

基于策略型消费者的易逝品 最优定价研究

陈晓红, 易国栋, 成璐璐

(中南大学商学院, 长沙 410012)

[摘要] 随着信息获取变得越来越方便快捷, 消费者策略行为在日常生活中变得越来越普遍。同时, 产品的易腐蚀性使得时间敏感的消费者的选择更复杂。本文研究存在策略型消费者的易腐蚀性产品最优定价问题。垄断厂商在一定时期内销售有限个产品, 消费者根据效用最大化原则选择自身的最优购买时机。本文分为不补充库存和补充库存两种情形。研究表明, 厂商与消费者之间存在博弈均衡, 厂商公布定价策略后, 存在最优的阈值函数划分消费者结构。消费者的策略行为对厂商利润有重大影响, 厂商可以根据市场需求状况和消费者时间敏感程度通过适当的库存和价格设定来减少消费者策略行为带来的损失。补充库存只有在市场需求较大的时候才优于不补充库存情形。

[关键词] 易逝品; 策略型消费者; 最优定价; Stackelberg 博弈

[中图分类号] F270 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)01-0120-09

1 前言

动态定价和收益管理已经在零售业得到广泛的应用。销售商需要考虑市场环境、需求不确定和消费者行为等各种要素来进行销售决策。易逝性产品, 又称季节性产品或短生命周期产品, 如报纸、杂志、食品和时装等。时效性强、需求波动大的特征使得超过销售期(生命周期)的易逝性商品的剩余价值将会散失为零或变得很低。为了快速销售囤积的商品, 销售商经常进行各种降价促销活动。久而久之使得消费者开始形成等待销售商降价的习惯, 从而减少销售商的利润。厂商面对消费者的等待行为, 不得不采取相关手段来减少利润的降低。例如, BestBuy 通过客户关系管理有效地将这两类消费者区分开来, 从而在最大限度上减少因为消费者等待造成的损失^[1]; 还有如 Bloomingdale's,

Ann Taylor, Gap 和 Home Depot 等通过价格优化软件来处理销售期末的产品。

在现实生活中有大量的变质商品, 如牛奶、血液、生鲜农产品以及易挥发性产品等, 这类商品的质量随时间耗损, 并且这种耗损不可逆转, 从而导致商品价值的下降。变质商品价值耗散不同于其他易逝品, 如飞机座位、酒店客房通常根据需求状况来确定降价或提价, 但商品质量不会有太大变化(除去劳损等因素)。因为产品质量的耗损, 当厂商决定在销售期间补充库存时还必须考虑到消费者对质量耗损的敏感性。消费者敏感意味着消费者倾向于购买新补充的商品, 从而造成旧商品的囤积, 最终腐烂变质。这是销售商不愿意看到的, 为了避免这种现象, 厂商需要慎重选择第二次的订货量与定价策略。例如, 在酸奶市场, 经常有消费者在选择购买酸奶时, 会比较同类产品的生产日期,

[收稿日期] 2014-07-17

[基金项目] 国家自然科学基金委重大国际合作项目(71210003); 国家创新群体科学基金(71221061); 国家自然科学基金(71271216)

[作者简介] 陈晓红, 1963 年出生, 女, 湖南长沙市人, 教授, 博士生导师, 研究方向为中小企业融资与互联网金融、决策理论与决策支持系统、两型(资源节约型、环境友好型)社会与生态文明、金属矿产资源战略; E-mail: c88877803@163.com

然后选择生产日期较晚的产品。于是对于没有尽快销售出去的酸奶,只会面临被无情抛弃的命运。

可见,在关于易腐蚀性或易挥发性产品的最优定价决策中,应该考虑消费者的等待和择优的策略行为,而已有的这方面文献明显不足。

早期的动态定价大多忽略了消费者的策略行为。例如, Gallego 和 Ryzin(1994)^[2]以及 Bitran 和 Mondschein(1997)^[3]分析了连续和离散定价策略。他们考虑需求是随机的,但消费者是短视型的,消费者比较自身保留价值与商品价格决定购买与离开。

考虑消费者策略行为的厂商定价研究最早始于 Coase(1972)^[4],他认为即使是一个垄断厂商,在面临策略型消费者的等待行为时,也不得不采用边际成本定价方式,从而获得零利润。后来一些学者对该论断做出了严格的证明^[5,6]。Stokey(1979)^[7]证明销售商宣布一个关于时间连续的价格策略情况下,厂商的利润为零。Landsberger 和 Meilijson(1985)^[8]在 Stokey 的基础上考虑消费者和厂商不同的贴现率的情形。他们证明在消费者的贴现率大于厂商时,跨时期的价格歧视严格优于固定价格情形。Besanko 和 Winston(1990)^[9]考虑离散价格路线,分析了销售商和消费者之间的子博弈精炼纳什均衡,证明了降价策略是最优的。他们指出消费者的理性预期对厂商的定价决策具有重要影响,当垄断厂商将策略型消费者当成普通消费者对待时将会损失 50% 的利润。以上考虑消费者策略行为的文献都以厂商库存无限为基础,这与现实是不相符的。

Elmaghraby 等(2008)^[10]考虑了一个垄断厂商出售有限个库存的情形,厂商公布自己的多阶段降价策略,消费者是策略型的并且需求不止一个产品。Levin 等(2005)^[11]提出了动态定价模型,厂商在每售出 1 个产品后进行价格调整。为了模拟消费者的策略行为,他们引入了一个每周折扣因子,当折扣因子比较大的时候,消费者表现为短视(非策略),当折扣因子较小时消费者更愿意等待从而表现为策略型的消费者。作者证明了厂商与消费者之间存在一个唯一完美子博弈均衡。Su(2007)^[12]根据保留价值的高低和耐心与不耐心将消费者分为四类,但是需求是确定的。该文章证明了在保留价值和耐心程度上的联合异质性是最优价格策略结构的重要影响因素。例如,当高保留价值的消费者更耐

心(策略型消费者)时,价格上升是最优的;然而当高保留价值消费者不耐心(非策略型消费者)时,降价是最优的。Aviv 和 Pazgal(2008)^[13]考虑了消费者在随机到达情形下的厂商动态定价问题,消费者效用是关于时间的定性函数,消费者根据厂商不同阶段的定价来比较自己的剩余。为了降低消费者的策略行为,Liu 和 Van Ryzin(2008)^[14]则研究了容量配给决策在面对策略型消费者时的效果。进一步 Zhang 和 William(2008)^[15]认为如果价格是外生给定的,两期销售的容量配给策略可提高公司收益;如果价格是内生确定的,只是折扣价格比正常价格低很多情况下,容量配给策略对改善收益才起重要辅助作用。在考虑消费者策略行为的相互影响方面,Zhou 等(2005)^[16]分析了单个消费者面对动态定价时的购买决策,此时存在一个阈值,消费者根据阈值大小推断购买时机。Gallego 等(2004)^[17]研究了消费者与厂商之间互动从而获得产品的可获得性等知识的情形。Yin 和 Tang(2006)^[18]以及 Yin 等(2009)^[19]分析了厂商摆出一个商品或所有商品时消费者的策略行为及厂商的订货决策。

以上文献虽然考虑了厂商库存的限制,但是都是考虑的厂商在销售初期订购一定量的库存,在销售期不对库存进行补充的情形。并且他们的研究对象是一般的易逝品,而没有注意对产品属性进行区分,如易腐蚀性和易挥发性产品等变质商品与其他易逝品的特征有区别^[20,21]。实际上,对于易腐蚀性产品(如食品)来说,销售期补充库存的情形是比较常见的。因为与其他易逝商品相比,食品类的补充能力较强,能在短时间实现库存的补充。因此,本文研究在面对策略型消费者时易腐蚀性产品的最优定价问题。首先在不补充库存的情形下,得到厂商与消费者的纳什均衡,然后扩展到补充库存的情形,最后对两种情况进行对比。

2 模型假设

本文考虑一个垄断销售商在一段时期内销售有限个易逝品的两阶段定价问题。这里的易逝性商品是指易腐烂或易挥发的商品。销售商在开始宣布自己的两阶段价格策略。商品的价值随着时间的消逝而减少,到销售期末未售出的商品价值变为零,为简便起见销售周期假定为 $[0, 1]$ 。此种情况下, λ 就表示整个销售期顾客的平均到达率。商品价值受时间因素的影响在零售、酒店和机票管理

等行业中普遍存在,但是易腐蚀性商品价值的变化来自内生质量变异,而酒店房间和飞机座位价值的变化却是外部供求关系的结果。销售期分为 $[0, T]$ 和 $[T, 1]$ 两个阶段,价格分别为 p_1 和 p_2 ,降价时刻点 T 预先给定。

顾客以泊松过程到达商店,到达率为 λ 。与 Bitran 和 Mondschein(1997)^[3]的假设一样,顾客的到达率只受消费者的购买习惯的影响,而不受商品价格的影响。但是因为库存是有限的,策略型消费者需要估计等待时刻商品的获得概率,从而也就需要判断其他消费者的策略行为,即策略型消费者之间存在相互影响。顾客知道自己保留价值,而垄断销售商不知道,但是垄断销售商知道消费者群体的保留价值分布情况。假设消费者保留价值 $V(t)$ 服从 $[0, e^{-\alpha t}]$ 上的均匀分布。这种假设可以从两方面解释:一是忽略时间因素的话,消费者的保留价值均匀分布在区间 $[0, 1]$ 上;二是因为易逝品对时间的敏感性,消费者的保留价值是随时间递减的,此处假设为指数递减^[13]。策略型消费者会与销售商进行博弈,根据销售商的定价策略来决定自己的购买时机。销售商率先公布自己的方案,消费者跟随销售商的策略而行动,同时销售商又能预期消费者的策略行为,从而形成一个 Stackelberg 博弈。

符号说明: λ 为顾客到达率,假设顾客以泊松过程到达,单位时刻平均到达率为 λ ; p_i ($i=1, 2$) 为两阶段价格策略; c 为产品单位成本,为简便起见,忽略库存费用,只考虑产品单位成本费用; T 为降价时刻点, $0 < T < 1$; $V(t)$ 为 t 时刻消费者的保留价值, $V(t) = Ve^{-\alpha t}$, 其中 V 服从 $[0, 1]$ 的均匀分布,累积分布函数为 $F(\cdot)$; I 为销售初期厂商的库存; Q 为销售期间厂商补充的库存, $Q=0$ 表示厂商不补充库存。

3 不补充库存情形

3.1 消费者策略

这是一个两阶段的动态博弈,用倒退归纳法分析消费者的选择。首先消费者在给定销售商的定价策略 (p_1, p_2) 以及推断第二阶段能够获得产品的概率 θ_w 条件下,会对自己在两阶段的期望收益进行权衡。一方面消费者的保留价值随时间递减,另一方面要承担可能买不到该产品的风险。直觉上来看,一个拥有较高保留价值的顾客可能更愿意在第

一阶段购买以避免可能买不到产品的风险。

显然,在第一阶段 t 时刻立即购买产品时获得的剩余为 $[V(t) - p_1]$, 因为 $V(t)$ 在 $[t, T]$ 上是减函数,所以在 (t, T) 内购买产品的剩余必将降低;而消费者等待在降价点购买获得的消费者剩余为 $\theta_w[V(T) - p_2]$ 。策略型消费者需要衡量这两种情形下消费者剩余的相对大小,从而决定自己的购买时机。

定理 1: 不补充库存时,给定 $\{p_1, p_2\}$, 那么存在最优的阈值函数 $\psi(t)$, 当 $V(t) > \psi(t)$ 时, 消费者选择立即购买, 否则直接离开或等待在 T 时刻购买(如果 $V(T) \geq p_2$)。 $\psi(t)$ 满足如下

$$\psi(t) = \begin{cases} \max \left\{ \frac{p_1 - \theta_w p_2}{1 - \theta_w e^{-\alpha(T-t)}}, p_1 \right\}, & 0 \leq t < T \\ p_2, & t \geq T \end{cases} \quad (1)$$

其中

$$\theta_w = \sum_{x=0}^{I-1} \Pr(x|I) A(I-x|m_w^2) \quad (2)$$

证明: 在 $t \in [0, T)$ 时, 当 $V(t) - p_1 \geq \theta_w [V(t)e^{-\alpha(T-t)} - p_2]$ 时, 第一阶段购买的消费者剩余大于等于第二阶段购买的消费者剩余, 解得 $V(t) \geq (p_1 - \theta_w p_2) / [1 - \theta_w e^{-\alpha(T-t)}]$; 而消费者选择在第一阶段购买还必须满足 $V(t) \geq p_1$, 得 $\psi(t) = \max \left\{ (p_1 - \theta_w p_2) / [1 - \theta_w e^{-\alpha(T-t)}], p_1 \right\}$; 在 $t \geq T$ 时, 显然消费者的保留价值大于等于 p_2 就会立即购买, 否则离开。(证毕)

在式(2)中, $A(K|m) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{K}{\max(k, K)} \Pr(km)$ 表示 K 个单位产品的分配概率, 其中 m 为泊松过程的平均到达率; m^1 、 m_w^2 分别为第一阶段和等待第二阶段购买产品的顾客的平均到达率, 见式(3)和式(4)。可见, 消费者进行抉择时会通过考虑其他消费者的行为来推断未来获得产品的概率, 当库存较小时, 概率越小, 从而等待的人也会越少。

3.2 利润模型

从前面的分析可知, 因为消费者的策略选择行为, 可将贡献利润的消费者分为 3 种类型: 一是第一阶段保留价值高于商品价格的消费者; 二是第一阶段决定等待在 T 时刻购买商品的消费者; 三是第二阶段保留价值高于商品价格的消费者。

在第一阶段, 因为可观察到销售商的降价行

为,策略型消费者根据式(1)进行决策。在第一阶段购买商品的顾客的平均到达率为

$$m^1 = \lambda \int_0^T \{1 - F[\psi(t)e^{\alpha t}]\} dt \quad (3)$$

除去在第一阶段立即购买商品的消费者,还有一部分策略性消费者选择等待在降价时刻点 T 时刻购买商品,到达率为 m_w^2 。

$$m_w^2 = \lambda \int_0^T \left(F\{\max[\psi(t)e^{\alpha t}, p_2 e^{\alpha t}]\} - F(p_2 e^{\alpha t}) \right) dt \quad (4)$$

在第二阶段,消费者的策略选择行为消失,当保留价值大于商品价格时立即购买商品,到达率为 m_l^2 。

$$m_l^2 = \lambda \int_T^{\infty} [1 - F(p_2 e^{\alpha t})] dt \quad (5)$$

令 $\Pr(j|lm)$ 表示商品销售量的密度函数,从而销售商的利润模型为

$$\begin{aligned} \pi_l = \max_p \left\{ I p_1 \left[1 - \sum_{j=0}^{l-1} \Pr(j|lm^1) \right] \right. \\ \left. + \sum_{j=0}^{l-1} [j p_1 + p_2 N(I-j, m_w^2 + m_l^2)] \Pr(j|lm^1) \right\} - cI \end{aligned} \quad (6)$$

其中, $N(I, m) = \sum_{k=0}^{\infty} \min(I, k) \Pr(k|lm)$ 表示库存为 I , 平均销售率为 m 的条件下的期望销售量。

4 有库存补充的情形

4.1 消费者策略

易腐蚀性产品的损耗具有不可逆转性,在第二阶段补充的产品不能替代第一阶段剩余下来的产品,但是新补充的商品给了消费者另外一种选择,消费者可以选择等待在第二阶段购买新补充的商品,也可以等待在第二阶段以较低价格购买第一阶段剩余的产品。当面对这3种选择时,消费者如何抉择?将会对销售商产生怎样的影响?策略型消费者对商品价值要求较高,而新补充进来的商品满足他们的要求,因此会有更多的人选择等待。但过

$$\tilde{\psi}_1(t) = \begin{cases} \max \left\{ \frac{p_1 - \tilde{\theta}_w p_1}{1 - \tilde{\theta}_w e^{\alpha t}}, \frac{p_1 - \theta_w p_2}{1 - \theta_w e^{-\alpha(T-t)}}, p_1 \right\}, & t < \min\left(\frac{1}{\alpha} \ln \frac{1}{\tilde{\theta}_w}, T\right) \\ \infty, & t \geq \min\left(\frac{1}{\alpha} \ln \frac{1}{\tilde{\theta}_w}, T\right) \end{cases} \quad (7)$$

$$\tilde{\psi}_2(t) = \begin{cases} \max \left\{ \frac{p_1 - p_2}{e^{\alpha t} - e^{-\alpha(T-t)}}, p_1 e^{-\alpha t} \right\}, & t < T \\ \max \left\{ \frac{p_1 - p_2}{e^{\alpha t} - 1}, p_1 e^{-\alpha t} \right\}, & t \geq T \end{cases} \quad (8)$$

其中, $\tilde{\theta}_w$ 为选择等待的消费者在第二阶段获得新补充商品的概率; θ_w 为选择等待的消费者在第二阶段

多的消费者选择第二阶段购买会造成第一阶段商品的囤积,这对于易腐蚀性商品来说损失是非常大的,因此当销售商决定补充库存时,需要为此造成的更多的等待够买付出代价。于是,决定补充水平也是销售商需要衡量的重要因素。如果补充过多,一是成本的增加,二是造成更多的人选择等待,从而侵蚀销售商的利润。由于消费者选择等待购买的犹豫唯一来源于在第二阶段获得新商品的概率,也就是说,过多的人选择等待也会抑制消费者的等待行为,但是当新补充商品量很大至充分大时,消费者会毫不犹豫地选择等待在第二阶段购买而不用担心因其他消费者的等待行为导致的买不到新补充商品的情形。

选择等待的顾客如何在新商品和旧商品之间进行进一步决策呢?与前面讨论类似,他们还是会根据获得两种商品的不同效益的大小来决定。但是第一阶段进行决策时消费者会考虑商品的可获得性,然而到了第二阶段,因为无需等待,是否能够得到对于商品消费者来说是确定的,当两种商品都有存货时,消费者选择效益最大的商品,当只有一种商品时,消费者选择离开或购买(如果消费者保留价值大于等于该商品的价格)。

定理 2: 对于补充的库存为 Q , 价格路径为 $\{p_1, p_2\}$, 存在最优的阈值函数 $\tilde{\psi}_1(t)$ 、 $\tilde{\psi}_2(t)$ 。在第一阶段,当 $V(t) \geq \tilde{\psi}_1(t)$ 时,消费者选择立即购买产品;当 $\tilde{\psi}_2(t) \leq V(t) < \tilde{\psi}_1(t)$ 时,消费者选择等待在 T 时刻购买新补充的产品;当 $V(t) < \tilde{\psi}_2(t)$ 时,消费者选择等待在 T 时刻购买第一阶段剩余的产品(如果 $V(T) \geq p_2$)或离开。在第二阶段,当 $\tilde{\psi}_2(t) \leq V(t) < \tilde{\psi}_1(t)$ 时,消费者选择立即购买新补充的产品;当 $V(t) < \tilde{\psi}_2(t)$ 时,消费者选择立即购买第一阶段剩余的产品(如果 $V(t) \geq p_2$)或离开。阈值函数 $\tilde{\psi}_1(t)$ 、 $\tilde{\psi}_2(t)$ 如下

获得第一阶段剩余下来的商品的概率。

$$\tilde{\theta}_w = A(Q | \tilde{m}_w^3) \quad (9)$$

$$\theta_w = \sum_{x=0}^{l-1} \Pr(x | \tilde{m}^1) A(I - x | \tilde{m}_w^2) \quad (10)$$

证明: 在第一阶段,当 $t \geq \min(1/\alpha \ln 1/\tilde{\theta}_w, T)$ 时,有 $V(t) - p_1 \leq \tilde{\theta}_w V - p_1 < \tilde{\theta}_w [V(t)e^{\alpha t} - p_1]$ 。其中, $V(t) - p_1$

表示在 t 时刻购买的消费者剩余, 而 $\tilde{\theta}_w[V(t)e^{\alpha t} - p_1]$ 表示在等待 T 时刻购买新补充产品的期望消费者剩余, 上式说明此时消费者只会选择等待而不是立即购买产品, 即 $\tilde{\psi}_1(t) = \infty$ 。当 $t < \min(1/\alpha \ln 1/\tilde{\theta}_w, T)$ 时, 消费者选择立即购买必须同时满足以下 3 个条件: a. $V(t) - p_1 \geq 0$; b. $V(t) - p_1 \geq \tilde{\theta}_w[V(t)e^{\alpha t} - p_1]$; c. $V(t) - p_1 \geq \theta_w[V(t)e^{-\alpha(T-t)} - p_2]$ 。解这 3 个方程就可以得到消费者在第一阶段选择立即购买的临界函数 $\tilde{\psi}_1(t)$ 。对于 $V(t) < \tilde{\psi}_1(t)$ 的消费者, 选择等待的消费者在 T 时刻比较购买新补充的产品当且仅当 $V(t)e^{\alpha t} - p_1 \geq 0$ 且 $V(t)e^{\alpha t} - p_1 \geq V(t)e^{-\alpha(T-t)} - p_2$, 即 $V(t) \geq \max\{(p_1 - p_2)/[e^{\alpha t} - e^{-\alpha(T-t)}], p_1 e^{-\alpha t}\}$ 。

在第二阶段, 消费者购买新补充的产品当且仅当 $V(t)e^{\alpha t} - p_1 \geq 0$ 且 $V(t)e^{\alpha t} - p_1 \geq V(t) - p_2$, 即 $V(t) \geq \max\{(p_1 - p_2)/(e^{\alpha t} - 1), p_1 e^{-\alpha t}\}$ 。(证毕)

$$\begin{aligned} \tilde{m}_w^2 = & \lambda \int_0^T \left[F\left\{ \max[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}, p_2 e^{\alpha t}] \right\} - F(p_2 e^{\alpha t}) + \right. \\ & \left. \theta_w^3 \cdot \left(F\left\{ \max[\tilde{\psi}_1(t)e^{\alpha t}, \tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}] \right\} - F\left\{ \max[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}, p_2 e^{\alpha t}] \right\} \right) \right] dt \end{aligned} \quad (12)$$

其中, $\tilde{\theta}_w^3 = 1 - \sum_{x=0}^{Q-1} \Pr(x|\tilde{m}_w^3)$ 。

第三部分为第二阶段到达商店并购买第一阶

$$\tilde{m}_1^2 = \lambda \int_T^1 \left[F\left\{ \max[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}, p_2 e^{\alpha t}] \right\} - F(p_2 e^{\alpha t}) + \tilde{\theta}_1^3 \left(1 - F\left\{ \max[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}, p_2 e^{\alpha t}] \right\} \right) \right] dt \quad (13)$$

其中, $\tilde{\theta}_1^3 = 1 - \sum_{x=0}^{Q-1} \Pr(x|\tilde{m}_w^3 + \tilde{m}_1^3)$, 表示在第二阶段新补充商品缺货的概率。

$$\begin{aligned} \tilde{m}_w^3 = & \lambda \int_0^{\min(1/\alpha \ln 1/\tilde{\theta}_w, T)} \left(F\left\{ \max[\tilde{\psi}_1(t)e^{\alpha t}, \tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}] \right\} - F[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}] \right) dt + \\ & \lambda \int_{\min(1/\alpha \ln 1/\tilde{\theta}_w, T)}^T \left(1 - F[\tilde{\psi}_1(t)e^{\alpha t}] \right) dt + \lambda \theta_w^2 \int_0^T \left(F\left\{ \max[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}, p_1] \right\} - F(p_1) \right) dt \end{aligned} \quad (14)$$

其中, $\theta_w^2 = 1 - \sum_{x=0}^{Q-1} \Pr(x|\tilde{m}_w^2)$ 表示 T 时刻初始商品缺货的概率。

$$\tilde{m}_1^3 = \lambda \int_T^1 \left[1 - F[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}] + \theta_1^2 \left(F\left\{ \max[\tilde{\psi}_2(t)e^{\alpha t}, p_1] \right\} - F(p_1) \right) \right] dt \quad (15)$$

其中, $\theta_1^2 = 1 - \sum_{x=0}^{Q-1} \Pr(x|\tilde{m}_w^2 + \tilde{m}_1^2)$ 表示第二阶段初始商品缺货的概率。

设新补充商品带来的收益 $\tilde{\pi}_Q$, 则

$$\tilde{\pi}_Q = cp_1 \left[1 - \sum_{j=1}^{c-1} j p_1 \Pr(j|\tilde{m}_w^3 + \tilde{m}_1^3) \right] + \sum_{j=1}^{c-1} j p_1 \Pr(j|\tilde{m}_w^3 + \tilde{m}_1^3) \quad (16)$$

4.2 消费者结构与厂商利润

阈值函数 $\tilde{\psi}_1(t)$ 、 $\tilde{\psi}_2(t)$ 将贡献利润的消费者群体分为了 5 个部分。第一部分为第一阶段到达商店并立即购买产品的顾客, 这部分的期望值为

$$\tilde{m}^1 = \lambda \int_0^{\min(1/\alpha \ln 1/\tilde{\theta}_w, T)} \left\{ 1 - F[\tilde{\psi}_1(t)e^{\alpha t}] \right\} dt \quad (11)$$

第二部分为第一阶段到达商店并选择等待在 T 时刻购买第一阶段剩余产品的顾客。需要注意的是, 尽管只有当 $p_2 < V(t) < \tilde{\psi}_2(t)$ 时, 消费者才会选择购买第一阶段剩余产品, 但因为库存是有限的, 在 T 时刻新补充产品将以一定的概率出售完, 设该概率为 $\tilde{\theta}_w^3$, 则此时保留价值在 $\tilde{\psi}_2(t)$ 与 T 时刻保留价值在 p_2 之上的消费者也会选择购买第一阶段剩余的产品。第一阶段到达商店并选择等待在 T 时刻购买第一阶段剩余产品的顾客的期望值如下

段剩余产品的消费者。与前面讨论的类似, 此部分的消费者的平均到达率为

第四部分为第一阶段到达商店并等待在 T 时刻购买新补充商品的顾客。

第五部分为第二阶段到达商店并立即购买新补充商品的顾客。

初始库存带来的收益为

$$\tilde{\pi}_I = cp_1 \left[1 - \sum_{j=1}^{c-1} j p_1 \Pr(j|\tilde{m}^1) \right] + \sum_{j=1}^{c-1} [j p_1 + p_2 N(c-j, \tilde{m}_w^2 + \tilde{m}_1^2)] \Pr(j|\tilde{m}^1) \quad (17)$$

总利润 $\tilde{\pi}_{I/Q} = \tilde{\pi}_I + \tilde{\pi}_Q - c(Q+I)$ 。

5 算例分析

本节通过数值求解,分析消费者策略行为以及不同库存模式下销售商的定价策略及最优利润。

5.1 补充库存与不补充库存对比

消费者是否选择等待,与第二阶段剩余产品的数量以及类型(新补充的产品和剩余的产品)相关。新补充产品比较充分,则会有更多的消费者选择等待,尽管消费者也会预计到将有更多的消费者选择等待,从而与自己形成竞争。

如果忽略成本($c=0$),厂商可以尽可能多的订购库存,即 $Q/\lambda \rightarrow \infty$ 时,有 $\tilde{\theta}_w = 1$,也就是说第一阶段消费者只会选择等待或直接离开,而不会产生立即购买的行为,此时厂商的利润完全来源于第二阶段。

表1列出了不补充库存和补充1个单位库存时的最优定价和利润,以及对应的利润分配比。当补充库存时,价格会出现大的降幅,此时大部分消费者选择等待,利润主要产生于第二阶段并且主要集中在期初商品上(42.8%+37.5%=80.3%)。如果将 p_1 定得过低,将会促使过多的人等待,但是因为第二补充库存较少,满足不了顾客需求,顾客转而寻求价格更低的 p_2 ,最终使得期初商品大部分在第二阶段以 p_2 出售完全。

表1 补充库存与不补充库存下定价策略与厂商利润
Table 1 The pricing strategies and profits of retailer under restocking and non-restocking

Q	$[p_1, p_2]$	利润	利润分配比
0	[0.419, 0.392]	0.909	45.4%, 9.8%, 44.8%
1	[0.548, 0.362]	0.790	1.1%, 42.8%, 37.5%, 13.4%, 5.1%

注: $T=0.5, \lambda=10, \alpha=0.5, I=10, c=0.1$, 利润分配比表示利润来源的分布,第一行分别为立即购买、等待和第二阶段到达,第二行分别为第一阶段立即购买、第一阶段等待购买第一阶段剩余产品、第二阶段到达购买第一阶段剩余产品、第一阶段等待购买第二阶段补充产品和第二阶段到达购买补充产品

当考虑成本时,是否补充库存也是个未知数,补充过多必然造成成本增加,同时还会增加消费者

的等待意愿。从图1可以看出,第二阶段补充库存与否以及补充库存的多少与消费者到达率 λ 相关,也就是说市场需求是决定是否补充库存以及补充库存数量的关键。市场需求大($\lambda=30$)时补充库存能给销售商带来更多利润,但市场需求小($\lambda=8$)时补充库存不但不能给销售商带来利润反而因成本的增加导致利润降低。

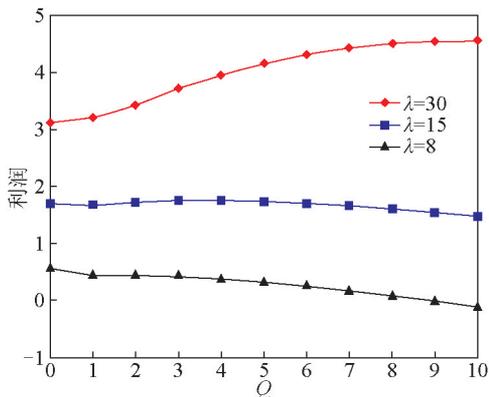


图1 厂商利润随补充库存(Q)的变化情况

Fig. 1 The change of the profits of a seller with the replenishing inventory Q

注: $I=10, T=0.5, \alpha=0.5, c=0.1$

5.2 消费者时间敏感程度的影响

消费者保留价值递减因子 α 对销售商的利润有较大影响。 α 越大说明消费者对时间越敏感,保留价值递减速度越快。从图2可以看出,销售商利润随 α 的增大而一直在减小。当 α 较小时,消费者的时间敏感程度降低,如果第二阶段商品的获得概率不变,那么策略行为会比较明显,销售商为了降低消费者的策略行为,将会减小两次价格之间的差距。例如,对于一次性库存情形($\lambda=10, I=10, T=0.5$),当 $\alpha=0.1$ 时, $p_1=p_2=0.494$,而当 $\alpha=1.5$ 时, $p_1=0.324, p_2=0.203$,二者相差近37%。正确估计消费者保留价值递减因子对销售商的定价策略有重大影响。

5.3 库存的影响

库存始终是销售商需要关心的变量,尤其是对易逝品的库存决策,对销售利润有着重要影响,同时也间接影响销售商的定价策略。当初始库存较

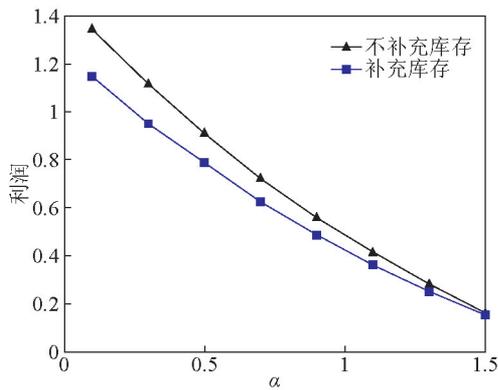


图2 厂商利润随 α 变化情况

Fig. 2 The change of the profits of a seller with α

注: $\lambda=10, I=10, T=0.5, c=0.1$, 库存补充量 $Q=1$

小时, 销售商预计消费者更关心在降价时刻获得产品的概率。因为消费者的选择会更接近于非策略型消费者, 销售商能够以较高的价格获得利润。例如, 当 $I=1$ ($\lambda=10, T=0.5, Q=0$) 时, 有 $\pi_I^*=0.457$ ($p=[0.660\ 0.571]$), 而当 $I=10$ 时, $\pi_I^*=0.909$

($p=[0.419\ 0.392]$)。当库存增大时, 销售商为了抑制消费者的策略行为, 不得不将降价的幅度减小。图3显示销售商利润随库存变化的情况, 图3a为不补充库存的情形, 图3b为补充库存为1的情形, 图3中曲线从上到下依次为消费者保留价值递减因子 α 等于0.5、1和1.5的情形。

从图3中可以看出, 两种情形下消费者保留价值递减因子越大, 最优初始库存越小; 但补充库存情形的最优初始库存比不补充库存情形要小, 并且能获得更高的利润。当 $\alpha=0.5$ 时, 不补充库存情形的最优初始库存为6, 获得利润为 $\pi_I^*=1.082$; 而补充库存量为1时, 最优初始库存为5, 获得利润 $\pi_{I/Q}^*=1.123$ 。

尽管两种情形的总的库存量相同(均为6), 但带来的利润却有差距。这是因为在补充库存的情况下销售商更好地避免了库存堆积造成的易腐蚀商品价值的耗损, 使消费者能够选择更具有价值的商品, 同时也推动了自身利益的上涨。

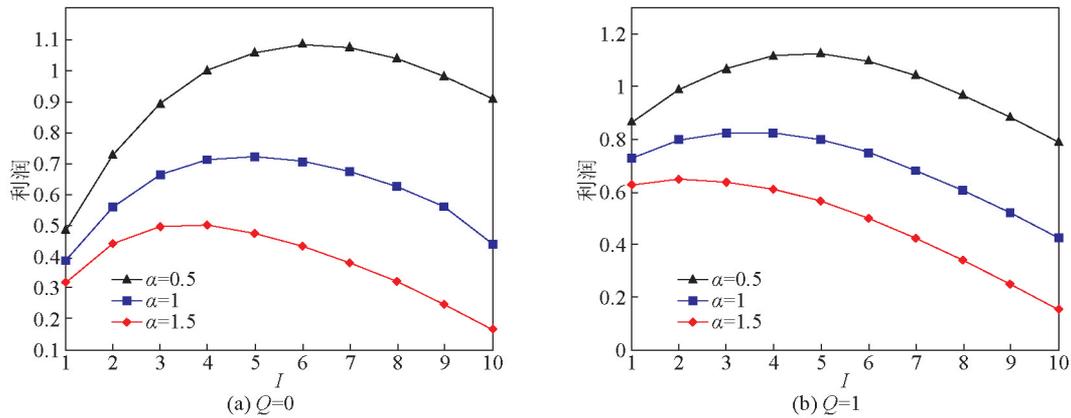


图3 厂商利润随初始库存 I 的变化情况

Fig. 3 The change of profits of a seller with the initial inventory I

注: $\lambda=10, T=0.5, c=0.1$

6 结语

在需求不确定的易逝品市场, 消费者购买行为越来越具有策略性, 表现为合理安排自己的购买时机和择优选择产品, 这使厂商不得不考虑消费者策

略行为的影响。本文研究了厂商在不补充库存与补充库存情形下消费者的购买决策以及厂商的定价策略。在两种情形下, 厂商扮演 Stackelberg 博弈的领导者宣布自己的价格和库存策略, 而消费者扮演跟随者通过决定自己的购买行为来应对厂商的

决策。消费者充分理解自己与其他消费者之间的竞争,也就是当选择等待时,其他消费者的等待行为会影响自己在降价时刻获得产品的机会。

研究表明厂商和消费者之间存在博弈均衡,当厂商公布自己的定价和库存策略时,消费者存在最优的价格曲线,在此曲线的指导下消费者决定自己的购买决策。当不补充库存时,消费者依据阈值函数决定立即购买或等待;而补充库存时,等待的消费者又分为等待购买补充商品和等待购买第一阶段剩余商品两类。同样在第二阶段,阈值函数又将消费者分为购买第一阶段剩余产品和第二阶段补充的产品两类。销售商的利润受消费者结构和库存以及市场需求的影响。消费者时间敏感程度的增加(α 增大)将显著影响销售商的定价策略和利润,厂商可以通过控制库存容量在一定程度上抑制消费者的策略行为,但影响有限。同时,补充库存又在一定程度上促进了消费者的等待行为,虽然可以通过调整合适的初始库存和补充库存量减少消费者的等待行为和产品的囤积,不过只有当市场需求较大时,补充库存才会优于不补充库存情形。

本文只考虑了厂商的定价和库存决策,实际上影响消费者购买的因素有多种,如产品差异化和互联网的普及等。此外,本文以厂商的期望利润为目标研究最优定价问题,实际上在不确定环境中风险也是厂商需要考虑的重要指标。并且消费者在时间敏感程度和等待意愿强度等方面都存在异质性,而本文将它们视为相同的。这些都是未来进一步考虑和研究的方向。

参考文献

- [1] McWilliams Gary. Minding the store: Analyzing customers, best buy decides not all are welcome [N]. Wall Street Journal, 2004-11-08(A1).
- [2] Gallego Guillermo, van Ryzin Garrett. Optimal dynamic pricing of inventories with stochastic demand over finite horizons [J]. Management Science, 1994, 40(8): 999-1020.
- [3] Bitran Gabriel R, Mondschein Susana V. Periodic pricing of seasonal products in retailing [J]. Management Science, 1997, 43(1): 64-79.
- [4] Coase R H. Durability and monopoly [J]. The Journal of Law and Economics, 1972, 15(1): 143-149.
- [5] Stokey Nancy L. Rational expectations and durable goods pricing [J]. Bell Journal of Economics, 1981, 12(1): 112-128.
- [6] Bulow Jeremy I. Durable-goods monopolists [J]. Journal of Political Economy, 1982, 90(2): 314-332.
- [7] Stokey Nancy L. Intertemporal price discrimination [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1979, 93(3): 355-371.
- [8] Landsberger Michael, Meilijson Isaac. Intertemporal price discrimination and sales strategy under incomplete information [J]. RAND Journal of Economics, 1985, 16(3): 424-430.
- [9] Besanko David, Winston Wayne L. Optimal price skimming by monopolist facing rational consumers [J]. Management Science, 1990, 36(5): 555-567.
- [10] Elmaghaby Wedad, Gülcü Altan, Keskinocak Pinar. Designing optimal preannounced markdowns in the presence of rational customers with multiunit demands [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10(1): 126-148.
- [11] Levin Yuri, McGill Jeff, Nediak Mikhail. Optimal dynamic pricing of perishable items by a monopolist facing strategic consumers [Z]. Kingston, Ontario, Canada: Queen's University, 2005.
- [12] Su Xuanming. Intertemporal pricing with strategic customer behavior [J]. Management Science, 2007, 53(5): 726-741.
- [13] Aviv Yossi, Pazgal Amit. Optimal pricing of seasonal products in the presence of forward-looking consumers [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10(3): 339-359.
- [14] Liu Qian, van Ryzin Garrett J. Strategic capacity rationing to induce early purchases [J]. Management Science, 2008, 54(6): 1115-1131.
- [15] Zhang Dan, Cooper William L. Managing clearance sales in the presence of strategic customers [J]. Production and Operations Management, 2008, 17(4): 416-431.
- [16] Zhou Yong-Pin, Fan Ming, Cho Minho. On the threshold purchasing behavior of customers facing dynamically priced perishable products [Z]. Seattle, WA: University of Washington, 2005.
- [17] Gallego Guillermo, Phillips Robert, Sahin Ozge. Strategic management of distressed inventory [Z]. New York: Columbia University, 2004.
- [18] Yin R, Tang C S. The implications of customer purchasing behavior and in-store display formats [Z]. Los Angeles, CA: University of California, 2006.
- [19] Yin Rui, Aviv Yossi, Pazgal Amit, et al. Optimal markdown pricing: Implications of inventory display formats in the presence of strategic customers [J]. Management Science, 2009, 55(8): 1391-1408.
- [20] 陈军, 但斌. 基于降价预期的生鲜农产品定价策略研究 [J]. 管理工程学报, 2011, 25(3): 43-47.
- [21] McLaughlin Edward W. The dynamics of fresh fruit and vegetable pricing in the supermarket channel [J]. Preventive Medicine, 2004, 39(Supplement 2): 81-87.

Optimal pricing of perishable goods under strategic consumers

Chen Xiaohong, Yi Guodong, Cheng Lulu

(Business School, Central South University, Changsha 410012, China)

[Abstract] With access to information is becoming more and more convenient and quick, the strategic behavior of customers is becoming more common in everyday life. In this paper, we study the optimal pricing of perishable goods in the presence of strategic customers. Monopolist sells a finite quantity of products in a certain period of time. Customers select the optimal time to buy based on the principle of utility maximization. This paper is divided into two scenarios including not replenish inventory and replenish inventory. Studies have shown that the game equilibrium exists between sellers and consumers. After a seller announces the pricing strategy, the structure of customers is divided by an optimal threshold function. The strategic behavior of customers has a significant impact on the profits of a seller. A seller can accord to the market demand and the time sensitivity of customers through proper inventory and price setting to reduce losses from the strategic behavior of customers. The situation with replenishing inventory is better than the situation without replenishing inventory only when market demand is larger.

[Key words] perishable goods; strategic consumers; optimal pricing; Stackelberg game