

基于多因素成本加成的商超定补策略问题的探究

王茂彬¹ 于相伟² 邢柏棋² 姚道洪^{3*}

1 青岛理工大学 机械与电子工程学院 2 青岛理工大学 管理工程学院 3 青岛理工大学, 基础部

DOI:10.12238/ej.v7i5.1569

[摘要] 本研究探讨了生鲜商超蔬菜商品的定价与补货策略, 构建了非线性模型和Apriori算法分析, 开发了多因素成本加成定价模型, 制定出基于时间序列等多因素的动态定价策略。通过对历年销售数据的分析, 确定了动态定价策略, 实证结果显示新策略相较于旧方法能提高30.4%的利润。尤其水生根茎类蔬菜的定价与销量关系稳定, 不受销售额波动影响。此研究提供的精细化蔬菜定补策略方案, 对供应链管理优化极具参考价值。

[关键词] 多因素成本加成定价模型; 销售量与定价非线性关系; 动态优化

中图分类号: F713.3 文献标识码: A

Exploring the Problem of Fixed Compensation Strategy for Commercial Supermarket Based on Multi factor Cost markup

Maobin Wang¹ Xiangwei Yu² Baiqi Xing² Daohong Yao^{3*}

1 Qingdao University of Technology, School of Mechanical and Electronic Engineering

2 Qingdao University of Technology, School of Management Engineering

3 Qingdao University of Technology, Department of Fundamentals

[Abstract] This study investigated the pricing and replenishment strategy of vegetable products in fresh food supermarkets, constructed a non-linear model and Apriori algorithm analysis, developed a multi-factor cost-plus pricing model, and formulated a multi-factor dynamic pricing strategy based on time series and other factors. The dynamic pricing strategy was determined by analysing the sales data of previous years, and the empirical results showed that the new strategy could increase the profit by 30.4% compared to the old method. In particular, the price-sales relationship of aquatic root vegetables was stable and not affected by sales fluctuations. This study provides a refined vegetable pricing strategy solution that is highly informative for optimising supply chain management.

[Key words] Multi-factor cost-plus pricing model; non-linear relationship between sales volume and pricing; dynamic optimisation

引言

本研究源自2023年全国大学生数学建模大赛关于生鲜商超蔬菜品类定价与补货策略的议题^[1]。鉴于生鲜零售业的快速发展及其在居民生活中的重要作用^[2], 考虑到生鲜商品易损性、保质期短以及受季节和消费习惯影响, 商家需要借助历史销售数据, 结合时节变化、市场需求和品类相关性, 采取精细化的营销策略^[3]。

本文聚焦于生鲜商超中蔬菜类商品的动态定补策略问题^[4], 通过深入探究不同蔬菜品类及单品之间的销量分布规律^[5], 利用统计学方法揭示了月度时间序列下的销售趋势及其内在逻辑, 并借助Apriori算法挖掘出单品间的购物篮关联规则^[6], 以优化商品陈列布局和促销活动设计。同时, 针对成本加成定价法的实际应用^[7], 通过构建多元非线性回归模型分析销量与定价关系,

提出了一种多目标规划模型, 旨在最大化商超收益的同时保证合理品类结构和货架利用。

通过Python处理销售数据, 成功预测出2023年7月1日至7日的最优定补策略, 预计将提高利润30.4%, 同时探讨了损耗率、顾客信息和外部环境等决策因素, 为供应链管理提供实用的数据和技术参考。

1 数据处理分析

1.1 剔除不符合实际销售的数据

在数据处理分析阶段, 对2020年至2023年的生鲜商超蔬菜销售数据进行了细致筛选和预处理。删除了退货单据及其销售记录, 确保分析基于有效真实的销售数据。同时, 剔除了异常价格数据, 如单品编码102900005115823中批发价与销售价差距过大的情况, 以避免不合理定价数据对销量趋势研究的影响。

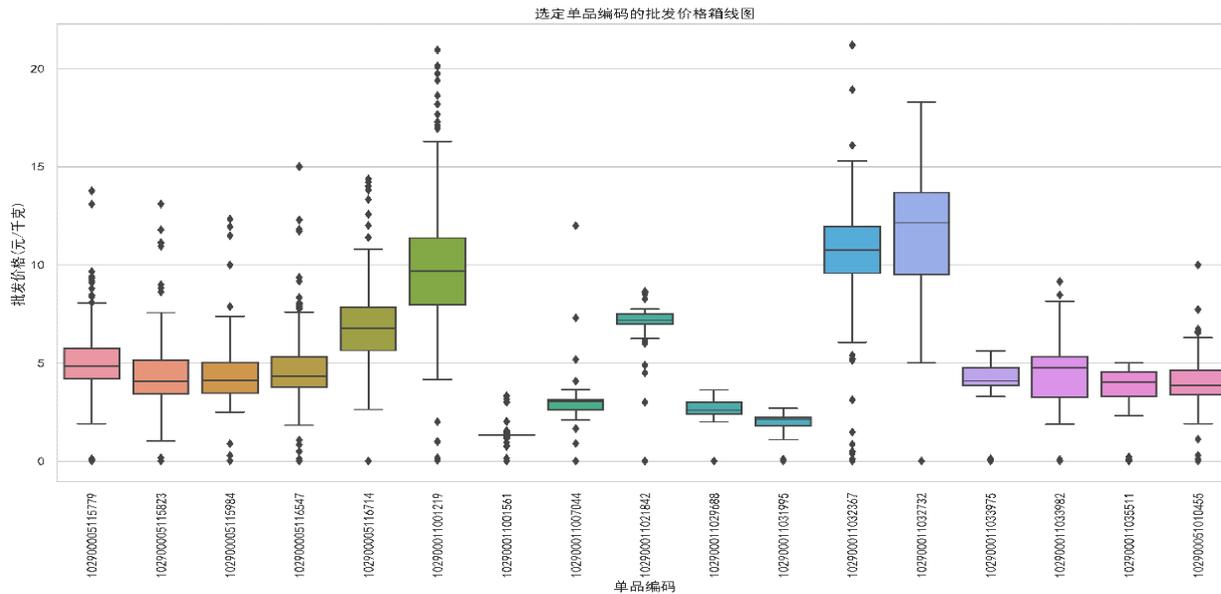


图1 价格箱线图

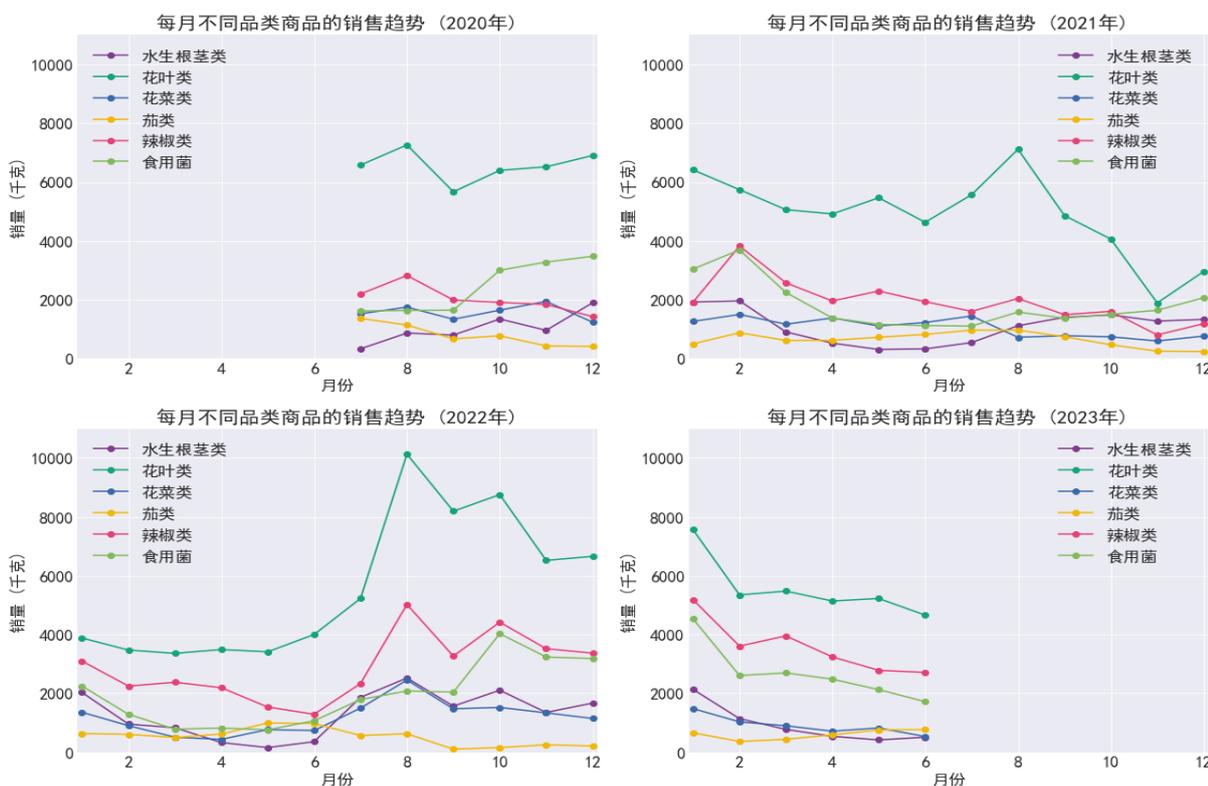


图2 品类销量折线图

以单品编码102900005115823为例:

表1 单品数据

日期	单品编码	销售单价(元/千克)	批发价格(元/千克)
2020-08-25	102900005115823	10.00	0.01
2022-08-27	102900005115823	10.00	0.02
2021-06-22	102900005115823	6.00	0.17

其单品在2020-08-25当天, 批发价格为0.01元/千克, 销售单价为10.00元/千克, 加价率达到999%远超出蔬菜类商品市场规定的30%-40%, 因此我们认为这一部分数据是不合理的, 在进行下面的分析时, 应剔除此类数据。

1.2 蔬菜销量趋势探究

该折线图清晰展示了各品类在四年间按月销售量的走势。花叶类蔬菜呈现明显的季节性规律, 每年8月销量达高峰; 辣椒

类蔬菜夏季销量显著增长,其他时间段销售相对稳定。这些结果揭示了不同蔬菜品类随时间变化的销售特点,为后续研究蔬菜商品定价与补货策略提供了数据支持^[8]。

2 多因素成本加成定价模型

2.1 优化目标函数确立

在未来一周内,为优化超市各蔬菜品类每日的补货量 $q_{t+1,i}^{supply}$ 和定价 $p_{t+1,i}^{sale}$,我们设定两个关键决策变量,目标是最大化整体利润收益。

设每品类的日折扣率为 ∂_i ,折扣量的百分率为 β_i ,折扣后价格: $\partial_i \cdot p_{t+1,i}^{sale}$ 。折扣的部分: $q_{t+1,i}^{supply}(1-R_i) \cdot \beta_i$ 。品类的补货货价为 $p_{t+1,i}^{supply}$ 。由此,利润收益最大目标函数表达式为:

$$\max \sum_{t=1}^7 \left[\sum_{i=1}^6 (p_{t+1,i}^{sale} \cdot p_{t+1,i}^{sale} (1-R_i) - p_{t+1,i}^{sale} \cdot \partial_i \cdot q_{t+1,i}^{supply} (1-R_i) \beta_i - \sum_{i=1}^6 p_{t+1,i}^{supply} \cdot q_{t+1,i}^{supply}) \right] \quad (1)$$

商超中蔬菜品类的相关性对于提升销售量和收益具有重要影响。通过使用皮尔逊相关系数将相关性转化为距离进行度量,可以评估蔬菜品类之间的相关性强弱,而不依赖于欧式距离。

$$D_{ij} = \sqrt{2(1-\rho(X_i, X_j))} \quad (2)$$

式中 D_{ij} 由第*i*个品类 X_i 与第*j*个品类 X_j 的欧氏距离

$\rho(X_i, X_j)$ 映射转化得到,以此作为层次聚类的距离定义。

使用品类相关系数来衡量蔬菜品类与其他品类之间的相关

性,并计算其平均值: $\rho_i^{support} = \frac{\sum_{j=1}^5 D_{ij}}{5}$,品类距离越小,

越可能形成最优的蔬菜销售组合,以蔬菜销售组合为目标函数,求解该目标函数最小化,表达式为:

$$\min \sum_{i=1}^6 [\rho_i^{support} \cdot q_{t+1,i}^{supply} (1-R_i)] \quad (3)$$

2.2 约束条件的确立

2.2.1 定价时间递推关系式

蔬菜品类的定价方法基于成本加成原理,并考虑了补货成本及成本利润率随时间变动的因素。最终的多因素成本加成定价公式如下:

$$p_{t,i}^{supply} = \frac{p_{t,i}^{sale}}{1 + a_{t,i} \cdot R_{t-1,i}^{profit} \cdot R_{t,i}^{supply} \cdot R_{t,i}^{sale}} \quad (4)$$

其中, $R_{t,i}^{supply}$ 为商超的当日供应量在当年供应水平的度量,

$R_{t,i}^{sale}$ 为商超的当日需求量在当年需求水平的度量, a 作为数值关系映射的调节因子,使供需因子调节后的成本利润率保持正常利润率值关系。这确保了定价决策充分考虑到了补货量受到上一天利润 $R_{t-1,i}^{profit}$ 、供给因子 $R_{t,i}^{supply}$ 、需求因子 $R_{t,i}^{sale}$ 三方面因素叠加多个维度的影响。

2.2.2 构建定价与补货量等式

通过多元非线性回归建立蔬菜品类定价与销售量之间的函数关系,将原本基于销售定价预测销售量的模型转变为根据定价确定销售量的模型,并结合定价与补货间的非线性公式,形成综合定价与补货策略的联动方程式:

$$\frac{1}{p_{t,i}^{sale}} = q_{t,i}^{supply} (1-R_i) (c_{2,i} p_{t,i}^{sale} + c_{1,i}) + c_{0,i} \quad (5)$$

2.2.3 品类折扣率约束

若蔬菜折扣率大于成本利润率,销售价格将低于成本,导致亏损,不符合盈利目标。品类折扣率约束公式如下:

$$0 \leq \alpha_{t,i} \leq r_{t,i} \quad (6)$$

2.2.4 品类打折百分率约束

依据销售明细数据中蔬菜品类是否打折,设品类打折百分率为 β_i ,表示第*i*个品类中蔬菜单品打折总数,公式为:

$$\beta_i = \frac{n_i^{discount}}{N_i^{all}} \quad (7)$$

其中, $n_i^{discount}$ 表示第*i*个品类所有打折蔬菜单品数,

N_i^{all} 表示第*i*个品类包含的单品个数。

2.2.5 补货量和定价的历史数据约束

参考历史蔬菜品类补货量,结合超市实际陈列空间,我们在确保满足顾客需求、保持适宜销售收益的前提下,设定补货量的变动幅度为上下浮动0.05。据此,可建立关于补货量与定价的约束公式:

$$\begin{aligned} 0.95 \cdot \min \{q_{t+1,i}^{sale}\} &\leq q_{t+1,i}^{sale} \leq 1.05 \cdot \max \{q_{t+1,i}^{sale}\} \\ 0.95 \cdot \min \{q_{t+1,i}^{supply}\} &\leq q_{t+1,i}^{supply} \leq 1.05 \cdot \max \{q_{t+1,i}^{supply}\} \end{aligned} \quad (8)$$

2.2.6 加价率规定约束

本文将考虑遵守中国市场监管规定,确保蔬菜类商品的加价率不超过40%的范围:

$$35\% \leq r_{t,i} \leq 40\% \tag{9}$$

2.2.7 汇总

综上, 构建商超收益最大化, 蔬菜品类组合策略最优化为目标函数, 以定价、成本利润时间递推, 定价、进价的等式关系, 折扣损失率范围等为约束条件, 构建多目标优化模型如下所示:

$$\begin{aligned} \max \sum_{t=1}^7 \left[\sum_{i=1}^6 (p_{t+1,i}^{sale} \cdot p_{t+1,i}^{sale} (1-R_t) - p_{t+1,i}^{sale} \cdot \partial_i \cdot q_{t+1,i}^{supply} (1-R_t) \beta_i - \sum_{i=1}^6 p_{t+1,i}^{supply} \cdot q_{t+1,i}^{supply}) \right] \\ \min \sum_{i=1}^6 [p_i^{support} \cdot q_i^{supply} (1-R_t)] \\ \left. \begin{aligned} p_{t,i}^{supply} &= \frac{p_{t,i}^{sale}}{1 + a_{t,i} \cdot R_{t-1,i}^{profit} \cdot R_{t,i}^{supply} \cdot R_{t,i}^{sale}} \\ \frac{1}{p_{t,i}^{sale}} &= q_{t,i}^{supply} (1-R_t) (c_{2,i} p_{t,i}^{sale} + c_{1,i}) + c_{0,i} \\ 0 &\leq \alpha_{t,i} \leq r_{t,i} \\ \beta_i &= \frac{n_i^{discount}}{N_i} \\ 0.95 \cdot \min \{q_{t,i}^{sale}\} &\leq q_{t,i}^{sale} \leq 1.05 \cdot \max \{q_{t,i}^{sale}\} \\ 0.95 \cdot \min \{q_{t,i}^{supply}\} &\leq q_{t,i}^{supply} \leq 1.05 \cdot \max \{q_{t,i}^{supply}\} \\ 35\% &\leq r_{t,i} \leq 40\% \end{aligned} \right\} s.t. \end{aligned}$$

3 模型合理性分析与讨论

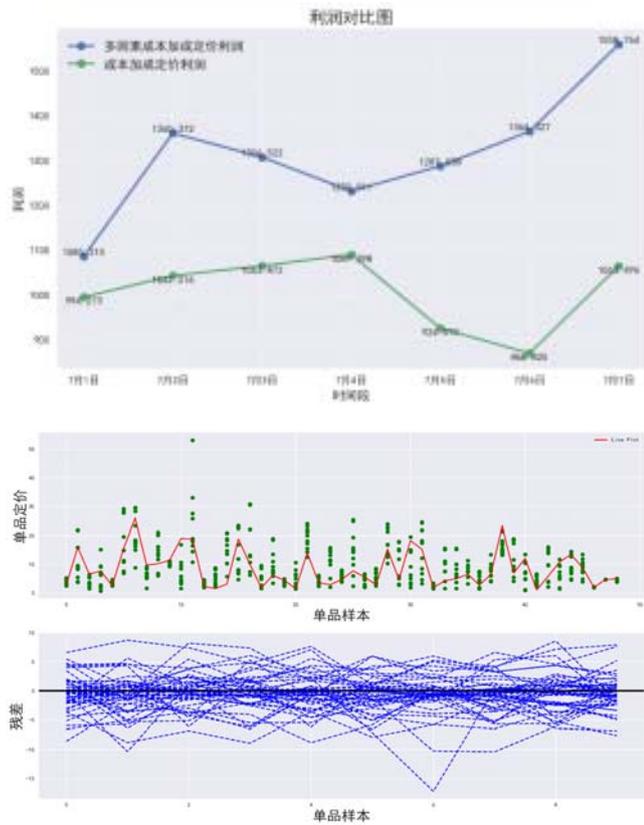


图3 利润对比图和灵敏度分析

研究发现, 多因素成本加成定价模型在未来七日内表现出更高的利润水平, 主要因其考虑了更多成本因素如蔬菜交互、折扣和市场需求, 制定更精确的价格策略。内部验证方法的应用进一步确保了结果的可靠性和稳定性。

多因素模型在复杂市场环境和变化中更具综合性和适应性, 特别在面对多元和不确定性因素时表现出色。传统模型虽简单且稳定, 但对外部波动的适应性较差。因此, 多因素成本加成定价模型在处理多变因素和不确定性市场时具有明显优势。

4 结语

本研究运用统计与数据挖掘技术, 深入研究了生鲜商超蔬菜商品定价补货策略, 发现其季节性特点并通过Apriori算法揭示商品组合规律。构建非线性回归模型, 解析销量与定价间的复杂联系, 并据此设计双目标优化模型, 实现了精准定价与补货, 有效提升了商超利润。

研究不仅解决了短期保质期内的市场需求预测及最佳定补策略问题, 还充分考虑了包括损耗率、客户偏好、季节性因素在内的多元化数据约束。未来有望结合机器学习强化预测准确度, 并将定价补货策略融入供应链管理体系, 以达到全面的成本控制与盈利最大化目标。本研究为生鲜商超提供了切实可行的定补策略解决方案, 对运营管理与营销策略优化具有重要指导价值。

【基金项目】

(1)2022年青岛理工大学临沂校区教学改革研究项目“大学数学课程体系中的“课程思政”建设与实践”(JM22-8)。(2)2022年青岛理工大学教学改革研究项目“面向新工科创新能力培养的“SPOC翻转课+移动学习”公共数学教学模式研究与实践”(F2022-012)。(3)2023年山东省大学生创新创业训练计划项目: “基于GPT-4的板栗智慧销售平台“栗栗在目”搭建与实践”(202310429173X)。

【参考文献】

[1]全国大学生数学建模组委会.2023“高教社杯”全国大学生数学建模竞赛赛题[EB/OL].[2022-09-7].
 [2]褚洋洋.DYYZ超市营销策略优化研究[D].山东理工大学,2020.
 [3]周上,黄章树.基于数据挖掘技术的超市商品定价研究[J].科技和产业,2013,13(2):62-64,99.
 [4]汪晓彤.基于DIT的连锁超市生鲜果蔬产品库存控制策略研究[D].东南大学,2020.
 [5]周梦.大型零售超市商品捆绑销售定价策略研究[D].中国矿业大学,2019.
 [6]万珍奇,杨佳贤,李雪婷,等.基于关联规则的超市购物个性化推荐研究[J/OL].河南科技,2023,42(13):32-35.
 [7]韩俊华,干胜道.成本加成定价法评介[J].财会月刊,2012,(22):74-75.
 [8]高霞.X生鲜连锁超市辽宁省营销策略研究[D].大连理工大学,2022.

*通讯作者:

姚道洪(1976--),男,汉族,山东临沂人,硕士,副教授,研究方向: 数学建模及其应用。