

文章编号: 1001-0920(2016)09-1594-09

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2015.1111

需求依赖于产品价格和消费者时间偏好的定价与订货决策

吴胜¹, 雒兴刚², 陈振颂¹, 李延来¹

(1. 西南交通大学 交通运输与物流学院, 成都 610031; 2. 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘要: 研究产品的市场需求依赖于价格和消费者时间偏好情形下的供应链及其成员的最优定价与订货问题. 利用时间偏好因子刻画消费者的时间偏好, 利用产品市场需求关于零售价格的弹性指数反映消费者的价格敏感程度, 建立存在强势零售商、强势供应商和供需双方势力均衡3种渠道权力结构下的定价与订货模型. 数值结果表明, 在3种渠道权力结构下, 消费者的时间偏好和产品市场需求关于零售价格的弹性指数是供应链主导者最优定价、订货量和期望利润的单调减函数, 将其纳入定价与订货决策的影响因素予以考量能够增加供应链主导者的最大期望利润.

关键词: 3种渠道权力结构; 时间偏好; 零售价格; 定价与订货决策

中图分类号: F273.7

文献标志码: A

Pricing and ordering decisions with price-and consumer time preference-dependent demand

WU Sheng¹, LUO Xing-gang², CHEN Zhen-song¹, LI Yan-lai¹

(1. School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: LI Yan-lai, E-mail: yanlaili@home.swjtu.edu.cn)

Abstract: This paper studies the pricing and ordering strategies of the supply chain and its members based on the time preference of consumer and the retail prices of product. The time preference factor is used to measure the consumer time preference, the elasticity index of product's market demand about retail prices is used to reflect the price sensitivity of consumers, and the pricing and ordering models under three kinds of channel power structures (i.e., dominant retailer, dominant manufacture and balance of power between channel members) are built. The numerical results show that, under the three forms of channel coordination, the time preference of consumer and the elasticity index of product's market demand about retail prices are decreasing with respect to the optimal retail price, order quantity and expected profit for supply chain leader. The time preference of consumer and the retail price of product are considered as the decision making factors of affecting the pricing and ordering processes, which can increase the optimal expected profit of supply chain leader.

Keywords: three kinds of channel power structures; time preference; retail price; pricing and ordering decision making

0 引言

在经济全球化的今天, 随着互联网和电子商务的飞速发展, 产品销售的方式不再是单一的线下销售, 线上销售也成为重要的发展趋势. 然而, 供应链中基于各成员实力的不同而呈现的3种不同渠道权力结构^[1]却一直没有改变, 具体为: 存在强势零售商(例如京东商城、沃尔玛等)的渠道权力结构, 存在强势供应商(例如苹果公司、华为公司等)的渠道权力结构和供需双方势力均衡的渠道权力结构. 现有的研究往往单独基于不同的渠道权力结构展开: Geylani

等^[2]采用理论和实例说明了策略供应商怎样面对强势零售商; Dukes等^[3]研究了在渠道中零售商和供应商分别强势时的产品分类情况; 考虑以渠道协调为前提, Wang等^[4]构建了一种渠道模型, 使用该模型检验存在强势零售商时, 供应商应该怎样更好地协调渠道; 易余胤^[1]研究了制造商领导、零售商领导以及市场无领导者3种力量结构下竞争零售商的再制造闭环供应链博弈模型; Gan等^[5]基于风险中性的供应商和损失规避的零售商, 研究了供应链渠道协调问题. 本文基于3种不同渠道权力结构建立供应链定价与

收稿日期: 2015-09-07; 修回日期: 2015-11-22.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71371156, 71401142); 西南交通大学博士创新基金项目.

作者简介: 吴胜(1988—), 男, 博士生, 从事供应链决策理论、前景理论的研究; 李延来(1971—), 男, 教授, 博士生导师, 从事运作管理、决策理论与方法等研究.

订货模型。

即使在不同的渠道权力结构下,影响供应链定价与订货问题的因素也有部分是相同的,诸如消费者需求函数的形式,定价策略对消费者需求的影响等。孙浩等^[6]运用前景理论讨论了价格敏感随机需求下具有损失厌恶零售商的供应链定价和协调问题;许民利等^[7]探讨了需求依赖于价格的 Copula-CVaR 报童决策;计国君等^[8]针对需求受价格影响以及需求受价格、库存的共同影响这两种情况,考虑了易变质产品库存问题;You^[9]考虑了顾客需求依赖于价格的预售系统的订货和定价策略;Yue等^[10]利用博弈论分析了由供应商和零售商组成的供应链中的定价和广告决策;Jammernegg等^[11]分析了供应链的重要运作和市场决策中产品订货量和零售价格的相互影响。同时,还有大量文献^[12-14]考虑了不同情形下报童问题的最优定价和订货策略。

时间偏好这一概念源于依赖时间的选择结果,Fishburn等^[15]检验了实现一个结果的时间相对于期望结果的影响,证明了决策者在决策过程中存在时间偏好;Andersen等^[16]通过实验诱导成年丹麦人的风险和时间偏好发现,指数贴现函数更能反映决策者的时间偏好;Abdellaoui等^[17]得出了决策者在风险下的效用与随时间推移的效用不同的结论;Su^[18]建立了一个基于消费者时间偏好的动态定价模型。现实生活中,零售商在产品销售一段时间以后降低其零售价格的例子随处可见,原因即为随着时间的推移,消费者的时间偏好程度增加,产品的市场需求量减少,故其通过多次降价来增加期望利润。然而,当考虑产品在一个销售周期内只有一次定价的情况时,上述确定产品降价的方法便不具适用性,所以在产品发布初期的定价和订货中考虑消费者的时间偏好是尤其重要的。周建亨等^[19]建立了基于消费者时间偏好的供应链订货模型,但模型中选取了固定的产品零售价格,故未考虑产品零售价格对消费者需求的影响,也没有分析消费者的时间偏好对供应链及其成员最优定价与订货策略的影响,更没有基于不同的渠道权力讨论供应链及其成员的定价与订货策略。

综上所述,本文将结合既有研究成果,在存在强势零售商、强势供应商和供需双方势力均衡等3种不同渠道权力结构下,考虑消费者时间偏好和产品零售价格对供应链最优定价与订货策略的影响。相比于已有的研究,本文的创新点是:基于3种渠道权力结构,将消费者的时间偏好和产品零售价格这两个影响产品市场需求的重要因素共同纳入供应链定价与订货的模型建立中,使用指数函数刻画消费者在购买产品时的时间偏好;使用乘积型函数反应产品市场需求的价格依赖。同时,分析消费者时间偏好和产品市场需

求关于价格的弹性指数对3种渠道权力结构下供应链主导者最优定价、订货量和期望利润的影响,以便为其在实际的供应链管理中基于消费者的时间偏好和产品零售价格制定最优定价与订货策略提供有效和可靠的决策理论依据。

1 模型建立

1.1 问题描述

本文研究由一个零售商和一个供应商组成的单级的两级供应链系统的定价与订货问题。基于实际供应链渠道中零售商和供应商实力的不同,形成存在强势零售商、存在强势供应商和供需双方势力均衡等3种不同的渠道权力结构。需要指出的是,无论在何种渠道权力结构下,消费者时间偏好和产品零售价格都是影响产品市场需求的重要因素。基于上述考量,本文建立3种渠道权力结构下以供应链主导者期望利润最大化为目标的定价与订货模型。同时,供应链主导者在实际的决策过程中可能存在3种情况:

情况1 考虑消费者的时间偏好和产品的零售价格等因素对其定价与订货策略的影响。

情况2 不考虑消费者的时间偏好和产品的零售价格等因素对其定价与订货策略的影响。

情况3 不考虑这两方面因素,但其影响实际存在。

鉴于此,本文通过实例比较分析3种情况下的定价与订货策略。最后,鉴于消费者的时间偏好和产品的零售价格等因素对消费者需求的切实重要性,分别讨论他们对供应链定价与订货策略的影响。

1.2 符号说明

下面给出本文所使用的符号以及符号说明: T 为产品的一个销售周期, p 为单位产品的零售价格, c 为单位产品的生产成本, w 为单位产品的批发价格, b 为单位产品的回收价格, q 为产品的订货量, d_1 为产品初始的市场需求量, d_2 为需求依赖于零售价格和消费者时间偏好等因素的产品的市场需求量, D_1 为产品一个销售周期内初始的市场总需求量, D_2 为需求依赖于零售价格和消费者时间偏好等因素的产品在一个销售周期内的市场总需求量, λ 为需求依赖于价格和消费者时间偏好的库存系统的市场总需求系数, δ 为产品的市场需求关于零售价格的弹性指数, β 为消费者的时间偏好因子。

1.3 模型假设

影响产品市场需求的因素众多,本文不仅考虑产品市场需求的价格依赖,还考虑消费者的时间偏好对产品市场需求的影响,以及其造成最优定价与订货策略的变化。此外,本文基于以下假设:1)产品在一个销售周期内只进行一次定价和订货;2)产品的市场总需

求函数是服从某种分布的连续随机变量; 3) 产品的运输费用包含在生产成本里, 存储费用不予考虑; 4) 3 种渠道权力结构下的供应链渠道都通过某种协议或契约达到渠道协调。

假设产品在一个销售周期 T 内的市场需求量 $D(p, t)$ 由零售价格 p 和消费者的时间偏好函数 $f(t)$ 共同决定, 当不考虑上述两方面因素时, 产品的市场总需求量为

$$D_1 = \int_0^T d_1 dt = T d_1. \quad (1)$$

假设 D_1 为一个连续随机变量, 其概率函数为 $\varphi(D_1)$, 则累积概率密度函数为

$$\Psi(D_1) = \int_0^q \varphi(D_1) dD_1. \quad (2)$$

关于产品市场需求的价格依赖, Wang 等^[20]考虑了两种需求函数: 乘法需求函数和加法需求函数. 本文结合需求函数的特征, 假设有如下乘法需求函数:

$$\tilde{d}_1(d_1, p) = z p^{-\delta} d_1. \quad (3)$$

其中: $z > 0$ 为常数; $\delta \geq 1$ 为产品零售价格关于市场需求的弹性指数, 该值越大, 说明市场需求量受零售价格的影响越大, 即消费者的价格敏感性越强, 反之说明消费者对该产品的价格敏感性越弱。

考虑消费者的时间偏好. Andersen 等^[16]指出, 反映决策者时间偏好的指数贴现函数比双曲贴现函数更稳健, 因此, 本文假设指数时间偏好函数

$$f(t) = e^{-\beta t}. \quad (4)$$

其中: $t \in (0, T]$; $\beta = 0$ 表示消费者没有时间偏好, 即消费者认为获得一个产品的时间先后对自己没有影响. 然而, 在现实生活中, 任何一个消费者都存在不同程度的时间偏好, 因此, 本文中取 $\beta > 0$. 将消费者时间偏好和产品零售价格纳入考量, 由式 (3) 和 (4) 可得产品的实际市场需求量

$$d_2(d_1, p, t) = \tilde{d}_1(d_1, p) f(t) = z p^{-\delta} e^{-\beta t} d_1. \quad (5)$$

在考虑上述两方面因素后, 可得产品在一个销售周期 $t \in (0, T]$ 内的市场总需求量

$$D_2 = \int_0^T d_2(d_1, p, t) dt = \int_0^T z p^{-\delta} e^{-\beta t} d_1 dt = \frac{z}{\beta p^\delta} (1 - e^{-\beta T}) d_1, \quad (6)$$

因此, 由式 (2) 和 (6) 可得如下关系:

$$D_2 = \lambda D_1. \quad (7)$$

其中: $\lambda = \frac{z}{\beta p^\delta T} (1 - e^{-\beta T})$ 为需求依赖于价格和消费者时间偏好的库存系统的市场总需求系数, 由式 (7) 可知, λ 反映了决策者考虑消费者时间偏好和产品零售价格等因素后的市场总需求与产品的初始市场总需求的关系: D_1 确定以后, λ 越大, 产品实际市场总需求量越大; 反之, 产品实际市场总需求量越小。

定理 1 产品库存系统的市场总需求系数 λ 是关于消费者时间偏好因子 β 和产品市场需求关于零售价格的弹性系数 δ 的单调减函数; 同时, 也是关于产品零售价格 p 的单调减函数。

证明 由几何关系可得

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \beta} = \frac{z}{T p^\delta \beta^2 e^{\beta T}} (1 + \beta T - e^{\beta T}) < 0,$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \delta} = -\frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - e^{-\beta T}) \ln p < 0,$$

$$\frac{\partial \lambda}{\partial p} = -\frac{\delta z}{\beta T p^{\delta+1}} (1 - e^{-\beta T}) < 0.$$

由此可知, λ 是随 β 和 δ 的单调减函数, 也是随零售价格 p 的单调减函数. \square

综上所述, 消费者的时间偏好因子 β 和产品的市场需求关于零售价格的弹性系数 δ 直接影响了产品的市场总需求, 从而造成了供应链成员最优定价与订货策略的变化. 为了方便计算, 可求得考虑消费者时间偏好和产品零售价格因素后的市场总需求的概率密度函数 $g(D_2)$ 和未考虑这些因素的累积概率密度函数 $\varphi(D_1)$ 的关系如下:

$$g(D_2) = \frac{1}{\lambda} \varphi\left(\frac{D_2}{\lambda}\right) = \frac{1}{\lambda} \varphi(D_1). \quad (8)$$

1.4 模型建立

当需求依赖于产品价格和消费者时间偏好时, 若 $D_2 < q$, 则有

$$E_1(s) = \int_0^q D_2 g(D_2) dD_2; \quad (9)$$

若 $D_2 \geq q$, 则有

$$E_2(s) = \int_q^{+\infty} q g(D_2) dD_2. \quad (10)$$

因此, 产品的市场总期望销售量为

$$\begin{aligned} E(s) &= E_1(s) + E_2(s) = \\ &= \int_0^q D_2 g(D_2) dD_2 + \int_q^{+\infty} q g(D_2) dD_2 = \\ &= \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \lambda D_1 \frac{1}{\lambda} \varphi(D_1) d(\lambda D_1) + \\ &= \int_{\frac{q}{\lambda}}^{+\infty} q \frac{1}{\lambda} \varphi(D_1) d(\lambda D_1) = \\ &= q - \lambda \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1. \end{aligned} \quad (11)$$

当 $D_2 < q$ 时, 产品出现剩余, 其期望剩余量为

$$\begin{aligned} E(q) &= \int_0^q (q - D_2) g(D_2) dD_2 = \\ &= \lambda \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1. \end{aligned} \quad (12)$$

因此, 零售商利润的期望值为

$$\begin{aligned} \Pi_r &= E(s)p + E(q)b - qw = \\ &= q(p - w) + \lambda(b - p) \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1, \end{aligned} \quad (13)$$

供应链利润的期望值为

$$\Pi_s = q(p - c) - p\lambda \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1. \quad (14)$$

基于式(13)和(14)可获得供应商利润的期望值

$$\Pi_m = q(w - c) - b\lambda \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1)dD_1. \quad (15)$$

后续3小节将分别在3种不同的渠道权力结构下建立基于消费者时间偏好和产品零售价格的供应链最优定价与订货决策模型。

1.4.1 强势零售商下的最优定价与订货策略

在一个存在单一强势零售商和单一弱势供应商的二元供应链渠道权力结构下,强势零售商和弱势供应商共同商讨产品的批发价格.而强势零售商具有决策的主动权,能够根据需要单独制定产品的零售价格和订货量.因此,在实际的定价和订货决策中,强势零售商根据协商的批发价格 w 设定最优零售价格 p^* 和订货量 q^* ,从而使自身的期望利润 Π_r 最大化,即

$$\begin{aligned} \max_{p,q} \Pi_r &= q(p - w) + \lambda(b - p) \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1)dD_1. \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \lambda = \frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - p^{-\beta T}); \\ w \leq p, b \leq p, w, b, p, q, \beta, T > 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (16)$$

其中: Π_r 为一个关于 p, q 的连续函数,且存在连续的二阶偏导数.

定理 2 当满足海塞矩阵

$$H_r = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial p q} \\ \frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial p q} & \frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial q^2} \end{bmatrix} > 0$$

时,强势零售商利润 Π_r 是关于订货量 q 的凹函数,并且存在极大值点 (q^*, Π_r^*) ,同时该点也是使零售商利润最大化的最值点.

证明 对 Π_r 求关于 q 的一阶和二阶偏导数,即

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_r}{\partial q} &= p - w + (b - p) \Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right), \\ \frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial q^2} &= \frac{b - p}{\lambda} \varphi\left(\frac{q}{\lambda}\right). \end{aligned}$$

由于 $b < p$, 且 $\varphi(\cdot) > 0$, $\frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial q^2} < 0$, 若 $H_r > 0$, 则可知 Π_r 是关于 q 的凹函数. 由 $\frac{\partial \Pi_r}{\partial q} = 0$ 可得

$$q^* = \frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - e^{-\beta T}) \Psi^{-1}\left(\frac{p - w}{p - b}\right), \quad (17)$$

即为零售商期望利润最大化时的最优订货量. \square

同理,由 $\frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial p^2} < 0$ 和 $H_r > 0$ 可知,存在最优的零售价格使强势零售商的期望利润最大化,且由 $\frac{\partial \Pi_r}{\partial p} = 0$, 即

$$\begin{aligned} q - \lambda \left(\frac{\delta b}{p} - \delta + 1 \right) \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1)dD_1 + \\ \delta q \frac{b - p}{p} \Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right) = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

可求出对应的最优零售价格 p^* . 当给定一个总需求的分布函数时,通过式(18)即可求得零售商最优的零售价格 p^* . 为了清楚地反映 p_r^* 和 q_r^* 与各参数的关系,下

面以产品的市场总需求 $D_1 \sim U(0, M)$ 为例求解零售商的最优零售价格和订货量的函数表达式,同时,假设产品市场需求关于零售价格的弹性指数 $\delta = 3$.

根据上述假设条件及式(17)和(18)可以分别求得最优的零售价格和订货量

$$\begin{cases} p_r^* = \frac{b + 4w + r}{4}, \\ q_r^* = \frac{32w^2(4w - 3b - r) + br(b + 8w) - b^3}{27b^4w^2M^{-1}k^{-1}}. \end{cases} \quad (19)$$

其中 $k = \frac{z(1 - e^{-\beta T})}{\beta T}$, $r = \sqrt{b^2 - 16bw + 16w^2}$.

由式(19)可知,当 D_1 的分布函数和 δ 确定以后,最优的零售价格由产品回收价格 b 和批发价格 w 控制,最优的订货量除了受上述两个因素影响外,还取决于消费者的时间偏好因子 β 和产品的销售周期 T 等因素.

1.4.2 强势供应商下的最优定价与订货策略

在供应链的实际运行中,供应商因拥有强大的实力,在产品的批发价格、订货量等方面占主导地位,因此,零售商在一定程度上依赖于供应商.在该种渠道权力结构下,由强势供应商首先决定产品的批发价格和订货量,以便使自身的利润最大化.然而,强势供应商的最优利润受产品零售价格和订货量的影响,故考虑其最优定价和订货策略时,首先考虑零售商制定的零售价格 p (使零售商的期望利润 Π_r 最大化的 p_r^* 可以由式(17)和(18)获得),再基于自身利润的最大化制定一个最优的批发价格 w ($c \leq w \leq p$) 和订货量 q . 但是,在制定最优零售价格时,若 $w - c - b > 0$,则不管产品的市场总需求量 D_2 大小如何,供应链的期望利润 $\Pi_m = (w - c - b)q + D_2b$ 都是关于订货量 q 的单调增函数,因此在实际的供应链运营中,零售商不会允许这种情况发生(即 $w \leq c + b$). 所以,强势供应商期望利润最大化的目标函数如下所示:

$$\begin{aligned} \max_{q,w} \Pi_m &= (w - c)q - b\lambda \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1)dD_1. \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \lambda = \frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - e^{-\beta T}); \\ c \leq w \leq p, w \leq c + b; \\ c, b, w, p, q, \beta, T > 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (20)$$

由上式可知, Π_m 是关于 q 和 w 的连续函数,并且存在连续的二阶偏导数.

定理 3 在存在强势供应商的渠道权力结构下,如果海塞矩阵

$$H_m = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \Pi_m}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \Pi_m}{\partial p q} \\ \frac{\partial^2 \Pi_m}{\partial p q} & \frac{\partial^2 \Pi_m}{\partial q^2} \end{bmatrix} > 0$$

成立,则可知,强势供应商的期望利润 Π_m 是关于订货量 q 的凹函数,且存在最优的订货量 q_m^* ,使得供应商期望利润最大化.

证明 对 Π_m 求关于 q 的一阶和二阶偏导数

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_m}{\partial q} &= w - c - b\Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right), \\ \frac{\partial^2 \Pi_m}{\partial q^2} &= -\frac{b}{\lambda}\varphi\left(\frac{q}{\lambda}\right), \end{aligned}$$

易知 $\frac{\partial^2 \Pi_m}{\partial q^2} < 0$, 并且若 $H_m > 0$, 则 Π_m 是关于 q 的凹函数. 由 $\frac{\partial \Pi_m}{\partial q} = 0$ 可得

$$q_m^* = \frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - e^{-\beta T}) \Psi^{-1}\left(\frac{w - c}{b}\right), \quad (21)$$

即为强势供应链期望利润最大化时的最优订货量. \square

同理, 由 $\frac{\partial^2 \Pi_m}{\partial w^2} < 0$ 和 $H_m > 0$ 可知, 在存在强势供应商的渠道权力结构下, 也存在最优的批发价格使强势供应商期望利润最大化, 最优的批发价格 w_m^* 能够通过如下等式获得:

$$q - b \frac{\partial \lambda}{\partial w} \left[\int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1 - \frac{q^2}{\lambda} \Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right) \right] = 0. \quad (22)$$

1.4.3 供需双方势力均衡下的最优定价与订货策略

在供应链渠道中, 当零售商和供应商势力均衡时, 为了实现双赢, 供需双方以供应链的整体利润最大化为目标, 制定最优的定价和订货策略. 在这种渠道权力结构下, 产品的批发价格等因素属于供应商和零售商的内部问题, 可以通过一定的契约解决. 考虑供应链期望利润最大化的目标函数为

$$\begin{aligned} \max_{q,p} \Pi_s &= q(p - c) - p\lambda \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1, \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \lambda = \frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - e^{-T\beta}); \\ c \leq p, c, p, q, \beta, T > 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (23)$$

式(23)中, Π_s 是关 q 和 p 的连续函数, 并且存在连续的二阶偏导数.

定理 4 在供需双方势力均衡的渠道权力结构下, 如果海塞矩阵

$$H_m = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial p q} \\ \frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial p q} & \frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial q^2} \end{bmatrix} > 0$$

成立, 则可知, 供应链整体利润 Π_s 是关于订货量 q 的凹函数, 且存在最优的订货量 q_s^* 使供应链期望利润最大化.

证明 对 Π_s 求关于 q 的一阶和二阶偏导数

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_s}{\partial q} &= p - c - p\Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right), \\ \frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial q^2} &= -\frac{p}{\lambda}\varphi\left(\frac{q}{\lambda}\right), \end{aligned}$$

易知 $\frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial q^2} < 0$, 并且由 $H_s > 0$ 可知, Π_s 是关于 q 的凹函数. 由 $\frac{\partial \Pi_s}{\partial q} = 0$ 可以求得供应链期望利润取最大值时的最优订货量

$$q_s^* = \frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - e^{-\beta T}) \Psi^{-1}\left(\frac{p - c}{p}\right). \quad (24)$$

由此定理 4 得证. \square

同理, 由 $\frac{\partial^2 \Pi_s}{\partial p^2} < 0$ 和 $H_s > 0$ 可知, 存在最优的零售价格使供应链期望利润最大化, 最优的零售价格 p_s^* 可通过下式获得:

$$q\left(1 - \delta\Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right)\right) + \lambda(\delta - 1) \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1 = 0. \quad (25)$$

1.4.4 3种渠道权力结构下不同情况的决策者的策略比较

在 3 种渠道权力结构下, 虽然决策的主导者不同 (分别为强势零售商主导、强势供应商主导以及零售商和供应商共同主导), 但供应链主导者在决策时都会面对 2.2 小节问题描述中的 3 种情况. 本节比较分析这 3 种情况下决策者的定价与订货策略, 以及消费者时间因子 β 和产品市场需求关于零售价格的弹性指数 δ 对订货量、零售价格和供应链主导者最大期望利润的影响.

由 1.4.1 ~ 1.4.3 节的分析可知, 情况 1 下决策者的定价和订货模型分别为式(16)、(20)和(23), 其最优订货量分别为式(17)、(21)和(24), 最优订价策略分别由式(18)、(22)和(25)获得. 当式(16)、(20)和(23)中的 $\lambda = 1$ 时, 即为决策者在情况 2 下的最优定价与订货模型, 对其求关于 q 的一阶偏导数可得此时的最优订货量

$$q_r^* = \Psi^{-1}\left(\frac{p - w}{p - b}\right), \quad (26)$$

$$q_m^* = \Psi^{-1}\left(\frac{w - c}{b}\right), \quad (27)$$

$$q_s^* = \Psi^{-1}\left(\frac{p - c}{p}\right). \quad (28)$$

由于不考虑产品的价格依赖, 有 $z p^{-1} = 1$, 即产品的零售价格 $p^* = \sqrt[\delta]{z}$. 对于情况 3, 决策者在制定定价与订货策略时没有考虑消费者的时间偏好和产品的价格依赖, 所以其最优定价与订货策略与情况 2 相同; 但产品实际的市场需求量受上述两方面因素的影响, 故其期望利润函数表达式分别为式(16)、(20)和(23). 因此, 在情况 3 下, 基于 3 种渠道权力结构的供应链主导者的期望利润分别为

$$\begin{aligned} \hat{\Pi}_r &= \hat{q}_r^* (p^* - w) + \lambda^* (b - p^*) \int_0^{\frac{\hat{q}_r^*}{\lambda^*}} \Psi(D_1) dD_1, \\ \hat{\Pi}_m &= \hat{q}_m^* (w - c) - b\lambda^* \int_0^{\frac{\hat{q}_m^*}{\lambda^*}} \Psi(D_1) dD_1, \\ \hat{\Pi}_s &= \hat{q}_s^* (p^* - c) - p^* \lambda^* \int_0^{\frac{\hat{q}_s^*}{\lambda^*}} \Psi(D_1) dD_1. \end{aligned} \quad (29)$$

其中: $p^* = \sqrt[\delta]{z}$, $\lambda^* = \frac{(1 - e^{-\beta T})}{\beta T}$. 因为式(29)~(31)只是期望利润表达式(17)、(21)和(24)的一组解, 而不是他们的最优解, 故 $\hat{\Pi}_r$, $\hat{\Pi}_m$ 和 $\hat{\Pi}_s$ 都小于情况 1 下的最大期望利润. 为了方便分析, 假设产品的初始市场需求服从均匀分布, 即 $D_1 \sim U(0, M)$, 基于该假设可得如下定理.

定理 5 3种渠道权力结构下, 基于情况1的供应链主导者的最优订货量 q^* 和零售价格 p^* 都是关于 β 和 δ 的单调减函数; 基于情况2和情况3的供应链主导者的最优定价与订货策略不受 β 和 δ 的影响.

证明 由式(17)、(18)、(21)、(22)、(24)和(25)易知, 3种渠道权力下基于情况1时, $\frac{\partial q^*}{\partial \beta} < 0, \frac{\partial q^*}{\partial \delta} < 0, \frac{\partial p^*}{\partial \beta} < 0, \frac{\partial p^*}{\partial \delta} < 0$, 故 q^* 和 p^* 分别随参数 β 和 δ 的增大而减小. 基于情况2和情况3供应链主导者因没有考虑消费者时间偏好的影响, 且产品定价为常数, 故其最优定价与订货策略不受参数 β 和 δ 的影响. \square

定理 6 3种渠道权力结构下, 基于情况1的供应链主导者的最大期望利润随 β 和 δ 的增大而减少; 基于情况2的供应链主导者的最大期望利润不受 β 和 δ 的影响; 基于情况3的供应链主导者的最大期望利润随 β 的增大而减小, 但不受 δ 的影响.

证明 分别对式(16)、(20)和(23)求关于 β 和 δ 的偏导数, 并由定理1可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_r}{\partial \beta} &= (p-b) \left[\frac{q}{\lambda} \Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right) - \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1 \right] \frac{\partial \lambda}{\partial \beta} = \\ &= \frac{q^2(p-b)}{2M\lambda} \cdot \frac{z}{Tp^\delta \beta^2 e^{\beta T}} (1 + \beta T - e^{\beta T}) < 0, \\ \frac{\partial \Pi_r}{\partial \delta} &= (p-b) \left[\frac{q}{\lambda} \Psi\left(\frac{q}{\lambda}\right) - \int_0^{\frac{q}{\lambda}} \Psi(D_1) dD_1 \right] \frac{\partial \lambda}{\partial \delta} = \\ &= -\frac{q^2(p-b)}{2M\lambda} \cdot \frac{z}{\beta T p^\delta} (1 - e^{-\beta T}) \ln p < 0. \end{aligned}$$

同理可得 $\frac{\partial \Pi_m}{\partial \beta} < 0, \frac{\partial \Pi_r}{\partial \delta} < 0, \frac{\partial \Pi_s}{\partial \beta} < 0, \frac{\partial \Pi_s}{\partial \delta} < 0$, 故3种渠道权力结构下基于情况1的供应链主导者的最大期望利润随 β 和 δ 的增大而减小. 因为情况2下, 供应链主导者不考虑参数 β 和 δ 的影响, 故他们不影响其最大期望利润. 由式(29)~(31)求关于 β 的导数可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{\Pi}_r}{\partial \beta} &= \frac{(\hat{q}_r^*)^2 (p^* - b) T}{2M(1 - e^{-\beta T})^2 e^{\beta T}} (1 + \beta T - e^{\beta T}) < 0, \\ \frac{\partial \hat{\Pi}_m}{\partial \beta} &= \frac{(\hat{q}_m^*)^2 b T}{2M(1 - e^{-\beta T})^2 e^{\beta T}} (1 + \beta T - e^{\beta T}) < 0, \\ \frac{\partial \hat{\Pi}_s}{\partial \beta} &= \frac{(\hat{q}_s^*)^2 p^* T}{2M(1 - e^{-\beta T})^2 e^{\beta T}} (1 + \beta T - e^{\beta T}) < 0. \end{aligned}$$

由此可知, 此时供应链主导者的最大期望利润随 β 的增大而减小. $\hat{\Pi}_r, \hat{\Pi}_m$ 和 $\hat{\Pi}_s$ 与参数 δ 无关, 故其最大期望利润不受 δ 的影响. \square

由上述定理可知: 在实际的供应链定价与订货决策过程中, 当供应链主导者没有将消费者的时间偏好和产品的零售价格等纳入产品市场需求的影响因素中时, 供应链主导者的最大期望利润将降低, 消费者的时间偏好越大, 产品市场需求关于零售价格的弹性指数越大, 供应链主导者的最大期望利润越小.

2 算例分析

下面以某公司推出的取暖电器为例, 分析3种渠

道权力结构下, 消费者时间偏好和产品零售价格等市场需求的影响因素对产品的最优定价、订货量和供应链及其成员的期望利润的影响. 相关参数设置如下: $c = 200, \delta = 3, z = 450^3, \beta = 0.12, T = 3, D_1 \sim U(0, 8.5)$.

2.1 存在强势零售商的渠道

假设产品的批发价格 $w = 320$, 图1显示了在存在强势零售商的渠道权力结构下零售商的期望利润与订货量和零售价格的变化关系.

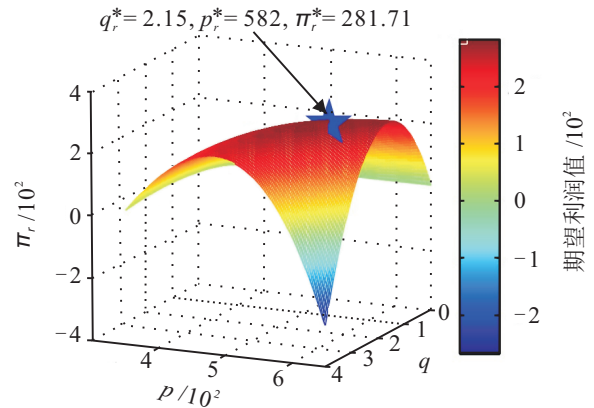


图1 存在强势零售商的渠道权力结构下零售商期望利润随产品零售价格和订货量的变化关系

由图1可知, 存在最优定价与订货策略使零售商期望利润最大化, 这也直观地验证了定理2的正确性.

表1基于3种情况: 情况1, 产品市场需求依赖于消费者时间偏好和产品零售价格; 情况2, 产品市场需求不依赖于消费者时间偏好和产品零售价格; 情况3, 产品市场需求依赖于上述两方面因素, 但零售商未考虑. 分析在存在强势零售商的渠道权力结构下, 供应链主导者(零售商)的最优定价、订货量和期望利润.

表1 在存在强势零售商的渠道权力结构下供应链主导者基于3种情况的最优定价与订货策略

3种情况	$p/元$	$q/万件$	$\Pi_r/万元$	$\Pi_s/万元$
情况1	582	2.15	281.71	413.63
情况2	450	4.10	266.02	580.03
情况3	450	4.10	215.08	495.14

由数据可知, 情况1下的最优订货量低于情况2和情况3, 而最优零售价格正好相反. 这是因为当产品的市场需求依赖于消费者的时间偏好和产品的零售价格等因素时, 零售价格越高, 产品的市场需求越低; 消费者的时间偏好越强烈, 产品的市场需求亦越低. 表1也反映了强势零售商在进行定价与订货决策时基于情况1的最大期望利润大于情况3, 这是因为零售商在情况1下的定价与订货策略是根据实际的市场需求量制定的, 而在情况3下, 零售商预测的市场需求量高于实际, 故而造成最大期望利润降低. 同时, 表1最后一行反映了在存在强势零售商的渠道权

力结构下, 强势零售商为了追求自身期望利润的最大化, 降低了供应链整体的最大期望利润.

2.2 存在强势供应商的渠道

基于理论分析可知, 在这种渠道权力结构下, 产品定价为

$$p = (b + 4w + \sqrt{b^2 - 16bw + 16w^2}/4).$$

图2给出了强势供应商的期望利润随产品批发价格和订货量的变化关系. 图2(a)为供应商制定的批发价格不受零售商限制时的变化关系图, 图2(b)为供应商考虑产品的批发价格不大于其成本与回收价格之和(即 $w \leq c + b$)时的关系图. 图2(a)和图2(b)使用数值算例验证了定理3的正确性.

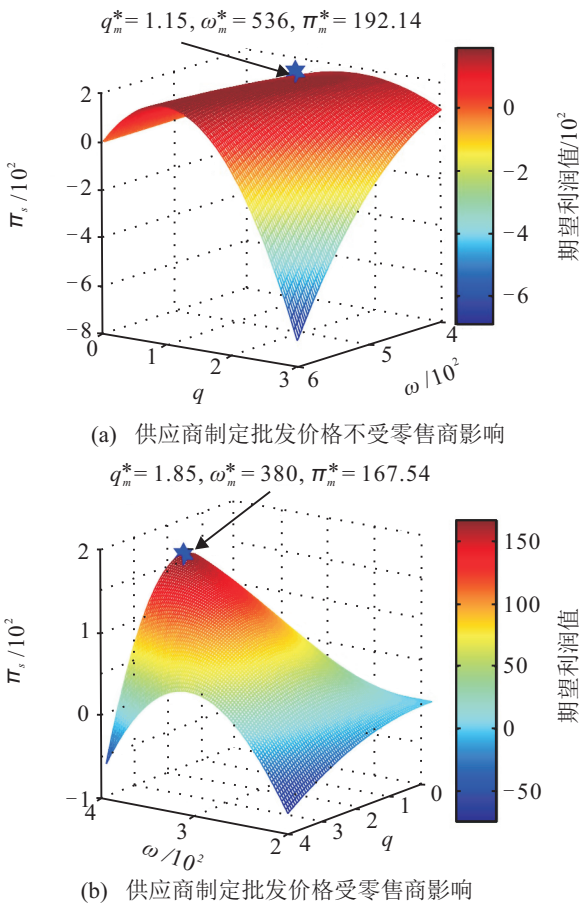


图2 强势供应商的期望利润随产品批发价格和订货量的变化关系

由图2(a)可知, 当供应商期望利润最大时, 零售商的期望利润为-109.54/万元. 在实际的供应链决策过程中, 零售商不会允许负利润产生, 故图2(b)反映了存在强势供应商的渠道权力结构下的最优定价与订货策略. 由式(19)可求出供应链的最优零售价格 $p_m^* = 704/元$.

表2显示了强势供应商在进行决策时基于3种情况的定价和订货量与供应商和供应链期望利润的关系, 可以发现与强势零售商主导时类似的结论: 情况1下的最优订货量低于情况2和情况3, 而最优零

售价格正好相反; 强势供应商在进行定价与订货决策时基于情况1时的最大期望利润大于情况3; 在存在强势供应商的渠道权力结构下, 强势供应商为了追求自身期望利润的最大化, 降低了供应链整体的最大期望利润.

表2 存在强势供应商的渠道权力结构下基于3种情况的供应商的最优定价与订货策略

3种情况	$p/元$	$q/万件$	$\Pi_m/万元$	$\Pi_s/万元$
情况1	704	1.85	167.54	286.18
情况2	450	5.65	340.00	567.49
情况3	450	5.65	162.51	406.28

2.3 供需双方势力均衡的渠道

在供需双方势力均衡的渠道权力结构下, 由式(23)可得供应链期望利润随定价与订货量的变化关系(如图3所示), 这亦验证了定理4的正确性.

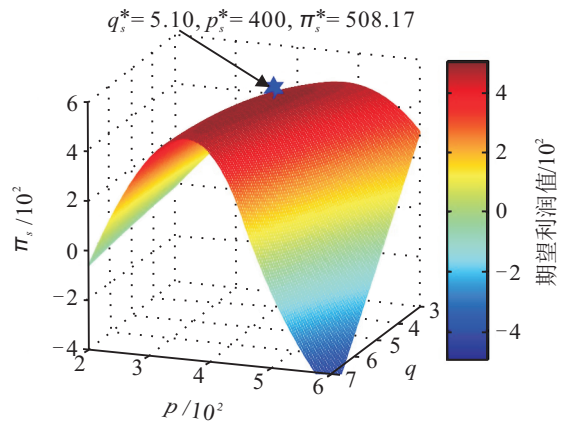


图3 在供需双方势力均衡的渠道权利结构下供应链的期望利润随产品零售价格和订货量的变化关系

表3给出了该种渠道权力结构下基于3种情况的最优定价、订货量和期望利润, 可以发现与表1和表2最优定价和订货量相反的结论, 但供应链主导者最大的期望利润在情况1下大于情况3下的这一结论相同.

表3 存在强势供应商的渠道权力结构下基于3种情况的供应商的最优定价与订货策略

3种情况	$p/元$	$q/万件$	$\Pi_s/万元$
情况1	400	5.10	508.05
情况2	450	4.70	590.26
情况3	450	4.70	478.71

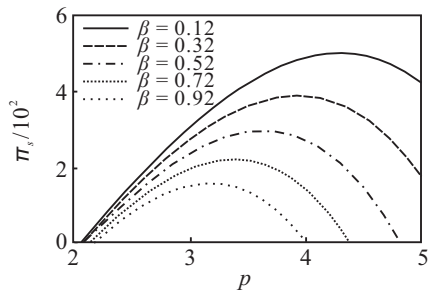
表4比较了3种渠道权力结构下的最优定价与订货策略, 以及供应链及其成员最大期望利润, 可以发现: 存在强势零售商和强势供应商的渠道下零售商和供应商都为了追求自身期望利润的最大化而降低了整个供应链的最大期望利润, 相比于供需双方势力均衡的渠道权力结构, 强势供应商下供应商为了追求自身期望利润的最大化, 反而降低了自身的最大期望利润. 因此, 在实际的供应链决策中要在供需双方势力均衡的渠道权力结构下制定最优定价与订货策略, 才能实现供应链及其成员的期望利润最大化.

表4 3种渠道权力结构下供应链及其成员的最优零售价格、订货量和期望利润

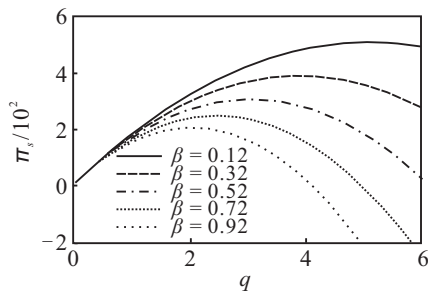
3种情况	p /元	q /万件	Π_r /万元	Π_m /万元	Π_s /万元
强势零售商	582	2.15	281.71	131.92	413.63
强势供应商	740	1.85	118.64	167.54	286.18
供需双方势力均衡	400	5.10	126.49	381.68	508.17

2.4 β 和 δ 对定价与订货策略的影响

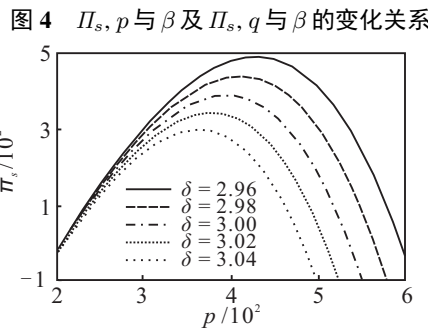
下面分析供需双方势力均衡的渠道权力结构下消费者时间偏好因子 β 和产品市场需求关于零售价格的弹性指数 δ 对供应链期望利润和最优定价与订货策略的影响, 如图4和图5所示。



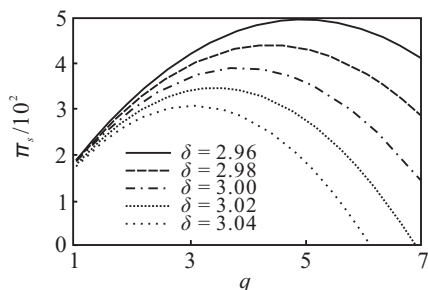
(a) 供应链的期望利润 π_s 和产品最优零售价格 p 与消费者时间偏好因子 β 的变化关系



(b) 供应链的期望利润 π_s 和产品最优订货量 q 与消费者时间偏好因子 β 的变化关系



(a) 供应链的期望利润 π_s 和产品最优零售价格 p 与产品市场需要关于零售价格的弹性指数 δ 的变化关系



(b) 供应链的期望利润 π_s 和产品最优订货量 q 与产品市场需要关于零售价格的弹性指数 δ 的变化关系

图5 Π_s, p 与 δ 及 Π_s, q 与 δ 的变化关系

强势供应商和强势零售商渠道下的变化关系和供需双方势力均衡渠道下的类似, 在此不予详细分析。图4(a)和图4(b)分别显示了当产品市场需求关于零售价格的弹性指数 δ 确定以后, 供应链最大期望利润 Π_s^* 、最优零售价格 p_s^* 和订货量 q_s^* 是随消费者时间偏好因子 β 的单调减函数。图5(a)和图5(b)分别显示了当消费者时间偏好因子 β 确定以后, 上述3个变量随产品市场需求关于零售价格的弹性指数 δ 的变化关系, 可以发现, Π_s^* 、 p_s^* 和 q_s^* 都是关于 δ 的单调减函数。图4和图5也验证了定理5和定理6的正确性。

实验研究表明, 消费者时间偏好和产品市场需求关于零售价格的弹性指数对供应链的最大期望利润、定价和订货策略都有较大的影响。因此, 在实际的定价与订货决策中考虑消费者的时间偏好和产品的价格依赖是非常必要的。

3 结论

本文在3种渠道权力结构下建立了基于消费者时间偏好和产品零售价格的定价与订货模型, 研究了消费者的时间偏好因子 β 、零售价格 p 、产品市场需求关于零售价格的弹性指数 δ , 以及产品的订货量 q 和供应链成员的期望利润 Π 等元素之间的关系。基于上述理论和数值研究得出如下结论。

1) 将消费者的时间偏好和产品市场需求的价格依赖等因素纳入定价与订货决策模型中, 供需双方势力均衡的渠道权力结构下供应链的最大期望利润仍旧大于存在强势零售商的渠道权力结构和存在强势供应商的渠道权力结构, 这与传统的不考虑这两方面因素对产品市场需求的影响时的结论一致。

2) 3种渠道权力结构下, 考虑消费者时间偏好和产品零售价格等因素的最优定价与订货策略能够更好地反映产品实际的市场需求量, 为制定合理的定价与订货策略提供了理论依据, 从而增加了供应链主导者的最大化期望利润。

3) 3种渠道权力结构下, 供应链及其成员最大期望利润、最优定价和订货策略与消费者的时间偏好因子和产品市场需求关于零售价格的弹性指数都成反比例关系。

上述结论给供应链管理提供了如下启示: 1) 随着电子商务的飞速发展和产品更新换代的加速, 消费者对产品的时间偏好越来越强烈, 如时尚品、电子产

品、服装等. 因此, 时间偏好因素对产品市场需求量的影响越来越大, 供应链管理者应将其纳入定价与订货模型中, 并及时了解消费者对不同产品的时间偏好程度. 2) 产品市场需求关于零售价格的弹性指数反映了消费者对产品的价格敏感程度, 大数据时代信息的快速传播使得消费者对产品的价格敏感程度逐渐增大, 供应链管理者应及时掌握消费者对不同产品的价格敏感程度. 3) 考虑消费者的时间偏好和产品市场需求的价格依赖后, 供应链管理者仍旧需要协调渠道成员的关系, 以实现供需双方的势力均衡.

综上所述, 本文所建立的将消费者的时间偏好和产品市场需求的价格依赖等因素纳入定价与订货决策的模型, 将为供应链管理者在对时尚品、电子产品、服装等产品进行定价与订货决策时提供可靠的理论依据.

参考文献(References)

- [1] 易余胤. 具竞争零售商的再制造闭环供应链模型研究[J]. 管理科学学报, 2009, 12(6): 45-54.
(Yi Y Y. Closed-loop supply chain gamemodels with product remanufacturing in a duopoly retailer channel[J]. J of Management Science in China, 2009, 12(6): 45-54.)
- [2] Geylani T, Dukes A J, Srinivasan K. Strategic manufacturer response to a dominant retailer[J]. Marketing Science, 2007, 26(2): 164-178.
- [3] Dukes A J, Geylani T, Srinivasan K. Strategic assortment reduction by a dominant retailer[J]. Marketing Science, 2009, 28(2): 309-319.
- [4] Wang C X, Webster S. Channel coordination for a supply chain with a risk-neutral manufacturer and a loss-averse retailer[J]. Decision Sciences, 2007, 38(3): 361-389.
- [5] Gan X H, Sethi S P, Yan H. Channel coordination with a risk-neutral supplier and a downside-risk-averse retailer[J]. Production and Operations Management, 2005, 14(1): 80-89.
- [6] 孙浩, 吴亚婷, 达庆利. 需求价格敏感下具有损失厌恶零售商的闭环供应链定价与协调[J]. 控制与决策, 2014, 29(10): 1885-1892.
(Sun H, Wu Y T, Da Q L. Pricing and coordinating a closed-loop supply chain with loss-averse retailer and price-dependent stochastic demand[J]. Control and Decision, 2014, 29(10): 1885-1892.)
- [7] 许民利, 李展. 需求依赖于价格环境下基于 Copula-CVaR 的报童决策[J]. 控制与决策, 2014, 29(6): 1083-1090.
(Xu M L, Li Z. Newsvendor decision based on Copula-CVaR with price-dependent demand[J]. Control and Decision, 2014, 29(6): 1083-1090.)
- [8] 计国君, 韩尚清. 基于第三方的易变质产品库存决策[J]. 控制与决策, 2015, 30(4): 663-669.
(Ji G J, Han S Q. Deteriorating item inventory decision-making research based on third-party[J]. Control and Decision, 2015, 30(4): 663-669.)
- [9] You P S. Ordering and pricing of service products in an advance sales system with price-dependent demand[J]. European J of Operational Research, 2006, 170(1): 57-71.
- [10] Yue J F, Austin J, Huang Z M, et al. Pricing and advertisement in a manufacturer-retailer supply chain[J]. European J of Operational Research, 2013, 231(1): 492-502.
- [11] Jammernegg W, Kischka P. The price-setting newsvendor with service and loss constraints[J]. Omega, 2013, 41(1): 326-335.
- [12] Yang S L, Shi C V, Zhao X. Optimal ordering and pricing decisions for a target oriented newsvendor[J]. Omega, 2011, 39(1): 110-115.
- [13] Hsieh C C, Chang Y L, Wu C H. Competitive pricing and ordering decisions in a multiple-channel supply chain[J]. Int J of Production Economics, 2014, 154(1): 156-165.
- [14] Long X Y, Nasiry J. Prospect theory explains newsvendor behavior: The role of reference points[J]. Management Science, 2015 61(12): 3009-3012.
- [15] Fishburn P C, Rubinstein A. Time preference[J]. Int Economic Review, 1982, 23(3): 677-694.
- [16] Andersen S, Harrison G W, Lau M I, et al. Eliciting risk and time preferences[J]. Econometrica, 2008, 76(3): 583-618.
- [17] Abdellaoui M, Bleichrodt H, I'Haridon O, et al. Is there one unifying concept of utility? An experimental comparison of utility under risk and utility over time[J]. Management Science, 2013, 59(9): 2153-2169.
- [18] Su X. Inter-temporal pricing with strategic customer behavior[J]. Management Science, 2007, 53(5): 726-741.
- [19] 周建亨, 蒋碧云, 徐琪. 基于消费者时间偏好的供应链订货策略[J]. 系统管理学报, 2014, 23(5): 650-657.
(Zhou J H, Jiang B Y, Xu Q. Supply chain ordering strategy based on customer time preference[J]. J of Systems & Management, 2014, 23(5): 650-657.)
- [20] Wang Y, Jiang L, Shen Z J. Channel performance under consignment contract with revenue sharing[J]. Management Science, 2004, 50(1): 34-47.