

基于初始新鲜度的生鲜农产品订货策略

谢如鹤, 罗湖桥, 陈冠名
(广州大学 工商管理学院, 广州 510006)

摘要: **目的** 以初始新鲜度为基准, 结合保鲜包装成本构建订货模型来优化生鲜农产品零售商的订货策略。**方法** 以单个销售周期内零售商利润最大为目标, 在易腐商品库存模型中引入初始新鲜度, 结合保鲜包装成本, 构建单周期生鲜农产品的订货模型, 借助 Matlab 对模型进行优化求解。**结果** 通过算例可知, 当销售周期为 30 d, 保鲜包装成本为 0.15 元, 初始新鲜度为 0.87 时, 取得最大利润值 311.99 元, 且初始新鲜度由 0.6 上升到 0.95 期间, 最优订货周期由 2.86 d 上升到 23.66 d, 最优订货量由 74.76 kg 上升到 120.60 kg, 再回落到 101.37 kg; 而保鲜包装成本由 0.05 元上升到 0.25 元, 利润最大值由 287.44 元上升到 327.13 元, 且初始新鲜度越大, 利润上升幅度越高。**结论** 初始新鲜度较高时, 零售商可以通过提高保鲜包装成本及采取少批次多批量的订货策略来提高企业的利润; 而初始新鲜度较低时, 在食品安全的范围内, 零售商可以通过降低保鲜包装成本和采取多批次少批量的方式来提高利润。

关键词: 订货策略; 初始新鲜度; 保鲜包装成本; 生鲜农产品

中图分类号: F224.12 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)13-0179-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.025

Ordering Strategy of Fresh Agricultural Products Based on Initial Freshness

XIE Ru-he, LUO Hu-qiao, CHEN Guan-ming

(School of Management Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: Based on the initial freshness, the work aims to construct the order model to optimize the ordering strategy of fresh agricultural product retailers, combined with the fresh-keeping packaging input. In order to maximize the retailer's profit in a single sales cycle, the initial freshness was introduced into the perishable goods inventory model to build an order model for single-cycle fresh agricultural products in combination with the fresh-keeping packaging input. Then, the model was optimized with Matlab. The example showed that, when the sales cycle was 30 days, the fresh-keeping packaging input was 0.15 yuan and the initial freshness was 0.87, the maximum profit was 311.99 yuan; when the initial freshness rose from 0.6 to 0.95, the optimal order cycle rose from 2.86 to 23.66 days, the optimal order quantity rose from 74.76 kg to 120.60 kg, and then fell back to 101.37 kg; however, the maximum profit rose from 287.44 yuan to 327.13 yuan when the fresh-keeping packaging input rose from 0.05 yuan to 0.25 yuan; and the larger the initial freshness, the higher the margin of profit rose. It is found that, when the initial freshness is high, retailers can increase their profits by increasing the fresh-keeping packaging input and adopting the ordering strategy of less batches and more mass production; however, when the initial freshness is low, within the scope of food safety, retailers can increase their profits by reducing the fresh-keeping packaging input and adopting the method of more batches and less mass production.

KEY WORDS: ordering strategy; initial freshness; fresh-keeping packaging input; fresh agricultural products

收稿日期: 2019-12-18

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(17BJY102); 广东省科技计划(2017B090907028)

作者简介: 谢如鹤(1963—), 男, 广州大学教授、博导, 主要研究方向为冷链物流及农产品物流。

“十九大”报告中明确指出,中国社会的主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。食品作为人民生活中最为重要的一环,这个矛盾体现得最为突出。消费者对食品的要求已逐步由“以量为先”转化为“以质为先”,这就要求企业能够快速提供更加高品质的食品。盒马鲜生、超级物种等生鲜超市应运而生,力求将顾客体验做到最大化,这就对生鲜农产品的新鲜度提出了更高的要求。同时,为了确保服务速度,往往采取“源头直采”+“精细化包装”的方式来缩短供应链的长度。而“源头直采”中最重要的就是控制生鲜农产品的品质,即提高生鲜农产品的初始新鲜度,从而保证到达销售端生鲜农产品的品质。同时,保鲜包装成本对生鲜农产品的初始新鲜度以及后续保鲜都有着至关重要的影响。但目前大多数生鲜企业往往对生鲜农产品采取散装和混装的方式,不能确保生鲜农产品的品质。无论是提高产品新鲜度,还是提高保鲜包装的投入,都对企业的订货策略提出了更高的要求,是企业亟待解决的问题。

目前,国内外学者在对生鲜农产品订货策略的相关研究中,从供给的角度出发,变质率一直是订货策略的核心要素之一。对于变质率的研究,早在1963年,Ghare等^[1]通过不断研究和经验积累,提出了变质库存模型,表示易腐品单位时间内的库存减少量就等于市场需求量与变质损耗量之和。后来学者的研究大都建立在此理论基础之上,并结合其他因素进行创新。在假定变质率不变的情况下,Shah等^[2]以最大化利润为目标,得出了最优的初始订货批量。而在假定变质率变化时,Wang等^[3]构建了基于变质率的混合时间窗的多目标VRP优化模型。Rahdar等^[4]同样通过指数函数研究了时变变质率下农产品的库存管理。Chung等^[5]则通过划分有限周期,研究时变变质率下零售商最优的订货策略。

从需求的角度出发,需求量的确定一直是研究的重中之重。

1) 在假定需求量为常量的前提下,从保鲜的角度出发,Hsu等^[6]提出通过控制保鲜成本,零售商订货策略可以得到进一步的优化;徐蓁^[7]构建有限理性特性下的供应商-零售商保鲜投入演化博弈模型。从运营模式出发,林峰等^[8]商讨了商业信用额度下,不同资金机会成本时零售商订货策略的优化。

2) 在假定需求量对价格敏感的情况下,Lohmann^[9]考虑了市场需求受价格及努力水平影响的供应链协调,Chen^[10]则基于此提出目标回扣方案以实现收入共享的机制,从而实现供应链订货策略的帕累托改进。而国内学者也从多种角度对订货策略进行了研究,如行为主体的角度^[11]以及运作模式的角度^[12]。

3) 假定需求与新鲜度相关的情况下,Lodree^[13]

基于消费者关注生鲜农产品新鲜度的感知水平,对库存管理进行了研究;罗兵等^[14]考虑到产品新鲜度、价格和库存水平对高科技农产品订货策略的影响。

综上所述,从供给的角度来看,大部分关于订货策略的研究建立在时变变质率的基础上,较少考虑到新鲜度、保鲜包装成本等因素对变质率的影响。而对于生鲜农产品而言,食品的品质稳定性与食品温度呈指数型关系^[15],因此在变质率的研究中引入保鲜包装成本及新鲜度是必要的;而对于需求量的假设开始逐渐由常量转化为变量,但对需求量的预测更多的是建立在价格等经济指标上,对于新鲜度等指标联系较少,不适应于品质偏好型消费者。同时,对新鲜度影响因素的研究以时间与温度为主,对保鲜包装成本的变化研究较少。基于此,文章以生鲜农产品在变质库存模型中及新鲜度衰减模型中引入了初始新鲜度与保鲜包装成本,同时在消费者需求量的假设中引入了新鲜度的概念,以此为基础优化订货策略。

1 模型

1.1 问题描述

考虑在1个销售周期内,研究由1个生鲜农产品零售商和1个上级供应商组成的两级供应链中零售商利润最大化的最优订货策略。分析探讨生鲜农产品从采购配送到零售的环节过程中,生鲜农产品新鲜度随初始新鲜度(即零售商采购时生鲜农产品的新鲜度)、保鲜包装成本的变化而变化,从而引起零售商的最优订货批量、最佳订货周期、最大利润的变化情况。

1.2 假定条件

1) 由于考虑的是源头直采模式,所以零售商默认货源充足,不缺货;生鲜农产品不退换。

2) 生鲜农产品销售时,不可避免损耗,产生损耗只作为零售商的管理费用。

3) 损耗率 λ 主要受初始新鲜度 β_0 与保鲜包装成本的影响,暂不考虑其它因素。

4) 消费者同类,即消费者之间无差异,相同新鲜度下,生鲜农产品带来的消费者效用是相同的。

5) 生鲜农产品每次订货、采购及运输等成本不变。

1.3 模型建立

为描述生鲜农产品的易腐性,首先引入经典易腐商品库存模型^[1],即:

$$\frac{dI(t)}{dt} = -\lambda(t)I(t) - D(t) \quad (1)$$

式中: $I(t)$ 为生鲜农产品在 t 时刻的库存变化率; $D(t)$ 为生鲜农产品在 t 时刻的市场需求率; $\lambda(t)$ 为生鲜农产品在 t 时刻的变质率。

该理论在基于不缺货的情况下，认定易腐品单位时间库存减少量等于市场需求量与变质损耗量之和。同时，结合范小晴^[16]的研究成果，引入初始新鲜度的概念，对变质库存理论进行改进，将变质率视作随着产品初始新鲜度、保鲜包装成本变化而变化的变量。产品新鲜度与变质率的关系由以下函数表示：

$$\lambda = (1 - \beta_0)(\sigma - f(r)) \quad (2)$$

$$f(r) = \varphi - e^{-kr} \quad (3)$$

式中： λ 为生鲜农产品的变质率； β_0 为生鲜农产品的初始新鲜度； σ 为产品未采取保鲜包装时，变质率随着初始新鲜度的降低而递减的速度； $f(r)$ 为采用保鲜包装后的保鲜努力系数； φ 为产品在没有采取保鲜包装下，新鲜度随时间下降的系数，取 $\varphi=1$ ； r 为单位产品保鲜包装成本； k 为投资成本系数，表示资本利用水平， $0 < k < 1$ 。

其中， $0 < \beta_0 < 1$ ， β_0 越高，产品的变质速度越慢，从而变质率越低。当 β_0 趋向于 1 时， λ 趋向于 0； β_0 趋向于 0 时，保鲜包装成本努力系数趋向于 0， λ 趋向于 σ ，取 $\sigma=1$ 。基于食品安全与现实情况， $0.6 < \beta_0 < 0.95$ 。当 $\beta_0 < 0.6$ 时，表示产品已超过可食用界限，不再考虑其变质率；当 $\beta_0 > 0.95$ 时，表示产品处于极高的新鲜度水平，现实生活中难以达到。 $f(r)$ 为单调递增函数，代表保鲜包装成本越高，则保鲜努力系数越高，变质率下降的速度越慢。结合式 (1—3)，可以得到新的变质库存模型：

$$\frac{dI(t)}{dt} = -(1 - \beta_0)e^{-kr}I(t) - D(t) \quad (4)$$

参考对需求率和零售价格、价格弹性之间的乘积关系^[17]以及相关文献对新鲜度衰减模型的计算^[18]。

设零售商的生鲜农产品市场需求率为：

$$D(t) = (a - bp)\beta_t \quad (5)$$

$$\beta_t = \beta_0 e^{-a_0 t} \quad (6)$$

式中： β_t 为生鲜农产品在 t 时刻的新鲜度； a 为生鲜农产品的最大市场需求； b 为生鲜农产品的需求价格弹性； a_0 为新鲜度随时间的增加而降低的速度， $a_0 > 0$ ； p 为每单位生鲜农产品的零售价格。

随着 β_0 的增大，市场需求也随着增加；同时，取 $a_0 = e^{-kr}$ ，表示保鲜程度越高，新鲜度随时间的增加而降低的速度越慢。生鲜农产品市场需求可以表示为：

$$D(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t \leq t_0 \\ (a - bp)\beta_0 e^{-a_0 t} & t_0 \leq t \leq T \end{cases} \quad (7)$$

式中： t_0 为生鲜农产品配送至零售商所需时间； T 为生鲜农产品零售商的正常订货周期。

将式 (7) 代入已知的变质库存模型式 (4) 中，在考虑到生鲜农产品新鲜度损耗的前提下，可知：

$$\begin{cases} dI(t) + (1 - \beta_0)e^{-kr}I(t)dt = 0 & 0 \leq t \leq t_0 \\ dI(t) + (1 - \beta_0)e^{-kr}I(t)dt = -(a - bp)\beta_0 e^{-a_0 t} dt & t_0 \leq t \leq T \end{cases} \quad (8)$$

已知条件 $I(T)=0$ ，设 t_0 时刻 2 个阶段的库存水平大致相等，因此可通过 Matlab 对式 (8) 进行求解，同时且令 $t=0$ ，求出零售商订货量为：

$$Q_0 = \frac{\beta_0(a - bp)}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} \cdot \left[e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)T} - e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)t_0} \right] \quad (9)$$

1 次订货内的采购、订货及运输成本 C_q 可以表示为：

$$C_q = \frac{\beta_0(c_0 + r)(a - bp)}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} \cdot \left[e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)T} - e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)t_0} \right] \quad (10)$$

1 次订货内的销售收入 R 可以表示为：

$$R = p \int_{t_0}^T D(t)dt = \frac{p\beta_0(a - bp)}{a_0} \left[e^{-a_0 t_0} - e^{-a_0 T} \right] \quad (11)$$

1 次订货内的库存成本 H 可以表示为：

$$H = h \int_{t_0}^T I(t)dt = \frac{h\beta_0(a - bp)}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} \cdot \left[\frac{e^{-a_0 T} - e^{-a_0 t_0}}{a_0} + \frac{e^{-kr}(1 - \beta_0)(T - t_0) - a_0 T - e^{-a_0 T}}{(1 - \beta_0)e^{-kr}} \right] \quad (12)$$

生鲜供应链在 1 次订货内所获得利润可表示为：

$$W = \beta_0(a - bp) \left(\frac{p(e^{-a_0 t_0} - e^{-a_0 T})}{a_0} - \frac{(c_0 + r)}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} \cdot \left[e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)T} - e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)t_0} \right] - \frac{h}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} \cdot \left(\frac{e^{-a_0 T} - e^{-a_0 t_0}}{a_0} + \frac{e^{-kr}(1 - \beta_0)(T - t_0) - a_0 T - e^{-a_0 T}}{(1 - \beta_0)e^{-kr}} \right) \right) \quad (13)$$

在销售周期 T_f 内的最大利润可以表示为：

$$W^* = W \times \frac{T_f}{T} \quad (14)$$

以生鲜供应链在其整个周期 T 内最大利润为目的，通过求导与 Matlab 求出其最优订货周期 T^* ，可表示为：

$$T^* = \left(\ln \frac{p(1 - \beta_0)e^{-kr} + h}{(c_0 + r)(1 - \beta_0)e^{-kr} + h e^{-((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)T^*}} \right) \cdot \frac{1}{(1 - \beta_0)e^{-kr}} \quad (15)$$

在最佳订货周期确定后，相应可以求得销售周期内的最佳订货量 Q^* 及最大利润 W^* 。

$$Q^* = \frac{\beta_0(a - bp)}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} (e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)T^*} - e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)t_0}) \quad (16)$$

$$W^* = \frac{T_f}{T^*} \beta_0(a - bp) \left(\frac{p(e^{-a_0 t_0} - e^{-a_0 T^*})}{a_0} - \frac{(c_0 + r)}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} \cdot \left[e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)T^*} - e^{((1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0)t_0} \right] - \frac{h}{(1 - \beta_0)e^{-kr} - a_0} \cdot \left(\frac{e^{-a_0 T^*} - e^{-a_0 t_0}}{a_0} + \frac{e^{-kr}(1 - \beta_0)(T^* - t_0) - a_0 T^* - e^{-a_0 T^*}}{(1 - \beta_0)e^{-kr}} \right) \right) \quad (17)$$

1) T^* 与 Q^* 变化时的 W^* 。由式 (14)、式 (11)

式(17)可知, T^* 越大, 则1次订货内销售收入越大, 但整个销售周期下的利润未必增大, 资金的流动性减弱。结合式(10)、式(13)、式(17)可知, Q^* 越大, 则 C_q 越大, W^* 则越小。

2) β_0 、 r 变化时的 T^* 与 Q^* 。由式(15)可知, $(c+r)e^{-(1-\beta_0)e^{-kr}t_0} < p + p(1-\beta_0)e^{-kr}t_0 + ht_0$ 时, 当 β_0 增加时, $\frac{1}{(1-\beta_0)e^{-kr}}$ 与 $\ln \frac{p(1-\beta_0)e^{-kr} + h}{(c_0+r)(1-\beta_0)e^{-kr} + he^{-(1-\beta_0)e^{-kr}t_0}}$ 随着 β_0 的增加而增加, 并且二者都大于 0, 因此 $(c+r)e^{-(1-\beta_0)e^{-kr}t_0} < p + p(1-\beta_0)e^{-kr}t_0 + ht_0$ 时, T^* 是 β_0 的增函数。同理可知, T^* 是 r 的增函数。式(16)可知, β_0 、 r 变化时 Q^* 的增减性取决于 $e^{((1-\beta_0)e^{-kr}-a_0)T^*} - e^{((1-\beta_0)e^{-kr}-a_0)t_0}$ 的增减性。由于其无法通过求导直接得到, 因此需要结合实际数据来确定。

2 算例分析

通过对广州某区域的盒马鲜生店数据调研了解发现, 该区域每天国产香蕉市场最大需求量为 400 kg/d, 销售价格为 4.5 元/kg, 香蕉生产运输成本为 2 元/kg, 库存成本为 0.25 元/kg, 保鲜包装成本为 0.15 元; 通过产地直采, 香蕉从农民专业合作社运到店面的时间为 1.8 d, T_f 为 30 d, 价格弹性系数为 1.2, $k=0.9$ 。

1) 当 r 一定时, 取 $r=0.15$, 分析当 β_0 在 0.6~0.95 之间变化时, W^* 、 T^* 及 Q^* 相应的变化结果。将已知数据代入式(15)、式(16)与式(17)分别使用 Matlab 进行运算, 见表 1。

表 1 初始新鲜度变化时的最佳订货周期与订货量
Tab.1 Optimal order period and order quantity when the initial freshness changes

β_0	T^*	Q^*
0.6	2.83	73.76
0.65	3.25	91.43
0.7	3.81	106.42
0.75	4.6	116.68
0.8	5.77	120.39
0.85	7.74	117.2
0.9	11.68	109.62
0.95	23.51	101.37

由表 1 可知, 随着 β_0 的逐渐降低, 最优订货周期 T^* 也随之下降。这表示随着 β_0 的降低, 企业会缩短订货周期, 而订货周期越短, 在同一销售周期内的订货次数就会增加, 即 β_0 较低时企业会通过增加订货的次数来保证利润的最大化; 最优订货量 Q^* 则是

先升后降。在 β_0 下降幅度不大时, 企业可以通过增加订货量来保证利润的最大化, 而当 β_0 下降幅度较大时, β_0 处于较低的水准。由式(2)可知, β_0 越低则腐损率越高。由于腐损率高, 企业更加倾向于采取多批次少批量的方式来确保利润的最大化。将 T^* 与 Q^* 的值代入 Matlab 求解, 求得单销售周期内多次订货情况下, W^* 的波动情况见图 1。

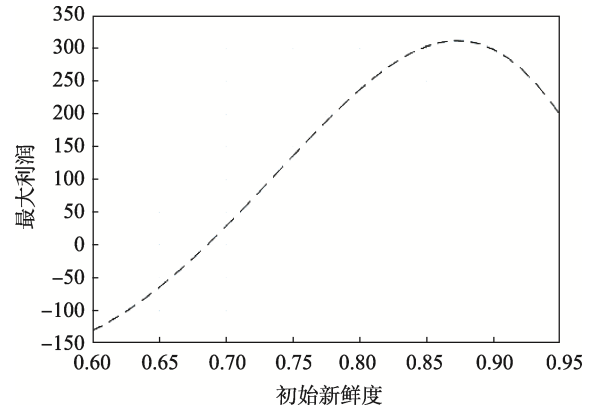


图 1 初始新鲜度变化下最大利润

Fig.1 Maximum profit under initial freshness change

由图 1 可知, 在单销售周期的情况下, 随着 β_0 的下降, 最大利润呈现先升后降的趋势。这表明, 当保鲜包装成本一定的情况下, 在初始新鲜度下降的过程中, 单个销售周期零售商的利润呈现先升后降的趋势, 因此在初始新鲜度较高时, 零售商趋向于采取少批次多批量的订货策略来提高利润; 当初始新鲜度下降超过临界点的时候, 零售商趋向于采取多批次少批量的方式来提高利润。

2) 进一步分析当 r 分别为 0.05, 0.15, 0.25 时, W^* 、 T^* 及 Q^* 随 β_0 而变化的情况, 将已知数据代入式(15—17)分别使用 Matlab 进行运算, 结果见表 2。

从表 2 中可以看到, 随着保鲜包装成本 r 的提升, 最佳订货周期 T^* 呈现的是递增的趋势, 即订货间的间隔越来越大。这表明随着保鲜包装成本的增加, 企业的订货频率会有所降低, 资金的周转速度会更慢; 而最佳订货量则有所增加, 这表明在提高保鲜投入后, 企业有能力储存更多的生鲜农产品。总的来说, 增加保鲜投入时, 为了保证利润的最大化, 企业应当倾向于选择少批次多批量的订货策略。

在考虑到资金周转的销售周期下, 保鲜包装成本对利润的正向促进效果对初始新鲜度提出了更高的要求, 体现了初始新鲜度与保鲜包装成本对产品利润的相互作用, 缺一不可, 见图 2。

综上所述, 初始新鲜度较高时, 零售商可以通过提高保鲜包装成本与采取少批次多批量的订货策略来提高企业的利润; 在初始新鲜度较低时, 在食品安全的范围内, 零售商可以通过降低保鲜包装成本与采取多批次少批量的方式提高利润。

表 2 保鲜包装成本与初始新鲜度变化时的最佳订货周期与订货量
Tab.2 Optimal order period and order quantity when the fresh-keeping packaging input and initial freshness change

β_0	$r=0.25$		$r=0.15$		$r=0.05$	
	T^*	Q^*	T^*	Q^*	T^*	Q^*
0.6	3.02	92.68	2.83	73.76	2.66	57.5
0.65	3.47	112.82	3.25	91.43	3.05	73.16
0.7	4.07	129.98	3.81	106.42	3.58	86.23
0.75	4.91	142.06	4.6	116.68	4.31	94.9
0.8	6.16	146.89	5.77	120.39	5.42	97.68
0.85	8.26	143.83	7.74	117.2	7.27	94.48
0.9	12.47	135.47	11.68	109.62	10.97	87.68
0.95	25.09	126.14	23.51	101.37	22.09	80.48

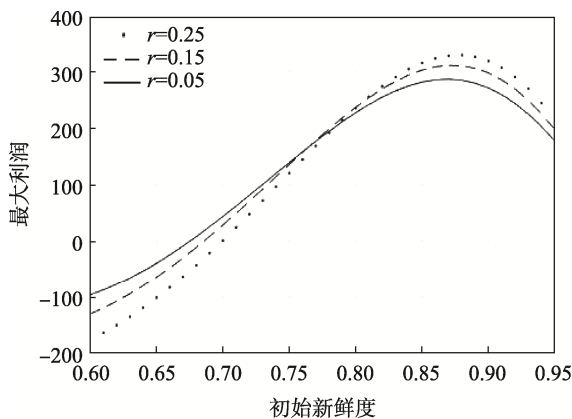


图 2 保鲜包装成本与初始新鲜度变化时的最佳订货周期与订货量

Fig.2 Optimal order period and order quantity when the fresh-keeping packaging input and initial freshness change

3 结语

综合考虑了初始新鲜度与保鲜包装成本对变质率及新鲜度的影响,并在此基础上分析了单个销售周期下,在初始新鲜度与保鲜包装成本变化时,最佳订货周期、最佳订货量及最大利润的变化情况,从而研究零售商的最优订货策略,得到了以下结论。

1) 随着初始新鲜度的增加,零售商的最优订货周期也随之上升。利润呈先升后降的趋势,这表明过高或过低的初始新鲜度都会降低零售商的利润。

2) 当保鲜包装成本一定时,在较高初始新鲜度状态下,零售商趋向于采取少批次大批量的订货策略来提高利润;在较低初始新鲜度状态下,零售商趋向于采取多批次少批量的方式来提高利润。这表明零售商应当采取与初始新鲜度相匹配的订货策略,从而确保利润的最大化。

3) 当保鲜包装成本变化时,在初始新鲜度较高时,零售商可以通过提高保鲜包装成本提高企业的利润;在初始新鲜度较低时,在食品安全的范围内,零售商可以通过降低保鲜包装成本来提高利润。这表明了初始新鲜度的重要性,只有在高的初始新鲜度情况下,提高保鲜包装成本才能带来利润的增加。

以上结论都揭示了生鲜农产品初始新鲜度以及保鲜包装成本对零售商利润的影响,基于此,政府应当高度重视冷链质量安全体系建设,在降低零售商的保鲜包装成本的同时,提高生鲜农产品的初始新鲜度。同时,文章研究过程中尚未充分考虑到时间、温度对变质率及新鲜度的影响,且假定零售商不存在缺货的情况,与现实情况稍有偏离,因此进一步研究可以更大程度地引入时间和缺货等因素,并升级新鲜度的测定技术,提高模型的适用性。

参考文献:

[1] GHARE P M, SCHRADER G P. A Model for an Exponentially Decaying Inventory[J]. Journal of Industrial Engineering, 1963, 14(5): 238—243.

[2] SHAH N H, VAGHELA C R. Economic Order Quantity for Deteriorating Items Under Inflation with Time and Advertisement Dependent Demand[J]. Opsearch, 2017, 54(1): 168—180.

[3] WANG X P, WANG M, RUAN J H, et al. Multi-objective Optimization for Delivering Perishable Products with Mixed Time Windows[J]. Advances in Production Engineering & Management, 2018, 13(3): 321—332.

[4] RAHDAR M, NOOKABADI A S. Coordination Mechanism for Adeteriorating Item in a Two-level Supply Chain System[J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38(11/12): 2884—2900.

- [5] CHUNG Y D, CHIH T Y. Optimal Dynamic Pricing and Preservation Technology Investment for Deteriorating Products with Reference Price Effects[J]. *Omega*, 2016, 6(62): 52—67.
- [6] HSU P H, WEE H M, TENG H M. Preservation Technology Investment for Deteriorating Inventory[J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 124(2): 387—393.
- [7] 徐蓁. 生鲜农产品供应链保鲜投入的演化博弈分析与仿真研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(11): 66—71.
XU Zhen. Evolutionary Game Analysis and Simulation of Fresh Keeping Input in Fresh Agricultural Products Supply Chain[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(11): 66—71.
- [8] 峰, 贾涛, 朱桂阳. 商业信用额度下易腐品最优订货策略[J]. *运筹与管理*, 2018, 27(7): 28—36.
LIN Feng, JIA Tao, ZHU Gui-yang. Optimal Ordering Strategy of Perishable Goods Under Commercial Credit Limit[J]. *Operations Research and Management Science*, 2018, 27(7): 28—36.
- [9] LOHMANN C. Coordination of Supply Chain Investments and the Advantage of Revenue Sharing[J]. *Zetriebswirtschaft*, 2010, 80(9): 969—990.
- [10] CHEN T H. Optimizing Pricing, Replenishment and Rework Decision for Imperfect and Deteriorating Items in a Manufacturer-retailer Channel[J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 183(3): 539—550.
- [11] 邱洪全, 罗键. 基于供应链协同的生鲜农产品订货策略研究[J]. *数学的实践与认识*, 2016(15): 173—178.
QIU Hong-quan, LUO Jian. Research on Ordering Strategy of Fresh Agricultural Products Based on Supply Chain Coordination[J]. *Journal of Mathematics in Practice and Theory*, 2016(15): 173—178.
- [12] 冯晖. 基于顾客分类和需求相关的特价商品 EOQ 模型构建[J]. *企业经济*, 2017(3): 130—134.
FENG Hui. Construction of EOQ Model of Special Offer Based on Customer Classification and Demand Correlation[J]. *Enterprise Economy*, 2017(3): 130—134.
- [13] EMMETT J L, BENEDICT M U. Production Planning for a Deteriorating Item with Stochastic Demand and Consumer Choice[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 116(2): 219—232.
- [14] 罗兵, 冯晖, 陈星岐. 新鲜度、价格和库存水平影响需求的高科技农产品订货策略[J]. *科技管理研究*, 2015, 35(10): 222—226.
LUO Bing, FENG Hui, CHEN Xing-qi. Ordering Strategy of High-tech Agricultural Products Influenced by Freshness, Price and Inventory Level[J]. *Science and Technology Management Research*, 2015, 35(10): 222—226.
- [15] 华泽钊, 李云飞, 刘宝林. 食品冷冻冷藏原理与设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 116—118.
HUA Zhe-zhao, LI Yun-fei, LIU Bao-lin. Principle and Equipment of Food Refrigeration[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1999: 116—118.
- [16] 范晓晴. 基于DC的三级冷链库存—配送一体化联合优化模型分析[D]. 烟台: 烟台大学, 2016: 15—17.
FAN Xiao-qing. Analysis of the Joint Optimization Model of Three-Level Cold Chain Inventory Distribution Integration Based on DC[D]. Yantai: Yantai University, 2016: 15—17.
- [17] MUKHOPASHYAY S, MUKHERJEE R N, CHAUDHURI K S. Joint Pricing And Ordering Policy for a Deteriorating Inventory[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2004, 47(4): 339—347.
- [18] HERBON A, LEVNER E, CHENG T C E. Perishable Inventory Management with Dynamic Pricing Using Time-temperature Indicators Linked to Automatic Detecting Devices[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 147(1): 605—613.
- [19] 李苏苏, 谢如鹤. 从经济学视角谈我国果蔬冷链流通体系建设[J]. *科技管理研究*, 2013(22): 215—219.
LI Su-su, XIE Ru-he. On the Construction of Cold Chain Circulation System of Fruits and Vegetables in China from the Perspective of Economics[J]. *Science and Technology Management Research*, 2013(22): 215—219.