

彭建华, 高贵兵. 社区团购易耗农产品库存决策及协调策略[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2023, 38(4): 51-58. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.04.007

PENG J H, GAO G B. On Inventory Decision and Coordination Strategy of Easily Consumable Agricultural Products in Community Group Buying[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2023, 38(4): 51-58. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2023.04.007

社区团购易耗农产品库存决策及协调策略

彭建华*, 高贵兵

(湖南科技大学 机电工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 为解决易耗农产品在社区团购中的库存与协调决策问题, 分析易耗农产品的社区团购模式及其库存特点, 研究易耗农产品在社区团购中的库存决策问题, 建立基于订货批量和再订购点的库存总成本模型. 首先, 分析订货提前期的影响, 计算订货周期长度, 改进存储模型并建立库存总成本模型; 其次, 针对模型特点, 改进梯度下降算法, 求解该成本模型的极值解, 并通过线性回归法对模型参数进行灵敏度分析; 最后, 以某农产品为例进行参数敏感性分析. 结果表明: 产品高需求率对库存总成本的影响较明显, 成本利用率随着产品日均需求率的增加而提高.

关键词: 农产品; 供应链; 库存成本; 决策

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2023)04-0051-08

On Inventory Decision and Coordination Strategy of Easily Consumable Agricultural Products in Community Group Buying

PENG Jianhua, GAO Guibing

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: The inventory and coordination decision-making of consumable agricultural products in community group buying (CGB) is faced with huge challenges. Based on the analysis of CGB mode and its inventory characteristics, the inventory decision-making problem of consumable agricultural products in the supply chain is studied in this paper, and a total inventory cost model based on order batch and reorder point is established. Firstly, the influence of order lead time is analyzed, the length of order cycle is calculated, the (s, S) storage model is improved, and a total inventory cost model is established. Secondly, according to the characteristics of the model, an improved gradient descent algorithm is used to solve the extreme value solution of the cost model, which the iterative step size is nonlinearly related to the gradient, and the sensitivity of the model parameters is analyzed by the linear regression method. Finally, taking a certain agricultural product as an example, through parameter sensitivity analysis, it is found that the impact of high product demand rate on the total cost of inventory is obvious, and the cost utilization rate increases with the increase of the average daily demand rate of the product.

Keywords: agricultural products; supply chain; inventory cost; decision

收稿日期: 2022-07-01

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2023JJ60145)

* 通信作者, E-mail: 371426364@qq.com

我国规模巨大的农产品市场尚未孕育出现代化的供应链体系,其生产、运储、销售各环节管理粗放,每年的损耗高达3 000亿,造成资源的巨大浪费.要解决农产品的浪费问题,首要解决的就是供应链的管理问题.易耗农产品的利润率低、物流成本敏感、保质期有限、运输损耗大、季节性显著和存储要求高,这些都是供应链管理的难题.由于社区团购的兴起和消费者的热烈响应,建立集约化、高效率的农产品供应链势在必行.

我国农产品供应链是以批发市场为核心的低效率断裂链或局部短链,培育核心企业替代批发市场是解决问题的关键点,核心企业在整合优化供应链方面的优势明显^[1].推进我国农产品供应链发展的当务之急是进行农产品供应链整合^[2],物流和电子商务之间能否协同发展关系到整个农产品供应链的平稳运行^[3],"互联网+"则可为农产品供应链提供协作平台和便捷的信息流^[4]."互联网+"模式下的供应链生命力强,发展潜力大,是农产品销售的良好平台^[5].农产品供应链要达到集约化、信息化和网络化的目标,破除供应链各级之间的博弈困局,达到整体最优才是发展的出路^[6].

供应链的库存管理水平会影响库存成本、运输成本以及物流折损.基于库存理论和农产品易腐、易损和易耗的特点,QIN等^[7]分析生鲜农产品供应链的运输损耗问题;孙文清^[8]认为三级农产品供应链中存在明显的牛鞭效应;陈炜等^[9]基于系统动力学分析香蕉四级供应链中牛鞭效应的影响;牟进进等^[10]分析在允许缺货的情况下,生鲜农产品供应链的库存损耗随时间和库存量变化的问题,提出由批发商协同集中订货的策略.针对易耗农产品的库存问题,张名扬等^[11]考虑延期支付、多渠道定价和非瞬时变质等复杂因素,建立库存决策模型与策略;FANG等^[12]利用线性随机模型为多周期可替代易逝品开发动态定价和库存决策模型;MACÍAS-LÓPEZ等^[13]指出易逝品的需求是价格、存量 and 新鲜度的多变量函数,将持有成本模拟为时间的二次函数并建立易腐物品库存模型;AFIFI等^[14]在存储容量有限的条件下,研究具有指数损失率的易逝品库存模型;DENIZ等^[15]证明了在一定条件下的固定订货批量策略最优.

现有文献大多是对社区团购农产品供应链的库存决策与协调控制进行研究,对农产品的订货周期、订货批量、再订购点与库存总成本的关联性和敏感性分析等的研究较少.因此,本文以农产品供应链中的库存问题为研究对象,通过供应链结构设计消除多级库存,从有无保质期两个角度建立单级库存模型,对供应链进行整体分析,探究订货批量和再订购点对库存总成本的影响,确保库存总成本最低.

1 问题分析

农产品供应链库存模型具有允许缺货、缺货不需补足、订货提前期大于结算周期和需求随机等特点.

1) 周期性.设时间 t_0 与 t_1 之间的再订购点时间长度为 T , T 具有周期性,则 T 周期内库存费用的优化结果是整个时间流中的优化结果. T 的周期性如图1所示.图1中, m 为订货提前期, Q 为订货批量, R 为再订购点, T 为订货时间.

2) 最大库存量大于等于订货批量. $T > m$,可将 T 分为两部分,即订货提前期 m 和订货达到后库存下降至再订货点的时间,其长度为 $T - m$.订货批量 Q 入库后,如订货提前期 m 内的商品售完,则此时库存量为 Q ,如入库时有剩余库存,则库存为再订货点库存-提前期内销量+订货量.由于缺货不补充,因此最大库存量都大于等于订货批量 Q .

3) 缺货时 $T \neq \frac{Q}{r}$ (r 为产品单位时间消耗率).当 T 时间段的实际消耗量等于 Q 时,因为缺货不补,在时间段 T 内的实际需求量大于 Q ,需加上缺货量,因此 $T \neq \frac{Q}{r}$.缺货的 T 长度如图2所示.

4) 到货不缺货.到货后当库存继续消耗到再订购点,就自动进入下一周期 T ,因此仅在订货提前期内存在缺货,不存在到货后缺货的情况,如图3所示.当提前期的需求大于再订货量时出现缺货,需要考虑缺货费用.

5) 日均费用不等.由于 T 的长度随需求变化,不同时段 T 的长度不同,则日均费用不等,日均费用为 T

时期内的总费用除以 T .

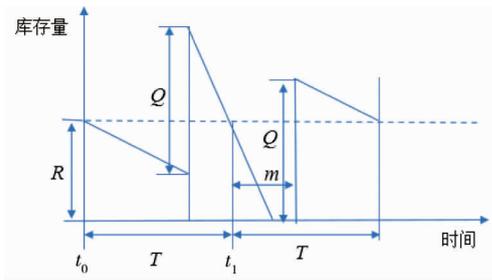


图 1 T 的周期性

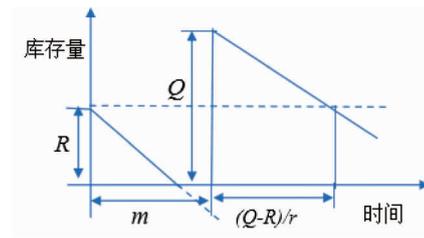


图 2 缺货的 T 长度

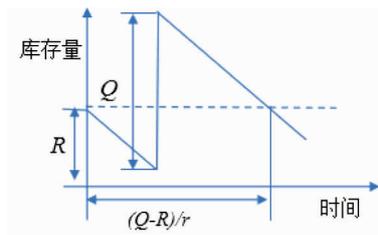


图 3 不缺货的 T 长度

2 库存总成本模型

2.1 模型假设及符号说明

为了突出本文易耗农产品库存决策的研究目标,便于建模分析,进行如下假设:决策周期无限长,易耗农产品的需求服从正态分布;允许缺货但缺货不需要补充,缺货费率为 C_2 ;订货提前期固定为 m ;易耗农产品具有非瞬时变质特性,即在订货周期内产品不变质.模型符号及相关说明如表 1 所示.

表 1 模型中的符号

| 符号 | 含义 | 单位 |
|----------|-----------|-----|
| R | 再订购点 | 份 |
| Q | 订货批量 | 份 |
| m | 订货提前期 | d |
| C_1 | 存储费率 | 元/d |
| C_2 | 缺货费率 | 元/d |
| C_3 | 订货费 | 元 |
| K | 订货单价 | 元/份 |
| μ | 用户需求率的期望 | 份/d |
| σ | 用户需求率的标准差 | 份/d |

2.2 模型构建

2.2.1 周期长度 T 的计算

根据前述分析和假设,令提前期内的消耗量为 r_m ,则订货到达时剩余库存为 $R - r_m$,剩余时间长度为 $\frac{[(R - r_m + Q) - R]}{r}$;提前期缺货情况下,缺货概率为 $\int_r^\infty \varphi(r_m) dr_m$,则到达再次订货的时间长度为 $(Q - R) \int_r^\infty \frac{\varphi(r_m) dr_m}{r}$.由于缺货不补,库存消耗时间 $\frac{Q - R}{r}$,以不缺货的概率为权重乘以时间长度,加上订货提前期 m 得到时间段 T 的总长度. T 的计算公式为

$$T = m + \int_0^r \varphi(r_m) \frac{[(R - r_m + Q) - R]}{r} dr_m + \frac{Q - R}{r} \int_r^\infty \varphi(r_m) dr_m. \quad (1)$$

式中: $\int_0^r \varphi(r_m) \frac{[(R - r_m + Q) - R]}{r} dr_m$ 为订货提前期 m 内缺货时,从订货入库到再订货点的时间长度;

$\int_0^r \varphi(r_m) dr_m$ 为不缺货的概率.

2.2.2 存储费的计算

首先讨论并计算 m 期间的存储费:

1) 不缺货时的库存变化如图4所示.若不缺货,则根据库存变化曲线, m 期间的存储费可通过式(2)计算.

$$f_{11} = \int_0^r m C_1 \frac{(R + R - r_m)}{2} \varphi(r_m) dr_m. \quad (2)$$

2) 缺货时的库存变化如图5所示.若缺货, m 期间的存储费按式(3)计算.

$$f_{12} = \int_r^\infty m \frac{r^2}{2r_m} \varphi(r_m) dr_m. \quad (3)$$

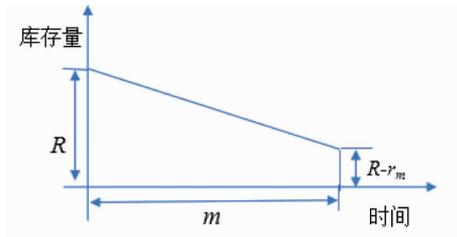


图4 不缺货时库存变化

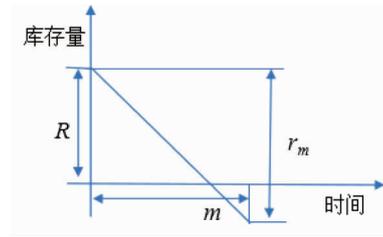


图5 有缺货时库存变化

3) m 期间不缺货的概率为 $\int_0^r \varphi(r_m) dr_m$, 则剩余时间内的库存费为

$$f_{13} = \int_0^r \frac{[(R - r_m + Q) - R]}{r} \frac{C_1(R - r_m + Q + R)}{2} \varphi(r_m) dr_m. \quad (4)$$

4) m 期间缺货概率为 $\int_r^\infty \varphi(r_m) dr_m$, 则剩余时间内的库存费为

$$f_{14} = \int_r^\infty \frac{(Q - R)}{r} \frac{C_1(Q + R)}{2} \varphi(r_m) dr_m. \quad (5)$$

根据上述分析结果得到日均库存费为

$$F_1 = \frac{(f_{11} + f_{12} + f_{13} + f_{14})}{T}. \quad (6)$$

2.2.3 缺货费与订货费的计算

周期 T 内存在缺货时的缺货费为

$$f_2 = \int_r^\infty C_2 (r_m - R)^2 \frac{m}{r_m} \varphi(r_m) dr_m. \quad (7)$$

则日均缺货费为

$$F_2 = \int_r^\infty \frac{C_2 (r_m - R)^2 m}{r_m T} \varphi(r_m) dr_m. \quad (8)$$

根据批量订购原理,日均订货费为

$$F_3 = \frac{KQ + C_3}{T}. \quad (9)$$

日均库存成本由库存费、缺货费和订货费三者组成,计算公式为

$$C(R, Q) = F_1 + F_2 + F_3 = \frac{(f_{11} + f_{12} + f_{13} + f_{14})}{T} + \int_r^\infty \frac{C_2 (r_m - R)^2 m}{r_m T} \varphi(r_m) dr_m + \frac{KQ + C_3}{T}. \quad (10)$$

2.3 模型分析

2.3.1 总成本函数分析

由式(10)可知:总成本函数是一个多元非线性函数,用解析方法很难求得总成本的最小值,可用线性规划方法分析是否存在极值.对于订货提前期较短的易耗农产品,其订货单价与存储费相近,缺货费则需考虑机会成本和信誉损失,略高于存储费率,单次订货成本包括租车费用等,数值较高.综上,提前期、单价、单位产品存储费等参数的取值必须符合上述基本前提条件.

将总成本模型和相关的提前期、再订购点和订货批量等作为参数,利用 MATLAB 软件进行仿真分析,其中,再订购点 R 和订货批量 Q 都根据实际情况限定取值范围,将相应数值代入总成本函数得到如图 6 所示的成本与 R 和 Q 的函数曲面关系图.由图 6 可知:总成本是 R 和 Q 的连续可导的凹函数,不具有局部最小值,不适合偏导求解,但总成本函数曲面图存在凹点,即总成本最低点,可以采用梯度下降法进行求解.

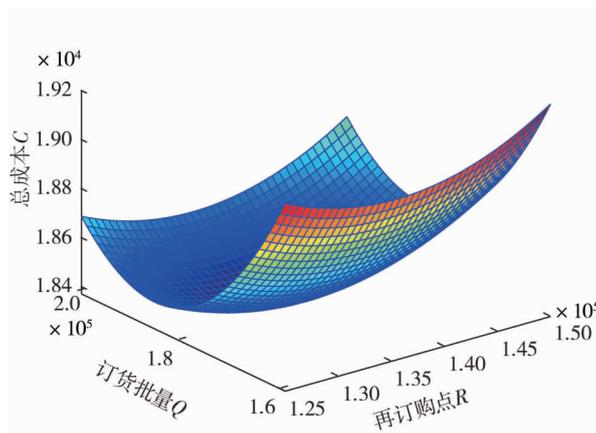


图 6 总成本函数曲面

2.3.2 总成本边界条件

总成本模型是 R 和 Q 的函数,但 R 和 Q 的取值存在边界条件限制.由于易耗农产品订货的固定成本远高于变动成本,为降低总成本,订货批量一般取值较大,再订购点 $R < Q$.在前述存储费和周期长度 T 的分析中,提前期结束后的消耗量为 $Q - R$,因此若 $Q < R$,则 $(Q - R) < 0$,产生错误,成本模型无效. $Q < R$ 的示意图如图 7 所示.当 $Q < R$ 时,若提前期内需求超过 Q ,订货批量 Q 到货后的库存量也仍然小于再订货点,超出模型的假设范围.如发生订货入库后其库存量仍小于再订货点的情况,若马上再次追加订货,则紧接 T 周期的起始库存小于 R ,导致缺货和存储费无法用上述模型中的计算公式,因此,不能通过设立“订购产品入库后如实时库存仍小于再订购点则立即追加订货”的规则来解决.

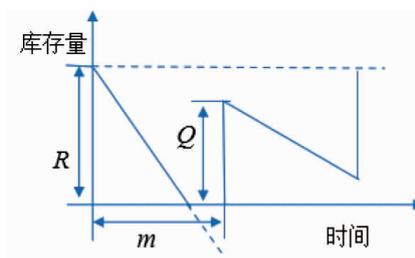


图 7 $Q < R$ 的示意图

2.4 基于梯度下降法的库存成本求解

2.4.1 通用情况

梯度下降法是沿梯度下降的方向迭代求解获得近似极小值,用函数偏导数符号确定函数增减方向,为寻找最优解提供参考,梯度下降的步长是影响算法求解效率的关键因素.通过 MATLAB 仿真发现:总成本模型梯度在接近最优解时会快速降低,如利用模型梯度确定迭代步长,则寻优过程比较缓慢.同时,如对近似解进行泰勒展开对迭代步长求导获取近似最佳步长,则寻优过程中需要进行复杂繁多的符号运算,同时,寻优速度受计算机 CPU 性能的影响较大,寻优时间较长,寻优效率仍难以令人满意.总成本模型的梯度下降过程如图 8 所示.为了提高寻优的效率,采用迭代步长同梯度非线性相关的策略,梯度减少 50%,迭代步长减少 10%,以此兼顾寻优速度与效率且能保证误差值较小.

2.4.2 特殊情况

在库存总成本迭代寻优的过程中,当缺货与存储的费用接近时,总成本模型会转化为 $R = 0$ 的特殊情况,在研究中必须厘清这种特殊情况的意义.特殊情况下再订购点为 0,因此订货时库存为 0,只需研究相邻再订购点之间的库存变化即可推广到全周期,但由于产品保质期等因素的影响需要进一步详细研究.特殊情况时的总成本迭代寻优如图 9 所示.

缺货费小于等于存储费时,缺货费会随着 R 的减小而增大,储存费和订货费随着 R 的减小而减少.如图 9 所示,当 $C_2 \leq C_1$, R 减小时,减少的存储费与上涨的缺货费相抵,最优解逐渐迭代到 $R = 0$,总成本 C 只与库存量 Q 有关,此时最优解的寻优需要同时监测梯度是否下降和更新迭代的近似解中 R 值是否小于 0,若 $R < 0$,则用 $R = 0$ 替换,避免出现 $R < 0$ 的情况.

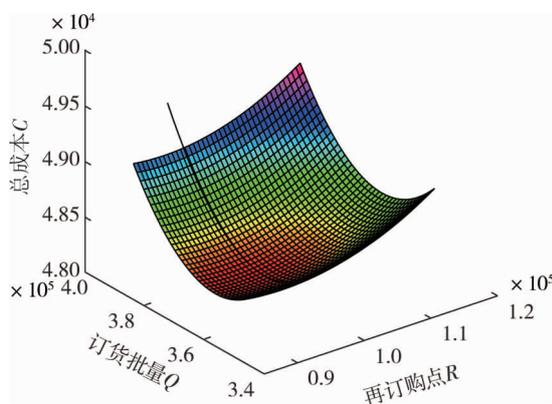


图 8 总成本曲面梯度下降曲线

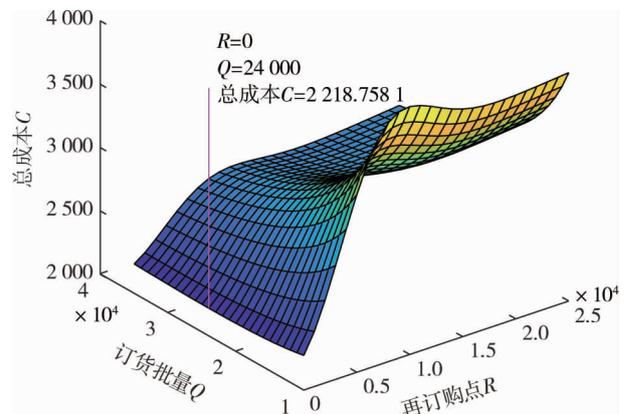


图 9 特殊情况时的总成本迭代寻优过程

3 算例分析

3.1 库存总成本最优解

现以某市某社区团购仓库的黄瓜为例,分析库存总成本和相关参数的敏感性,以证明模型的有效性.对于团购平台销售的黄瓜,假设其价格为 4 元/kg,进货价格为 2 元/kg,储存成本为每天 0.02 元/kg,缺货时,机会成本和商家信誉损失等设定为 0.2 元/kg,订货地点为山东寿光,采购、人工、物流等固定成本总计约 8 000 元/次,订货提前期为 3 d,产地采集、包装货物为 2 d,运输为 1 d.该仓库覆盖周边团购网点的小区居民数约 16 万,市场占有率为 5%,居民平均黄瓜消耗量为 0.125 kg/d.利用本文方法求解此仓库黄瓜的订货量和再订购点库存量,库存总成本最低的迭代求解过程如下:由于居民平均黄瓜消耗量为 0.125 kg/d,居民随机购买,假设购买的概率为 0.25%,则该仓库黄瓜的库存量需求为 0.2 万斤,黄瓜需求标准差为 38.72 斤.将上述参数代入库存总成本模型,利用前述的梯度下降算法寻找最优解,所得结果如图 10 所示.由图 10 可知:黄瓜的最佳库存决策为订货批量 Q 为 54 000 斤,再订货点 R 为 7 500 斤,黄瓜的日均总成本为 2 581 元.

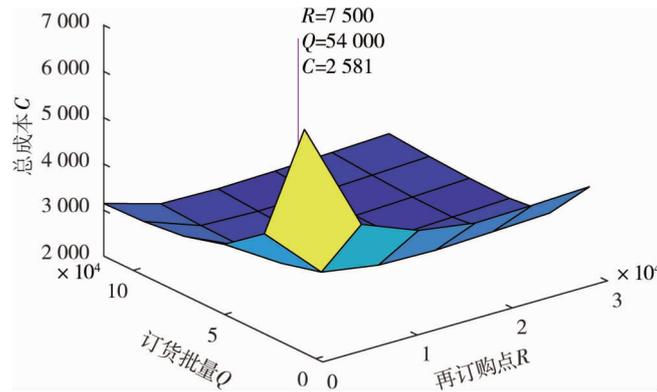


图 10 实例库存总成本最低点

3.2 参数敏感性分析

为了评估模型参数的敏感性,分析日均需求率与总成本和成本利用率之间的关系,所得结果如图 11~图 13 所示.图 11 为易耗农产品水果 A 和蔬菜 B 的日均需求率与总成本的变化关系,由图 11 可知:当其他条件不变时,总成本随着日均需求率的增大而上升,线性关系明显,其线性相关系数超过 0.99,线性相关性非常高,说明高需求率对库存总成本的影响较明显,且不同产品的影响不同.为进一步分析不同产品对库存总成本的影响,将总成本除以总需求量得到单位需求的库存成本,水果 A 和蔬菜 B 的日均需求率与成本利用率的关系如图 12 和图 13 所示.由图 12 和图 13 可知:库存成本的利用率随着产品日均需求率的增加而提高,它们之间的关系可以用对数函数进行拟合,拟合曲线的相关系数为 0.96~0.97,即库存成本与单位需求的相关性高.

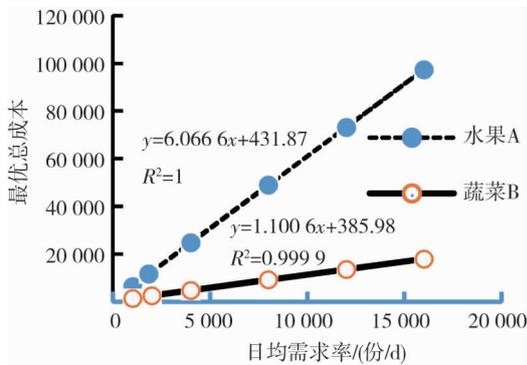


图 11 日均需求率与总成本的关系

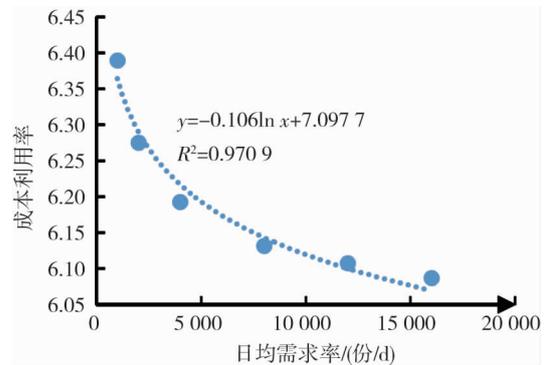


图 12 水果 A 的日均需求率与成本利用率的关系

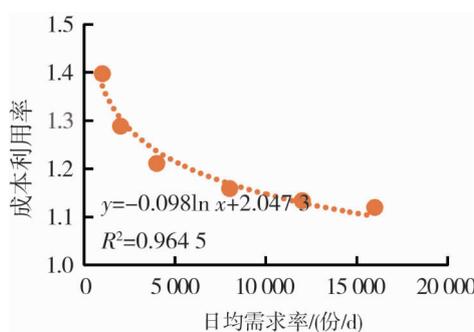


图 13 蔬菜 B 的日均需求率与成本利用率的关系

4 结论

1) 根据易耗农产品的特点,在 (s, S) 库存模型的基础上,分析订货提前期、日均需求量、再订购点等影

响因素,建立生鲜农产品库存总成本库存决策模型.

2)根据库存总成本模型复杂,解析方法无法求取极小值的特点,设计一种自适应梯度下降算法对总成本模型进行迭代寻优,从而得到生鲜农产品的最优存储策略.

3)通过分析模型参数的敏感性,发现日均需求率与总成本存在正相关性,与成本利用率的关系则可以用对数函数进行拟合(相关系数为0.96~0.97),相关性很高.因此,建立共享仓可以扩大库存存储量,降低库存成本,但边际效益递减.

参考文献:

- [1] 杨路明,施礼.农产品供应链中物流与电商的协同机制[J].中国流通经济,2019,33(11):40-53.
- [2] 高鹏,孙智君.“互联网+”背景下的农产品绿色供应链优化管理研究[J].农业经济,2021(3):141-142.
- [3] 石岩然,孙玉玲.生鲜农产品供应链流通模式[J].中国流通经济,2017,31(1):57-64.
- [4] SRINIVASAN S P, SHANTHI D S, ANAND A V. Inventory transparency for agricultural produce through IOT[C]//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, 211(1):012009.
- [5] 韩曙光,夏鹏.基于变质库存理论的生鲜农产品订货策略研究[J].浙江理工大学学报(社会科学版),2016,36(6):532-536.
- [6] 唐跃武,范体军,刘莎.考虑策略性消费者的生鲜农产品定价和库存决策[J].中国管理科学,2018,26(11):105-113.
- [7] QIN Y Y, WANG J J, WEI C M. Joint pricing and inventory control for fresh produce and foods with quality and physical quantity deteriorating simultaneously [J]. International Journal of Production Economics, 2014, 152:42-48.
- [8] 孙文清.农产品供应链参数对牛鞭效应和成本影响的仿真[J].统计与决策,2017(13):52-55.
- [9] 陈炜,沈毅,田原.生鲜农产品供应链系统动力学建模与仿真[J].物流工程与管理,2018,40(12):101-104.
- [10] 牟进进,张敏,王淑云.生鲜农产品新鲜度和价格共同影响需求的库存策略[J].统计与决策,2019,35(6):54-57.
- [11] 张名扬,郭健涛,于欣格.电子商务模式下易腐农产品的定价与库存联合决策[J].预测,2021,40(4):32-37.
- [12] FANG F, NGUYEN T D, CURRIE C S M. Joint pricing and inventory decisions for substitutable and perishable products under demand uncertainty [J]. European Journal of Operational Research, 2021, 293(2):594-602.
- [13] MACÍAS-LÓPEZ A, CÁRDENAS-BARRÓN L E, PEIMBERT-GARCÍA R E, et al. An inventory model for perishable items with price-, stock-, and time-dependent demand rate considering shelf-life and nonlinear holding costs [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2021, 2021:6630938.
- [14] AFIFFI F F, ARVITRIDA N I. Inventory model for multi-perishable goods with limited storage capacity[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1072(1):012005.
- [15] DENIZ B, KARAESMEN I, SCHELLER-WOLF A. A comparison of inventory policies for perishable goods[J]. Operations Research Letters, 2020, 48(6):805-810.