, ΔE 为其内能的变化量, k 为 Boltzmann 常数。Metropolis 准则的表达式为:

$$P = \begin{cases} 1, & E(n+1) < E(n) \\ e^{-\frac{E(n+1)-E(n)}{T}}, & E(n+1) \geq E(n) \end{cases}$$

将 p 与随机数 α 进行比较, 若 $p < \alpha$, 即接受新解 $n+1$, 用于代替旧解 n , 否则舍弃新解。该过程在不断循环重复中产生新状态, 直至系统能量达到最低的平衡状态, 终止此过程。

操作步骤:

1) 使用 pandas 读取 Excel 文件中的作物数据, 包括作物编号、名称、单位销售金额比成本和销售数量/亩。接着定义地块信息, 包括地块名称和面积。定义每个地块上可种植的作物编号。设置模拟退火算法的参数, 如初始温度 $T_{\text{initial}} = 1000$ 、最小温度 $T_{\text{min}} = 1$ 、温度衰减因子 $\alpha = 0.95$ 和每个温度下的迭代次数 $\text{iterations_per_temp} = 100$ 。

2) 生成初始解: 调用函数生成一个初始解, 即所有地块上所有作物的种植面积为 0。

3) 设置当前解和温度: 将初始解设置为当前解, 将初始温度 $T_{\text{initial}} = 1000$ 设置为当前温度。

4) 迭代搜索: 当当前温度大于最小温度时, 进行迭代搜索。

生成邻居解: 定义 `neighbor_solution()` 函数生成当前解的一个邻居解。此函数随机选择一个地块和一个该地块上可种植的作物, 然后为该作物生成一个新的种植面积来生成邻居解。如果新的种植面积导致地块总面积超出限制, 则按比例缩放该地块上所有作物的种植面积。

计算利润差: 定义 `calculate_total_profit()` 函数计算当前解和邻居解的总利润 $\sum_{i=1}^{34} \sum_{j=1}^n \text{profit}_{ij}$, 并计算利

润差 delta_profit 。若 $\text{delta_profit} < 0$, 则接受邻居解, 否则根据 Metropolis 准则判断是否接受邻居解。

降低温度: 使用温度衰减因子降低当前温度。

5) 输出最优解: 在迭代搜索结束后, 输出具有最大总利润的解作为最优解。

4.4.3. 求解结果与分析

通过以上模拟退火模型求解过程, 得到如下几个求解结果。

1) 平旱地, 山坡地, 梯田三者总面积为 1092 亩, 其每年适宜单季种植粮食作物。基于模拟退火算法

优化求解, 可得最优农作物种植面积分配为黄豆种植 147 亩, 黑豆种植 46 亩, 红豆种植 60 亩, 绿豆种植 96 亩, 爬豆 25 亩, 小麦 222 亩, 玉米 135 亩, 谷子 185 亩, 高粱 50 亩, 黍子 25 亩, 荞麦 15 亩, 南瓜 13 亩, 红薯 18 亩, 莜麦 35 亩, 大麦 20 亩。从这个结果可以看出华北山区平旱地, 山坡地, 梯田上农作物种植以小麦, 玉米, 谷子, 黄豆为主。

2) 在水浇地单季种植水稻且第一季种植蔬菜作物的最优面积分配为: 豇豆 11.8 亩, 刀豆 13.2 亩, 土豆 8.7 亩, 西红柿 14.9 亩, 茄子 6.9 亩, 青椒 0.9 亩, 油麦菜 0.9 亩, 小青菜 10.9 亩, 黄瓜 0.9 亩, 水稻 33.9 亩等。第二季种植蔬菜作物的最优面积分配为: 大白菜 30 亩, 白萝卜 25 亩, 红萝卜 12 亩。从这个结果可以看出华北山区 30% 的水浇地种植水稻, 第一季种植蔬菜作物以西红柿, 豇豆为主, 第二季种植蔬菜作物以大白菜, 白萝卜为主。

3) 普通大棚第一季种植蔬菜作物的最优面积分配为: 豇豆 1.0 亩, 刀豆 1.1 亩, 芸豆 0.4 亩, 西红柿 2.3 亩, 茄子 1.0 亩, 小青菜 2.6 亩, 黄瓜 0.6 亩。第二季种植蔬菜作物的最优面积分配为: 榆黄菇 1.8 亩, 香菇 1.8 亩, 白灵菇 1.8 亩, 羊肚菌 4.2 亩。从这个结果可以看出华北山区普通大棚第一季种植蔬菜作物以小青菜, 西红柿为主, 其中小青菜种植比例最大, 占比可达 30% 以上。第二季种植蔬菜作物以羊肚菌为主, 占比 43.75%。

4) 智慧大棚第一、二季种植蔬菜作物的最优面积分配为: 豇豆 0.1 亩, 芸豆 0.6 亩, 西红柿 0.2 亩, 菠菜 0.1 亩, 青椒 0.3 亩, 包菜 0.2 亩, 油麦菜 0.5 亩, 小青菜 0.2 亩, 黄瓜 0.2 亩, 空心菜 0.1 亩。从这个结果可以看出华北山区智慧大棚第一、二季种植蔬菜作物以油麦菜为主。

4.5. 考虑不确定性的最优种植方案

由于各种农作物的销售量增长、亩产量波动、种植成本上升以及价格变动等因素均具有显著的随机性, 需构建一个稳健的种植策略, 该策略能在广泛的不确定性条件下保持较高的预期收益同时有效控制潜在风险。

4.5.1. 不确定性因素的引入

1) 不确定性建模:

销售量变化: 假设销售量在 +5% 波动, 小麦和玉米的销售量以 5%~10% 的年增长率变化。

亩产量波动: 每年由于气候等因素, 作物产量会在 ±10% 之间变化。

种植成本增长: 假设种植成本每年增长 5%。

价格变化: 粮食类作物的价格基本稳定, 而蔬菜价格每年增长 5% 左右, 食用菌价格每年下降 1%~5%。

2) 模型调整:

建立一个随机规划模型和模型退火算法, 通过模拟销售量、产量、成本和价格的不确定性, 进行多次分析, 求得不确定条件下的最优种植方案。具体来讲: 在引入不确定性因素(产量、价格、销售量和成本波动)的情况下, 最大化期望收益。

$$\text{Maximize } E[\text{Total Profit}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (E[P_{ij}] * E[Y_{ij}] * X_{ij} - E[C_{ij}] * X_{ij})$$

其中, $E[P_{ij}]$, $E[Y_{ij}]$, $E[C_{ij}]$ 分别是价格、产量和成本的期望值。

4.5.2. 模型求解

构建模拟退火优化算法和随机规划模型, 将不确定参数视为随机变量, 并设计以期望利润最大化为导向的优化框架。此方法能直观体现各参数概率分布对决策的影响。

假设小麦和玉米的年销售量以年增长率 g 波动, 其他作物销售量和产量在 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ 的范围内波动。每个随机变量由分布函数描述:

$$Y_{ij}(t) = Y_{ij}^{2023} \cdot (1 + \delta_j), \delta_j \sim \mu(-0.1, 0.1), \forall j$$

$$P_{ij}(t) = P_{ij}^{2023} \cdot (1 + \varepsilon_j), \varepsilon_j \sim \mu(-0.05, 0.05), \forall j$$

结果显示, 在不确定环境下, 合理配置小麦和玉米种植比例可提升长期收益, 其他作物则需根据市场价格变化动态调整种植策略。

5. 结论

本文提出了一种基于模拟退火算法并结合 Python 实现的农作物种植优化方法。该方法以乡村的经济收益最大化为优化目标, 基于 2000~2023 年华北山区某村庄农作物种植数据, 得到了较为理想的种植方案。主要研究结论如下:

1) 本文通过 Python 与模拟退火算法的结合, 调用自定义的农作物面积分配优化函数对多种种植方案进行参数化建模和计算, 将每次迭代得到的目标函数值输出到 Python 优化程序中进行评估和调整, 大大提高了农作物最优面积分配的计算效率, 同时避免了传统方法中随机选定分配方案进行对比而产生的局限性和盲目性。

2) 基于模拟退火算法优化农作物的面积分配, 平旱地、山坡地、梯田上农作物种植以小麦、玉米、谷子、黄豆为主, 其中小麦种植比例最大, 占比在 20% 以上。水浇地种植水稻面积约占其总面积的 31%, 第一季种植蔬菜作物以西红柿、豇豆为主, 第二季种植蔬菜作物以大白菜、白萝卜为主。普通大棚第一季种植蔬菜作物以小青菜、西红柿为主, 其中小青菜种植比例最大, 占比 30% 以上。第二季种植蔬菜作物以羊肚菌为主, 占比 43.75%。智慧大棚第一、二季种植蔬菜作物以油麦菜为主。

3) 优化结果表明, 采用模拟退火算法对农作物最优面积分配进行优化后, 不仅显著提高了土地の利用效率, 还均衡了各农作物的产量和经济效益。通过算法的不断迭代和调整, 实现了农作物种植面积的合理分配, 使得各种作物在有限的土地资源上能够获得更加均匀的生长条件, 减少了因面积分配不当而导致的资源浪费和产量波动。这一优化方案不仅提高了华北山区农业生产的稳定性和可持续性, 还为农民提供了更加科学、合理的种植决策依据。

参考文献

- [1] 方延旭, 杨培岭, 宋素兰, 等. 灌区生态系统健康二级模糊综合评价模型及其应用[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11): 199-205.
- [2] He, L., Du, Y., Wu, S. and Zhang, Z. (2021) Evaluation of the Agricultural Water Resource Carrying Capacity and Optimization of a Planting-Raising Structure. *Agricultural Water Management*, **243**, Article 106456. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106456>
- [3] 陈守煜, 马建琴, 张振伟. 作物种植结构多目标模糊优化模型与方法[J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(1): 12-15.
- [4] Wu, L., Tian, J., Liu, Y. and Jiang, Z. (2022) Multi-Objective Crop Planting Structure Optimization Based on Game Theory. *Water*, **14**, Article 2125. <https://doi.org/10.3390/w14132125>
- [5] 王禹植, 薛联青, 杨广, 等. 水资源三条红线约束下玛纳斯河灌区种植结构优化研究[J]. 水电能源科学, 2022, 40(1): 145-149.
- [6] 张鹏飞, 肖梦琳, 张兆瑞, 等. 基于水-能-粮关联关系的山西省农业种植结构优化调整[J]. 节水灌溉, 2023(1): 55-63+70.
- [7] 周惠成, 彭慧, 张弛, 等. 基于水资源合理利用的多目标农作物种植结构调整与评价[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 45-49.
- [8] 朱春江, 唐德善. 基于线性规划模型的农业种植业结构优化研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2623-2624.

- [9] 关浩杰, 司喜梅. 黄淮海平原粮食生产空间格局演化及其影响因素[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(8): 31-43.
- [10] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [11] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.