

基于线性规划模型的农作物种植策略研究

王琳¹, 郭雅鑫²

(1. 河南工学院 理学部, 河南 新乡 453003; 2. 河南工学院 车辆与交通工程学院, 河南 新乡 453003)

摘要: 对华北山区某乡村历年耕地与农产品种植数据进行了相关性分析和聚类分析。以收益最大化为目标函数, 以农作物的种植规律、经济效益以及种植面积等为约束条件建立线性规划模型, 并且利用 SPSS 的遗传算法, 结合各种农作物之间具有一定的可替代性与互补性, 其预期销量与销售价格、种植成本之间存在一定的相关性等多方面因素, 得出当地最佳的农作物种植策略。根据计算结果可以看出, 线性规划模型能够有效辅助农业生产者制定科学合理的种植策略, 在提升经济效益的同时, 兼顾生态效益与粮食供应稳定, 可为农业可持续发展提供量化决策依据。

关键词: 0-1 线性规划; 遗传算法; SPEARMAN 相关系数; CLR 变换

中图分类号: O221.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-7772-(2025)03-0027-04

0 引言

充分利用有限的耕地资源, 因地制宜发展有机种植产业, 对乡村经济的可持续发展具有重要意义。关于种植策略的研究已有不少, 文献[1]提出采取轮作体系、农作物间隔等方式, 合理优化汾渭平原的农作物种植结构, 以有效提升土地利用率和经济效益。文献[2]研究了黑龙江平原地区的农作物种植, 提出以经济效益、节水效益、生态效益为目标, 采用多目标优化模型, 为当地的生态环境及经济的可持续发展提供了最优种植策略。然而实际生产中, 很多地区不都是平原这样适合农作物种植的地形。比如华北某些山区地形比较复杂, 有平旱地、梯田等多种耕地类型, 并且由于常年低温, 大多耕地每年仅能种一季农作物。本研究基于华北山区某乡村历年耕地与农作物种植情况, 以农作物的最大收益为目标函数, 以农作物的种植规律、经济效益以及种植面积等为约束条件, 建立了收益最大化的线性规划模型, 并利用遗传算法等计算方法求出最优的种植策略。根据以上算法的结果, 调整后的种植结构更适用于当地的特殊地形, 从而能够获得比原有种植结构更好的经济效益。

1 数据预处理

1.1 数据来源

本研究数据来源于 2024 年高教社杯全国大学生数学建模竞赛 C 题。

1.2 CLR 变换

中心对数比 (Centered Log-ratio, CLR) 变换是一种常用于组成数据分析的数据预处理方法, 通过将成分数据转换为对比数, 使数据更适用于传统统计分析和各类模型的计算输入, 有助于在统计分析中更有效地处理目标数据。使用 CLR 变换对各农产品的销售量、销售单价、种植成本的数值进行转换, 提高数据的实用性, 以方便后续进行相关性、互补性分析等处理^[3]。公式如下:

$$CLR(x_i) = \ln\left(\frac{x_i}{g}\right) \quad (1)$$

其中 x_i 为各项成分数据, g 是所有成分的几何平均值。

2 相关性分析

已知销售单价、种植成本与亩产量存在一定相关

收稿日期: 2025-01-07

第一作者简介: 王琳 (1979—), 女, 河南新乡人, 副教授, 硕士, 主要从事计算数学有限元研究。

性。我们利用 SPSS 进行 SPEARMAN 相关性分析^[4]，结果如图 1 所示。从图 1 中可以清晰地看出种植成本

与亩产量之间存在强正相关，销售单价与亩产量、种植成本同样存在正相关。

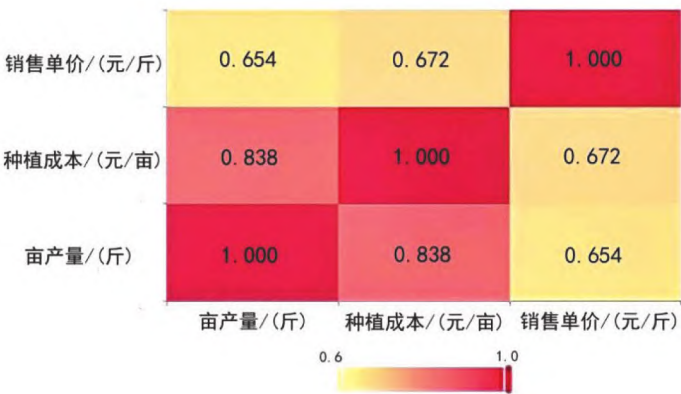


图 1 销售单价、亩产量、种植成本的相关性分析

3 系统聚类

由于某些农作物种植具有替代性，从种植经济效益考虑，依据销售量、售价、成本，利用系统聚类法将农作物进行分类，同一类别中的农作物具有可替换

性。因此在同一类的农作物中，可以增加经济效益高的农作物的种植面积，同时减少经济效益较差农作物的种植面积。利用 SPSS 对农作物进行聚类分析^[5]，结果如表 1 所示。

表 1 农作物分类

第一类		第二类		第三类		第四类	
黄豆	黑豆	红薯	西红柿	菠菜	生菜	爬豆	芸豆
小麦	红豆	水稻	茄子	青椒	辣椒	黍子	黄瓜
玉米	绿豆	豇豆	小青菜	菜花	空心菜	荞麦	榆黄菇
谷子	高粱	刀豆	白萝卜	包菜	黄心菜	莜麦	香菇
	南瓜	土豆	红萝卜	油麦菜	芹菜	大麦	羊肚菌
			白灵菇				

由于每种农作物的销售单价、销售量、成本等经济指标具有显著差异，我们期望借助恰当的关联系数，对其进行精准评价。关联系数对农作物的种植面积具有决定性作用。对于关联系数为正的农作物而言，在其他条件相对稳定的情况下，适度提升其种植面积占比，能够促进农作物的优化配置，从而在一定程度上提高农业经济效益。反之，对于关联系数为负的农作物，降低其种植规模，可减少资源的无效投入，规避因过度种植导致的收益下滑。

关联系数的计算步骤如下：首先利用 SPSS 对 4 个类别中的农作物分别进行因子分析，得到综合评分相同效果的成分矩阵，再将得到的成分进一步处理后，得到每种农作物的评价指标。接着将农作物的三项评价指标转换为评价系数，然后利用 SPSS 进行相关因子分析，得到该种农作物的总和评价系数。最后将得

到的总和评价系数进行归一化处理，使其在 [-1,1] 之间分布，这就得到了各农作物的关联系数，如表 2 所示。

4 建立农作物种植策略规划模型

该乡村有露天耕地 1201 亩、16 个普通大棚和 4 个智慧大棚，其中耕地又分为平旱地、梯田、山坡地和水浇地 4 种类型。由于常年低温，大多耕地每年仅能种一季农作物。根据当地条件，我们使用 0-1 线性规划模型^[6]，分别给出最优的农作物种植方案。

4.1 确定决策变量

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{地块} j \text{ 在第} k \text{ 季种植农作物} i \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (2)$$

其中， i 为农作物种类 (编号)， $i \in (1, 41)$ ； j 为地块编号， $j \in (1, 54)$ ； k 为种植季度， $k \in (1, 2)$ 。

表 2 农作物种植关联系数

编号	名称	关联系数	编号	名称	关联系数	编号	名称	关联系数
1	黄豆	-1	15	大麦	0.35	29	黄瓜	-1
2	黑豆	0.69	16	水稻	0.99	30	生菜	0.81
3	红豆	0.86	17	豇豆	0.19	31	辣椒	0.77
4	绿豆	0.59	18	刀豆	-0.6	32	空心菜	0.95
5	爬豆	1	19	芸豆	-0.02	33	黄心菜	1
6	小麦	1	20	土豆	0.48	34	芹菜	-1
7	玉米	0.4	21	西红柿	0.41	35	大白菜	-1
8	谷子	-1	22	茄子	-0.69	36	白萝卜	-0.63
9	高粱	0.16	23	菠菜	-0.64	37	红萝卜	-1
10	黍子	0.56	24	青椒	0.33	38	榆黄菇	0.16
11	荞麦	0.4	25	菜花	-0.6	39	香菇	-0.28
12	南瓜	-0.17	26	包菜	0.2	40	白灵菇	1
13	红薯	0.39	27	油麦菜	0.02	41	羊肚菌	0.75
14	莜麦	0.73	28	小青菜	-0.23			

4.2 约束条件

(1) 不能重茬种植, 即同一块地不能连续两年种植同一种农作物, 则同种农作物连续两年的决策变量之和最多为 1。

$$x_{ijkt} + x_{ijk(t+1)} \leq 1 \quad (3)$$

(2) 每三年必须种一次豆类, 即一种豆类农作物三年的决策变量和至少为 1。

$$\sum_t x_{ijt} \geq 1, i \in (\text{豆类}) \quad (4)$$

(3) 种植面积不能太小, 按照我们对各类型地块的分析, 设定某种农作物在某一地块的种植面积不得小于 0.3 亩。

$$S_{ijt} \geq 0.3, j = (1, 2, \dots, 54) \quad (5)$$

(4) 总种植面积不能超过现有耕地面积。

$$\sum_{i=1}^{41} \sum_{j=1}^{54} S_{ijk} \leq 1213 \quad (6)$$

(5) 平旱地、梯田、山坡地只能种一季农作物, 适合种植的农作物在这三种地块第二季的决策变量为 0, 即第二季不能种植。

$$\sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^{26} x_{ij,k=2} = 0 \quad (7)$$

(6) 水浇地可种一季水稻, 若种两季蔬菜第二季只能种植大白菜、红萝卜和白萝卜中的一种, 即种植水稻或种植蔬菜的决策变量和为 1。

$$\sum_{j=26}^{34} x_{i=16,j,k=1} + \left(\sum_{i=17}^{34} \sum_{j=26}^{34} x_{ij,k=1} + \sum_{i=35}^{37} \sum_{j=26}^{34} x_{ij,k=2} \right) / 2 \leq 1 \quad (8)$$

(7) 普通大棚第一季只能种植除大白菜、红萝卜和白萝卜以外的蔬菜, 第二季只能种植食用菌类。

$$\begin{cases} \sum_{i=17}^{34} \sum_{j=26}^{34} x_{ij,k=1} \leq 1 \\ \sum_{i=17}^{34} \sum_{j=38}^{41} x_{ij,k=2} \leq 1 \end{cases} \quad (9)$$

(8) 智慧大棚可以种植两季蔬菜, 且只能种植除大白菜、红萝卜和白萝卜以外的蔬菜。

$$\begin{cases} \sum_{i=17}^{34} \sum_{j=51}^{54} x_{ij,k=1} \leq 1 \\ \sum_{i=17}^{34} \sum_{j=51}^{54} x_{ij,k=2} \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

4.3 目标函数的构建

以收益最大化^[3]为目标函数, 建立线性规划的数学模型:

$$Z = \max \sum_{i=1}^{41} \sum_{j=1}^{54} x_{ij} (\min(M_{ijk}, S_{ijk} \cdot h_{ijk}) \cdot D_i - S_i \cdot c_i) \cdot (1 + R_i) \quad (11)$$

其中, S_i 为第 i 种农作物的种植面积, c_i 为第 i 种农作物的成本, D_i 为第 i 种农作物的销售单价, m_i 为第 i 种农作物的正常销售量, R_i 为第 i 种农作物关联系数。

5 结论

基于上述线性规划模型的建立, 根据华北某山村已知的数据, 在给定的各种约束条件下, 最终利用 SPSS 的遗传算法得到最优种植策略如表 3 所示。

从调整后的种植结构来看，以豆类种植为例进行分析：相较于上年黄豆 147 亩的种植面积，经调整策略实施后，其种植面积减少 49 亩；黑豆种植面积则从上年的 46 亩增加到 123 亩。通过对种植结构的优化

调整，该地区农业年总收益从上年的 508.29 万元跃升至 555.72 万元。由此可见，新的种植结构与当地复杂特殊的地形地貌实现了更优适配，获得了更大的经济效益。

表 3 农作物种植策略

作物名称	种植面积 / 亩	作物名称	种植面积 / 亩	作物名称	种植面积 / 亩
黄豆	98	大麦	23.4	黄瓜	0.6
黑豆	123	水稻	46	生菜	0.7
红豆	67	豇豆	12	辣椒	0.6
绿豆	107	刀豆	9.2	空心菜	0.3
爬豆	31	芸豆	1.7	黄心菜	0.3
小麦	243	土豆	16	芹菜	0.3
玉米	141	西红柿	15.2	大白菜	24
谷子	157	茄子	5.4	白萝卜	22
高粱	52	菠菜	0.3	红萝卜	8
黍子	28	青椒	0.9	榆黄菇	2.1
荞麦	17	菜花	0.6	香菇	1.2
南瓜	11	包菜	0.9	白灵菇	2.1
红薯	19.2	油麦菜	0.9	羊肚菌	4.4
莜麦	39	小青菜	9.4		

参考文献：

[1] 苗颖凤 . 汾渭平原农作物种植结构时空格局演变特征研究 [D]. 太原：山西财经大学，2024.

[2] 李闯，高莹，祝悦，等 . 基于多目标优化的黑龙江省农作物种植结构调整 [J]. 农业与技术，2022,42(24):1-6.

[3] 陈梅玲，俞瀚君 . 基于中心对数比变换的分布型符号数据时间序列建模研究 [J]. 统计与信息论坛：2024,39(6):3-14.

[4] 司守奎，孙兆亮 . 数学建模算法与应用 [M]. 北京：国防工业出版社，2015.

[5] 田兵 . 系统聚类法及其应用研究 [J]. 阴山学刊（自然科学版），2014,28(2):11-16.

[6] 刘尚一，吴涛 . 基于混合变量的 0-1 线性规划模型及应用 [J]. 科学技术创新，2023(1):92-95

Research on Crop Planting Strategies Based on Linear Programming Models

WANG Lin¹,GUO Yaxin²

(1.School of Science,Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003,China;
2.School of Automobile and Traffic Engineering,Henan Institute of Technology, Xinxiang 453003,China)

Abstract: Based on the cultivated land and agricultural product planting data of a village in the mountainous area of North China, correlation analysis and cluster analysis were carried out. The linear programming model was established by taking the maximization of income as the objective function and the factors such as the planting law, economic benefit and planting area of crops as the constraint conditions. Moreover, the genetic algorithm of SPSS was used to combine various factors such as certain substitutability and complementarity among various crops, and certain correlation between expected sales volume, sales price and planting cost. Derive the best local crop growing strategies. According to the calculation results, it can be seen that the linear programming model can effectively assist agricultural producers to formulate scientific and reasonable planting strategies, and take into account ecological benefits and stable food supply while improving economic benefits, providing quantitative decision-making basis for sustainable agricultural development.

Key words: 0-1 linear programming; genetic algorithm; SPEARMAN correlation coefficient; CLR transformation

(责任编辑 吕春红)