考虑战略顾客行为时的供应链性能分析与协调①

黄　松[1]，杨　超[1]，张　曦[2]
(1. 华中科技大学管理学院，武汉 430074; 2. 武汉工程大学管理学院，武汉 430205)

摘要: 动态定价策略的广泛应用使得越来越多的顾客具有了战略性，战略顾客会根据产品在销售期内的价格路径确定最优购买时机，零售商则根据顾客的购买行为确定订货数量和销售价格. 研究了双方静态博弈时的理性预期均衡解和零售商进行数量承诺时的情形. 研究表明: 理性预期均衡时的最优销售价格、最优存货数量和最优期望利润分别小于标准报童模型的情形; 数量承诺时的最优存货数量小于理性预期均衡时的最优存货数量; 最优期望利润则大于理性预期均衡时的最优期望利润，并且在一定条件下可能会大于标准报童模型的最优期望利润，战略顾客行为的存在对零售商可能有利. 最后分析了在分散式供应链中如何利用收入分享契约和数量折扣契约实现供应链协调.

关键词: 供应链管理; 战略顾客行为; 理性预期均衡; 契约
中图分类号: F274　　文献标识码: A　　文章编号: 1007 - 9807(2012)02 - 0047 - 12

0　引　言

由于实际需求的不确定性，零售商会在销售期的不同阶段采用不同的价格来吸引更多的顾客购买，从而增加销售利润，这种动态定价策略在改善零售商利润方面已经被证明比单一定价策略更有效. 动态定价策略的理论基础在于根据顾客不同的估计值动态地调整价格从而影响顾客的购买行为. 然而，市场营销与运作管理的研究者和实践者也开始发现，零售商的这种动态价格调整策略已经将顾客训练成理性的和战略性的[1]，即顾客可能会考虑等待产品降价时再购买从而延迟他们的购买决策，如世界上最大的零售商 Wal-Mart 在感恩节和圣诞节之后的销售额占到其年销售额的接近 20%. 战略顾客在确定最优购买时机时将会考虑产品在销售期内完整的价格路径[2].

为了减少战略顾客行为对于零售商利润的不利影响，鼓励更多的顾客提前购买产品，故意造成供应风险和动态地调整价格是常用的运作策略，如西班牙最大的服装零售商之一 Zara，通过降低库存故意造成供应风险从而引导顾客提前购买，其在降价销售阶段的销售额只占其年销售额的 15% ~ 20%，远低于行业平均水平 30% ~ 40%. 一些研究者开始关注面对战略顾客时如何合理地使用配给风险以及制定最优的降价策略. Liu 和 Ryzin[3] 研究了面对战略顾客时如何使用限量配给策略故意造成供应风险从而引导顾客提前购买; Gallego 等[4] 研究了战略顾客会从零售商过去的定价行为中不断学习时零售商的最优降价策略; Zhang 和 Cooper[5] 研究了当面对战略顾客时如何管理出清销售的问题，他们考虑了市场中同时存在战略顾客和近视顾客的情形; 然而，Aviv 和 Pazgal[6] 研究发现降价策略不能避免战略顾客行为对于零售商利润的不利影响; 刘晓峰和黄沛[7] 研究了面对战略顾客行为时，在确定性和非确定性的条件下，零售商如何利用配给风险引导顾客提前购买.

另一类文献关注的是战略顾客行为对供应链

① 收稿日期: 2010 - 04 - 28; 修订日期: 2010 - 09 - 08.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70871044; 70601011); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET - 06 - 0653).
作者简介: 黄　松(1982—)，男，湖北武汉人，博士生. Email: hshust@163.com

的定价和库存决策以及供应链性能的影响，由于顾客会考虑产品在销售期内的价格路径，愿意等待并选择最优购买时机，零售商则根据顾客的购买行为确定价格和存货数量，理性预期均衡能够很好地刻画战略顾客和零售商之间的策略交互. 战略顾客行为和理性预期均衡假设最先由 Muth[8] 提出，该假设指出经济结果应该与人们对它的预期一致；Su 和 Zhang[9] 最先将理性预期均衡假设和战略顾客行为引入到报童模型中，研究了理性预期均衡时零售商的最优定价决策和库存决策，并分析了数量承诺和价格承诺对于供应链性能的影响；Cachon 和 Swinney[10] 基于理性预期均衡假设，进一步研究了同时存在近视顾客，折价搜索顾客和战略顾客时零售商的最优动态定价策略；Su 和 Zhang[11] 基于理性预期均衡假设，在面对战略顾客的标准报童模型中考虑了战略顾客的搜索成本，研究了承诺和可得性保证的价值；与上述研究不同的是，Su[12] 研究了战略顾客对产品不同的估计值和耐心度时的最优动态定价策略，研究表明顾客战略行为的存在可能会使零售商获利；李娟等[13] 分析了战略顾客行为对供应链系统订货量及系统总收益的影响；Shen 和 Su[14] 对收益管理和拍卖机制设计中的顾客行为建模的最新研究进展进行了总结. 本文基于理性预期均衡假设，在文献[9－11] 的基础上，研究了考虑零售商的缺货成本和战略顾客的后悔效用时，战略顾客行为对供应链的定价和库存决策以及供应链性能的影响.

与本文研究相关的另一类文献是关于供应链的协调契约设计问题，Cachon[15] 对供应链的协调契约的研究进展做了全面的综述. 在研究收入分享契约的文献中，Cachon 和 Lariviere[16] 研究了确定性和随机性环境下如何使用收入分享契约实现供应链协调；Giannoccaro 和 Pontrandolfo[17] 分析了如何使用收入分享契约协调由制造商－分销商－零售商组成的 3 级供应链；Koulamas[18] 在标准的报童模型环境下比较了传统订货条件下和收入分享契约条件下的供应商和零售商的期望利润. 在研究数量折扣契约的文献中，Weng[19] 指出在实现供应链协调时，最优全部数量的数量折扣等价于最优增量数量折扣；Corbett 和 Groote[20] 研究了非对称信息条件下的数量折扣策略；Altintas 等[21] 研究了需求不确定性条件下的数量折扣契约；然而这些文献的潜在假设条件是顾客都是近视的，没有考虑顾客的战略行为.

本文分析了由单一供应商，单一零售商和具有战略行为的顾客群组成的 3 级供应链系统，其中零售商确定销售价格和存货数量，战略顾客则根据不同阶段的价格确定最优购买时机. 不同于文献[9－11]，首先，本文在模型中不仅考虑了零售商的缺货成本，同时也考虑了战略顾客没有购买到产品时的后悔效用，文献[11] 虽然考虑了战略顾客在缺货时产生的额外不适成本，但是没有从战略顾客的心理层面上定义后悔效用；其次重点分析比较了标准报童模型，理性预期均衡和数量承诺时零售商的最优销售价格，最优存货数量和最优期望利润之间的关系；最后分析了如何使用收入分享契约和数量折扣契约实现供应链协调.

1 基本模型

研究由单一供应商，单一零售商和由同质的可无限细分的顾客群体组成的供应链系统，所有的战略顾客都是同质的. 供应商的单位生产成本是 c，供应商提供给零售商的批发价格是 ω，单位产品的市场销售价格是 p，在销售期末未销售出的产品由零售商负责清仓处理，处理价格为 v，假定 $0 < v < c < p$，单位产品的缺货成本为 g，顾客购买 1 单位产品获得的效用值是 u，并且假定效用值和价格参数都是定义在同一量纲框架下，即两者可以进行相互比较. 零售商面对的随机市场需求为 d，均值为 μ，其概率密度函数和累积分布函数分别为 $f(x)$ 和 $F(x)$，并且需求分布具有严格的广义增加失效率(increasing generalized failure rate，IGFR) 性质，即如果 $h(x) = f(x)/(1 - F(x))$，$h'(x) > 0$，则表明需求具有 IGFR 性质，很多函数都具有 IGFR 性质，如正态分布，指数分布，Gamma 分布，Weibull 分布等[22]；零售商必须在销售期开始前确定订货数量 q，且销售期内不存在再次订货机会. 同时假定 $f(x) > 0$，$F(0) = 0$，定义 $a^+ = \max(a, 0)$，$F^{-1}(x)$ 是 $F(x)$ 的反函数，$\bar{F}(x) = 1 - F(x)$，$E(\cdot)$ 表示数学期望算子，所有的效用参数信息和价格参数信息对于零售商

和战略顾客而言都是共同知识. 本节和下一节分析供应商和零售商是集中式决策的情形,第 3 节分析供应商和零售商是分散式决策的情形.

1.1　不存在战略顾客行为时的标准报童模型

当顾客不存在战略行为时,顾客只需要考虑在零售商提供的价格上是否愿意购买,而不考虑在未来降价时获得产品的可能性. 此时问题的背景类似于标准报童模型,零售商确定的销售价格 p_0 不会超过 u,否则顾客将从购买 1 单位产品中获得负的效用,因此本文总假定 $p_0 \leqslant u$(下标 0 表示标准报童模型,下同). 由于零售商的期望利润是关于销售价格 p_0 的增函数,零售商为了实现自身期望利润的最大化,将会选择尽可能高的销售价格 p_0,即零售商的最优销售价格. 此时,零售商的期望利润函数可以表示为

$$\pi_0(q_0) = (u-v)\mathrm{E}[\min(d,q_0)] - (c-v)q_0 - g\mathrm{E}[(d-q_0)^+] \qquad (1)$$

计算期望利润函数 $\pi_0(q_0)$ 关于存货数量 q_0 的一阶和二阶导数,可得

$$\pi_0'(q_0) = (u-v+g)[1-F(q_0)] - (c-v)$$

$$\pi_0''(q_0) = -(u-v+g)f(q_0) < 0$$

表明期望利润函数 $\pi_0(q_0)$ 是关于存货数量 q_0 的严格凹函数,零售商的最优存货数量

$$q_0^* = \bar{F}^{-1}\left(\frac{c-v}{u-v+g}\right)$$

1.2　存在战略顾客行为时的理性预期均衡

当顾客存在战略行为时,顾客将会考虑等到产品清仓处理时获得产品的可能性. 战略顾客可以选择在正常销售阶段以价格 p 立即购买,此时战略顾客获得的消费者剩余为 $u-p$,也可以选择等到产品清仓处理时以处理价格 v 购买,此时战略顾客获得的消费者剩余为 $u-v$,由于 $0<v<c<p$,所以 $u-p>u-v$. 但是由于零售商提供的产品的数量有限,战略顾客并不总是能够以较低的处理价格 v 购买到产品,因为其他的战略顾客也在相互竞争购买同样的产品. 假定零售商的存货数量对于战略顾客而言是不可观察的,因此,战略顾客必须对清仓处理时购买到产品的可能性做出估计,假定战略顾客在产品清仓处理时购买到产品的可能性估计值为 δ_{Prob},同时由于存货数量的限制和存在其他竞争性战略顾客,战略顾客也有 $1-\delta_{\mathrm{Prob}}$ 的最后没有买到产品可能性. 此时战略顾客将会产生非正的后悔效用 $-m$,此时有两种极端情形需要考虑: 1) 如果战略顾客在没有购买到产品时没有任何效用上的损失,此时 $m=0$; 2) 如果战略顾客在没有购买到产品时具有强烈的后悔心理感受,此时 $m=u-p$,这是因为如果战略顾客在产品的正常销售阶段以价格 p 立即购买,将可以确定性地获得消费者剩余 $u-p$,但是由于战略顾客希望等到产品清仓处理时再购买从而延迟他们的购买决策,而在清仓处理阶段由于限量配给最后又没有购买到产品,从而错失了本应该在正常销售阶段购买到产品的机会,因此,潜在的效用损失为 $u-p$,也即后悔效用为 $-(u-p)$. 又因为 $p>c$,所以 $u-p<u-c$. 因为 c 是销售价格 p 的下限,也是战略顾客在正常销售阶段购买产品时必须付出的成本的下限,当战略顾客的感受介于两者之间时,$0 \leqslant m < u-c$,因此本文总假定 $m \in [0,u-c]$. 由于所有的战略顾客都是同质的,即所有的战略顾客都拥有同样的估计值 $\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}$、效用值 u 和 m; 假定所有的顾客都是风险中性的,且不考虑未来得益的折现,并且 m 对于零售商而言是已知信息. 则战略顾客的期望剩余可以表示为,$\max\{u-p,(u-v)\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}} - m(1-\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}})\}$ 其中: 第 1 项表示战略顾客立即购买时获得的剩余,第 2 项表示战略顾客延迟购买时获得的期望剩余. 当 $u-p \geqslant (u-v)\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}} - m(1-\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}})$ 时,所有的战略顾客将会选择立即购买; 否则,选择延迟购买,也即当给定战略顾客以处理价格 v 购买到产品的可能性估计为 $\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}$ 时,战略顾客的心理预留价格为

$$r(\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}) = (u+m) - (u+m-v)\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}} \qquad (2)$$

由于零售商不知道战略顾客的心理预留价格,因此也必须对战略顾客的心理预留价格做出估计,并设其估计值为 $\hat{\delta}_{\mathrm{r}}$.

战略顾客的决策是确定购买时机: 立即购买或者延迟购买; 零售商希望战略顾客以价格 p 立即购买,这样可以增加零售商的期望利润,故零售商的决策变量为确定销售价格 p 和存货数量 q.

当零售商预估到战略顾客的心理预留价格 $\hat{\delta}_{\mathrm{r}}$,且所有的战略顾客都预估到在清仓处理阶段获得产品的可能性为 $\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}$ 时,零售商的定价决策为

$$p = \hat{\delta}_r \tag{3}$$

零售商的存货决策可以表示为

$$\begin{aligned} q &= \arg\max_{q\geqslant 0} \pi(q,p) \\ &= \arg\max_{q\geqslant 0}\{ [(p-v)\mathrm{E}[\min(d,q)] - \\ &\quad (c-v)q - g\mathrm{E}[(d-q)^+]]\} \end{aligned} \tag{4}$$

容易证明 $\pi(q,p)$ 是关于存货数量 q 的凹函数，存在惟一的最大值点. 零售商和战略顾客之间是同时行动的静态博弈，博弈过程可以描述为：零售商对战略顾客的心理预留价格 $\hat{\delta}_r$ 做出估计，确定销售价格 p 和存货数量 q，同时战略顾客对清仓处理时获得产品的可能性 $\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}$ 做出估计，选择立即购买或者延迟购买，需求实现零售商以处理价格 v 清仓处理剩余库存.

为了求解零售商的最优决策，首先给出理性预期均衡(rational expectation equilibrium)的定义.

定义[9] 理性预期均衡解 $(p_r, q_r, r, \hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}, \hat{\delta}_r)$ 必须满足如下条件：1) $r = (u+m) - (u+m-v)\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}$，2) $p_r = \hat{\delta}_r$，3) $q_r = \arg\max_{q_r\geqslant 0} \pi_r(q_r, p_r)$，4) $\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}} = F(q_r)$，5) $\hat{\delta}_r = r$.

其中下标 r 表示理性预期均衡解.

理性预期均衡必须满足如下的 3 个条件：1) 给定未来获得产品的可能性，战略顾客确定最优购买时机；2) 给定战略顾客的心理预留价格，零售商确定销售价格和存货数量；3) 战略顾客和零售商的预期和实际发生的结果一致[9-11]. 由于零售商无法知道战略顾客的心理预留价格而无法确定 $\hat{\delta}_r$，战略顾客由于不能观测到零售商确定的存货数量从而无法确定 $\hat{\delta}_{\mathrm{Prob}}$，上述问题本质上是双方同时行动的静态博弈，其中零售商以利润最大化为目标确定存货数量，战略顾客则以最大化期望消费者剩余为目标确定心理预留价格. Su 指出，满足上述定义的理性预期均衡是上述博弈的纳什均衡，同时也存在其他的纯战略的对称的纳什均衡，但是理性预计均衡具有直观更容易理解和分析的优点[9]. 在上述理性预期均衡下，所有的战略顾客都会选择在正常销售阶段立即购买.

对于上述问题的理性预期均衡解，有如下的命题成立.

命题 1 当考虑零售商的缺货成本和战略顾客的后悔效用时，理性预期均衡时零售商的最优存货数量和最优销售价格分别为

$$q_r^* = \bar{F}^{-1}\left[\frac{\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)}-g}{2(u+m-v)}\right],$$

$$p_r^* = v + \frac{1}{2}\left[\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)}-g\right]$$

证明 根据理性预期均衡解的定义，它必须满足的条件可以简化为

$$p_r = (u+m-v)\bar{F}(q_r) + v \tag{5}$$

$$q_r = \arg\max_{q_r\geqslant 0} \pi_r(q_r, p_r) \tag{6}$$

令 $\dfrac{\partial \pi_r}{\partial q_r} = 0$，得到

$$\bar{F}(q_r) = \frac{c-v}{p_r - v + g}$$

将式(5)代入，化简整理可得

$$(u+m-v)\bar{F}^2(q_r) + g\bar{F}(q_r) - (c-v) = 0$$

求解上述方程可得 q_r^*，令 $q_r = q_r^*$ 由式(5)可得 q_r^*.

从命题 1 可以看出，当不考虑零售商的缺货成本和战略顾客的后悔效用($g = m = 0$)时，理性预期均衡时零售商的最优销售价格为

$$p_r^* = v + \sqrt{(u-v)(c-v)}$$

最优存货数量为

$$q_r^* = \bar{F}^{-1}\left[\sqrt{(c-v)/(u-v)}\right]$$

与文献[9]的结果一致.

命题 1 在文献[9]的基础上考虑了零售商的缺货成本和战略顾客的后悔效用对理性预期均衡解的影响，更加贴近于实际情形，得出的结果也更具有一般性. 进一步分析可以发现，q_r^* 和 p_r^* 都是关于 m 的增函数，这是因为战略顾客在产品清仓处理阶段没有购买到产品时感受到的后悔效用值 $-m$ 越小，战略顾客将更倾向于在正常销售阶段立即购买，所以零售商的最优存货数量也越大；m 越大，由式(2)可知战略顾客的心理预留价格越高，所以零售商的最优销售价格也越高. q_r^* 随着缺货成本 g 的增大而增大，p_r^* 随着缺货成本 g 的增大而减小，这是因为缺货成本 g 越大，零售商在销售期初的最优存货数量就越大，以便减少缺货损失；由于零售商在期初的存货数量增大，战略顾客在清仓处理阶段获得产品的可能性也越大，所以理性预期均衡时零售商的最优销售价格也

越低.

命题2　零售商在理性预期均衡时和标准报童模型的最优销售价格，最优存货数量与最优期望利润的关系为：1) $p_r^* < p_0^*$；2) $q_r^* < q_0^*$；3) $\pi_r^*(q_r^*, p_r^*) < \pi_0^*(q_0^*)$.

证明　1) 根据假设 $m \in [0, u-c)$，可得

$$p_r^* - p_0^* = v + \frac{1}{2}\left[\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} - g\right] - u$$

$$= \frac{2\left[(u-v)(c-u-g) + m(c-v)\right]}{\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} + (g+2u-2v)}$$

$$< \frac{2\left[(u-v)(c-u-g) + (u-c)(c-v)\right]}{\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} + (g+2u-2v)}$$

$$= \frac{-2(u-c)^2 - 2g(u-v)}{\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} + (g+2u-2v)}$$

$$< 0$$

可见 $p_r^* < p_0^*$，即零售商在理性预期均衡时的最优销售价格小于标准报童模型的最优销售价格.

2) 由 $p_r^* < p_0^*$ 可知成立

$$\frac{1}{2}\left[\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} - g\right] < u - v$$

所以

$$\bar{F}(q_r^*) - \bar{F}(q_0^*) = \frac{\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} - g}{2(u+m-v)} - \frac{c-v}{u-v+g}$$

$$= \frac{2(c-v)}{\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} + g} - \frac{c-v}{u-v+g} > 0$$

又因为 $\bar{F}(x)$ 是关于 x 的减函数，所以 $q_r^* < q_0^*$，即零售商在理性预期均衡时的最优存货数量小于标准报童模型的最优存货数量.

3) 因为 $q_r^* < q_0^*$，不妨令 $q_0^* = q_r^* + \Delta q$，$\Delta q > 0$，则

$$\pi_r^*(q_r^*, p_r^*) - \pi_0^*(q_0^*) =$$
$$\left[(u+m-v)\bar{F}(q_r^*) - (u-v)\right] \times \left(q_r^* - \int_0^{q_r^*} F(x)\,\mathrm{d}x\right) -$$
$$(u-v+g)\left(\Delta q - \int_{q_r^*}^{q_r^*+\Delta q} F(x)\,\mathrm{d}x\right) + (c-v)\Delta q$$

因为

$$(u+m-v)\bar{F}(q_r^*) - (u-v) = \frac{1}{2}\left[\sqrt{g^2+4(u+m-v)(c-v)} - g\right] - (u-v) < 0$$

$$q_r^* - \int_0^{q_r^*} F(x)\,\mathrm{d}x > 0$$

所以

$$\left[(u+m-v)\bar{F}(q_r^*) - (u-v)\right] \times \left(q_r^* - \int_0^{q_r^*} F(x)\,\mathrm{d}x\right) < 0$$

又因为

$$-(u-v+g)\left(\Delta q - \int_{q_r^*}^{q_r^*+\Delta q} F(x)\,\mathrm{d}x\right) + (c-v)\Delta q =$$
$$-(u+g-c)\Delta q + (u-v+g)\int_{q_r^*}^{q_r^*+\Delta q} F(x)\,\mathrm{d}x <$$
$$-(u+g-c)\Delta q + (u-v+g)\Delta q F(q_0^*) =$$
$$-(u+g-c)\Delta q + (u+g-c)\Delta q = 0$$

即 $\pi_r^*(q_r^*, p_r^*) < \pi_0^*(q_0^*)$，零售商在理性预期均衡时的最优期望利润小于标准报童模型的最优期望利润.

命题2表明，顾客的战略行为对零售商的最优销售价格、最优存货数量和最优期望利润有重要影响. 零售商在理性预期均衡时的最优销售价格 p_r^* 小于标准报童模型的最优销售价格 p_0^*，最优存货数量 q_r^* 小于标准报童模型的最优存货数量 q_0^*，这是因为战略顾客会考虑到清仓处理时获得产品的可能性，从而促使零售商降低销售价格；同时零售商考虑到战略顾客可能会等待清仓处理时再购买产品，从而通过减少存货数量引导战略顾客立即购买. 理性预期均衡时零售商的最优期望利润 $\pi_r^*(q_r^*, p_r^*)$ 小于标准报童模型的最优期望利润 $\pi_0^*(q_0^*)$，表明理性预期均衡时顾客的战略行为减少了零售商的最优期望利润.

2　数量承诺时的情形

上述理性预期均衡是在零售商没有承诺存货数量信息时合理的纳什均衡，理性预期均衡时零售商获得的期望利润是其可获得的期望利润的下限，零售商可以通过向顾客承诺存货数量信息，从而改变上述理性预期均衡，从而使零售商获得更大的收益[9]. 假设零售商通过合适的渠道向战略顾客承诺产品在整个销售期内的存货数量为 q，并且假定战略顾客相信零售商给出的数量承诺是可置信的，此时战略顾客将不需要对在清仓处理

时获得产品的可能性做出预期. 根据前面的分析可知,当零售商承诺的存货数量 q_c 给定时,战略顾客在清仓处理时获得产品的可能性为 $F(q_c)$,则此时战略顾客的心理预留价格为

$$r(q_c) = (u+m) - (u+m-v)F(q_c) \quad (7)$$

其中下标 c 表示数量承诺时的情形. 给定零售商的销售价格 $p_c = r(q_c)$,零售商的期望利润函数可以表示为

$$\pi_c(q_c) = (u+m-v)\bar{F}(q_c) \times \mathrm{E}[\min(d, q_c)] - (c-v)q_c - g\mathrm{E}[(d-q_c)^+] \quad (8)$$

因此,数量承诺时零售商的最优存货数量

$$q_c^* = \arg\max_{q_c \geq 0} \pi_c(q_c)$$

最优销售价格

$$p_c^* = r(q_c^*)$$

命题 3[9] 1) 零售商的期望利润函数 $\pi_c(q_c)$ 存在惟一的最大值点 $q_c^* \in (0, +\infty)$; 2) $q_c^* < q_r^* < q_0^*$.

证明 1) 求 $\pi_c(q_c)$ 关于 q_c 的一阶导数,得到

$$\pi_c'(q_c) = \bar{F}(q_c)\varphi(q_c)$$

其中

$$\varphi(q_c) = -(u+m-v)\frac{f(q_c)}{\bar{F}(q_c)}\left[q_c - \int_0^{q_c} F(x)\mathrm{d}x\right] + (u+m-v)\bar{F}(q_c) - \frac{c-v}{\bar{F}(q_c)} + g$$

因为

$$\lim_{q_c \to +0} \pi_c'(q_c) = u+m-c+g > 0,$$

$$\lim_{q_c \to +\infty} \pi_c'(q_c) = -(c-v) < 0,$$

$$\bar{F}(q_c) > 0, \forall q_c > 0$$

又因为需求分布具有 IGFR 性质,所以

$$\varphi'(q_c) = -(u+m-v)\left[\frac{f(q_c)}{\bar{F}(q_c)}\right]'\left[q_c - \int_0^{q_c} F(x)\mathrm{d}x\right] - 2(u+m-v)f(q_c) - \frac{(c-v)f(q_c)}{\bar{F}^2(q_c)} < 0$$

综合可知,零售商的期望利润函数 $\pi_c(q_c)$ 存在惟一的最大值点 $q_c^* \in (0, +\infty)$.

2) 求零售商的期望利润函数 $\pi_c(q_c)$ 在 $q_c = q_r^*$ 处的一阶导数,得到

$$\pi_c'(q_c)\big|_{q_c = q_r^*} = -(u+m-v)f(q_r^*)\left[q_r^* - \int_0^{q_r^*} F(x)\mathrm{d}x\right] + (u+m-v)\bar{F}^2(q_r^*) + g\bar{F}(q_r^*) - (c-v) = -(u+m-v)f(q_r^*)\left[q_r^* - \int_0^{q_r^*} F(x)\mathrm{d}x\right] < 0$$

又因为 $\lim_{q_c \to -q_c^*} \pi_c'(q_c) > 0$, $\lim_{q_c \to +q_c^*} \pi_c'(q_c) < 0$,所以 $q_c^* < q_r^*$,综合命题 2 可知 $q_c^* < q_r^* < q_0^*$ 成立.

命题 3 表明,零售商使用数量承诺可以进一步减少最优存货数量,这是因为有限的存货数量将会引起供应的紧张,限制产品的可获得性和利用战略顾客之间的竞争将促使战略顾客更愿意立刻购买而不是延迟购买,从而增加零售商的期望利润. 在实际生活中,如限量版的时装、皮包和收藏品等由于其存货数量有限,战略顾客之间的购买竞争促使其倾向于以较高的价格立即购买.

从命题 3 的证明过程也可以发现,当其他参数不变时,$\frac{\mathrm{d}q_c^*}{\mathrm{d}g} = -[\varphi'(q_c)]^{-1} > 0$,数量承诺时零售商的最优存货数量 q_c^* 是关于缺货成本 g 的增函数,表明零售商即使可以向战略顾客承诺存货数量,但是当缺货成本 g 增大时,零售商的最优决策是增加存货数量.

关于零售商进行数量承诺时的最优期望利润和最优销售价格,有如下命题成立.

命题 4 存在 $m^* > 0$ 使得当 $m \in [0, m^*]$ 时: 1) $\pi_r^*(q_r^*, p_r^*) < \pi_c^*(q_c^*) < \pi_0^*(q_0^*)$; 2) $p_r^* < p_c^* < p_0^*$.

证明 1) 由于 q_c^* 是函数 $\pi_c(q_c)$ 的驻点,比较 $\pi_c(q_c)$ 和 $\pi_r(q_r, p_r)$ 的表达式可知 $\pi_c^*(q_c^*) > \pi_r^*(q_r^*, p_r^*)$; 又由命题 3 可知 $q_c^* < q_0^*$,因此,不妨令 $q_0^* = q_c^* + \Delta q$, $\Delta q > 0$,则

$$\pi_c^*(q_c^*) - \pi_0^*(q_0^*) = [(u+m-v)\bar{F}(q_c^*) - (u-v)] \times \left[q_c^* - \int_0^{q_r^*} F(x)\mathrm{d}x\right] - (u-v+g) \times \left[\Delta q - \int_{q_c^*}^{q_c^*+\Delta q} F(x)\mathrm{d}x\right] + (c-v)\Delta q$$

因为 $-(u-v+g)\left(\Delta q - \int_{q_c^*}^{q_c^*+\Delta q} F(x)\mathrm{d}x\right) + (c-v)\Delta q < -(u+g-c)\Delta q + (u-v+g)\Delta q F(q_0^*) = 0$

要证明 $\pi_c^*(q_c^*,p_c^*) < \pi_0^*(q_0^*,p_0^*)$，只需证明 $F(q_c^*) \geqslant \frac{m}{u+m-v}$，由于 $m \in [0,u-c)$，且 $\frac{m}{u+m-v}$ 是关于 m 的增函数，所以 $\frac{m}{u+m-v} \in [0,0.5)$. 因为 $\frac{m}{u+m-v}\big|_{m=0} = 0$，$F(q_c^*)\big|_{m=0} > 0$，又因为 $F[q_c^*(m)]$ 在 $m \in [0,u-c)$ 上是关于 m 的连续函数，所以必定存在 $m=0$ 的某一邻域 $m \in [0,m^*]$ 使得 $F[q_c^*(m)] \geqslant \frac{m}{u+m-v}$ 成立. 令集合

$$S = \{m_0 \mid F[q_c^*(m_0)] = \frac{m_0}{u+m_0-v}, m_0 \in [0,u-c)\}$$

若 $S=\varnothing$，则 $m^* = u-c$，若 $S \neq \varnothing$，则 $m^* = \min\{m_0 \mid m_0 \in S\}$. 所以当 $m \in [0,m^*]$ 时，$F(q_c^*) \geqslant \frac{m}{u+m-v}$，即 $\pi_r^*(q_r^*,p_r^*) < \pi_c^*(q_c^*) < \pi_0^*(q_0^*)$ 成立.

2) 因为当 $m \in [0,m^*]$ 时，$F(q_c^*) \geqslant \frac{m}{u+m-v}$，所以 $p_c^* - p_0^* = m-(u-v+m)F(q_c^*) < 0$，即 $p_c^* < p_0^*$，又因为 $p_c^* - p_r^* = -(u-v+m)[F(q_c^*) - F(q_r^*)] > 0$，即 $p_r^* < p_c^*$，所以当 $m \in [0,m^*]$ 时，$p_r^* < p_c^* < p_0^*$ 成立.

命题 4 表明，零售商可以通过数量承诺来改善自身的最优期望利润. 当战略顾客未购买到产品时的后悔效用值 m 较小时，数量承诺时的最优销售价格大于理性预期均衡时的最优销售价格，但是小于标准报童模型的最优销售价格，数量承诺时零售商获得的最优期望利润大于理性预期均衡时获得的最优期望利润，但是小于标准报童模型的最优期望利润.

当 $m \in (m^*,u-c)$ 时，由前面的分析可知 $\pi_c^*(q_c^*) > \pi_r^*(q_r^*,p_r^*)$ 与 $p_c^* > p_r^*$ 仍然成立，但是由于 q_c^* 的结构较为复杂，$\pi_c^*(q_c^*)$ 与 $\pi_0^*(q_0^*)$ 以及 p_c^* 与 p_0^* 之间的大小关系很大程度上依赖于具体的需求分布和参数的取值，难以解析地分析大小关系，但是从命题 4 的证明过程以及第 4 节的数值算例可以发现，当 m 的值较大时，零售商在数量承诺时的最优期望利润 $\pi_c^*(q_c^*)$ 和最优销售价格 p_c^* 则有可能分别大于标准报童模型的最优期望利润 $\pi_0^*(q_0^*)$ 和最优销售价格 p_0^*.

文献 [9] 分别比较了标准报童模型和理性预期均衡时零售商的销售价格和存货数量之间的关系，以及理性预期均衡时和数量承诺时零售商的最优存货数量和最优期望利润之间的关系; 命题 3 和命题 4 则同时比较和分析了标准报童模型、理性预期均衡和数量承诺 3 种情形下零售商最优销售价格、最优存货数量和最优期望利润之间的关系. 当不考虑零售商的缺货成本以及战略顾客的后悔效用($g = m = 0$) 时，从文献 [9] 和命题 4 的证明过程可知 $\pi_c^*(q_c^*) < \pi_0^*(q_0^*)$ 恒成立，表明战略顾客行为的存在减少了零售商的最优期望利润，但是当考虑战略顾客的后悔效用且 m 较大时，零售商在数量承诺时最优期望利润 $\pi_c^*(q_c^*)$ 则可能超过标准报童模型的最优期望利润 $\pi_0^*(q_0^*)$，与传统的战略顾客行为的存在不利于零售商的观点相反，命题 4 表明战略顾客行为在一定条件下对于零售商可能更为有利，因此，战略顾客的后悔效用对于零售商的最优期望利润具有重要的影响.

3　供应链渠道协调契约

在集中式供应链中不会实际发生数量承诺时的最优解[9]，这是因为零售商缺少有效的承诺机制来保证承诺数量的可置信性. 因为战略顾客知道，当零售商的边际利润不为零时，零售商将会选择增加存货数量从而增加利润，从而偏离理性预期均衡，所以在集中式供应链中，零售商的数量承诺是不可置信的. 但是分散式供应链可以通过适当地协调契约实现数量承诺的效果，因为在分散式供应链中，供应商和零售商都是独立的利益主体，从而使零售商对战略顾客的数量承诺变得可置信. 从上节命题 3 的分析可知，零售商通过数量承诺获得的最优期望利润比理性预期均衡时的高，因此协调供应链的基准将不再是理性预期均衡时的供应链的最优总利润，而是数量承诺时供应链可获得的最优总利润，本节分析在分散式供应链中如何使用收入分享契约和数量折扣契约实现供应链协调.

3.1　收入分享契约

假定供应商和零售商之间通过收入分享契约

(ω,ϕ) 协调，也即供应商承诺提供给零售商较低的批发价格 ω，同时零售商承诺将销售收入的一定比例 $1-\phi$ 返还给供应商，以弥补供应商由于降低批发价格而造成的利润损失[15]. 不考虑供应商的缺货成本，则在收入分享契约下零售商、供应商和供应链的期望利润函数可以分别表示为

$$\pi_{rs}^{r}(q_{rs},p_{rs})=\phi p_{rs}E[\min(d,q_{rs})]+\phi vE[(q_{rs}-d)^{+}]-gE[(d-q_{rs})^{+}]-\omega q_{rs} \tag{9}$$

$$\pi_{rs}^{s}(q_{rs},p_{rs})=(\omega-c)q_{rs}+(1-\phi)p_{rs}E[\min(d,q_{rs})]+(1-\phi)vE[(q_{rs}-d)^{+}] \tag{10}$$

$$\begin{aligned}\pi_{rs}(q_{rs},p_{rs})&=\pi_{rs}^{r}(q_{rs},p_{rs})+\pi_{rs}^{s}(q_{rs},p_{rs})\\&=p_{rs}E[\min(d,q_{rs})]+vE[(q_{rs}-d)^{+}]-gE[(d-q_{rs})^{+}]-cq_{rs}\end{aligned} \tag{11}$$

其中，下标 rs 表示使用收入分享契约协调供应链时的情形，上标 r 表示零售商，s 表示供应商.

类似于命题 1 的证明过程，当 $\phi\neq 0$ 时，可以得到理性预期均衡时零售商的最优存货数量和最优销售价格分别为

$$q_{rs}^{*}=\bar{F}^{-1}\left[\frac{\sqrt{g^{2}+4\phi(u+m-v)(\omega-\phi v)}-g}{2\phi(u+m-v)}\right],$$

$$p_{rs}^{*}=v+\frac{1}{2\phi}\left[\sqrt{g^{2}+4\phi(u+m-v)(\omega-\phi v)}-g\right]$$

命题 5 当 $0\leqslant\lambda\leqslant 1$，收入分享契约的参数 (ω,ϕ) 满足如下关系时

$$\begin{cases}\phi p-\phi v+g=\lambda(p-v+g)\\ \omega-\phi v=\lambda(c-v)\end{cases} \tag{12}$$

使用收入分享契约可以实现供应链协调，供应链的最优期望利润 $\pi_{rs}^{*}(q_{rs}^{*},p_{rs}^{*})=\pi_{c}^{*}(q_{c}^{*})$，并且供应链的利润能在供应商和零售商之间实现任意比例的划分.

证明 当收入分享契约的参数 (ω,ϕ) 满足式(12)时，化简式(9)和(10)式可得

$$\pi_{rs}^{r}(q_{rs},p_{rs})=\lambda\pi_{rs}(q_{rs},p_{rs})-(1-\lambda)g\mu \tag{13}$$

$$\pi_{rs}^{s}(q_{rs},p_{rs})=(1-\lambda)\pi_{rs}(q_{rs},p_{rs})+(1-\lambda)g\mu \tag{14}$$

此时零售商的最优存货数量 q_{rs}^{r*} 等于供应链的最优存货数量 q_{rs}^{*}，由于数量承诺时零售商的销售价格满足

$$p_{rs}=(u+m)-(u+m-v)F(q_{rs})$$

化简式(11)可得

$$\pi_{rs}(q_{rs},p_{rs})=(u+m-v)\bar{F}(q_{rs})E[\min(d,q_{rs})]-(c-v)q_{rs}-gE[(d-q_{rs})^{+}] \tag{15}$$

分析比较式(8)和式(15)可知，供应链的最优存货数量 q_{rs}^{*} 等于数量承诺时零售商的最优存货数量 q_{c}^{*}，所以，当收入分享契约的参数 (ω,ϕ) 满足式(12)时，$\pi_{rs}^{*}(q_{rs}^{*},p_{rs}^{*})=\pi_{c}^{*}(q_{c}^{*})$，分散式供应链可以实现协调，并且当 $\lambda=1$ 时，零售商获得全部利润，当 $\lambda=\dfrac{g\mu}{g\mu+\pi_{rs}(q_{rs},p_{rs})}$ 时，供应商获得全部利润，供应链的利润可以在供应商和零售商之间实现任意比例的划分.

命题 5 表明，在分散式供应链中，零售商和供应商之间可以通过收入分享契约来实现数量承诺时可获得的最优期望利润，因为当供应商和零售商属于不同的利益主体时，零售商对战略顾客的数量承诺将会变得可置信了，因为战略顾客知道一旦零售商偏离供应链的最优存货数量，零售商将会产生利润损失，因此理性的零售商不会偏离供应链的最优存货数量，进一步分析可知，当 $g=0$，参数 λ 的取值表示了零售商获得的利润占供应链整体利润的比值，此时，$\pi_{rs}^{r*}(q_{rs}^{*},p_{rs}^{*})=\lambda\pi_{c}^{*}(q_{c}^{*})$，$\pi_{rs}^{s*}(q_{rs}^{*},p_{rs}^{*})=(1-\lambda)\pi_{c}^{*}(q_{c}^{*})$.

3.2 数量折扣契约

假定供应商和零售商之间通过数量折扣契约协调，供应商提供给零售商的批发价格 ω 是存货数量 q 的函数. 数量折扣有两种形式，全部数量的价格折扣和增量数量的价格折扣，其中全部数量的价格折扣是指所有的货物都可以享受到折扣价格，而增量数量的价格折扣是指只有超过给定数量的部分货物才能够享受到折扣价格[19]. 本文假定供应商提供给零售商的数量折扣是全部数量的价格折扣，则零售商的期望利润函数，供应商的期望利润函数，以及供应链的期望利润函数分别为

$$\pi_{qd}^{r}(q_{qd},p_{qd})=p_{qd}E[\min(d,q_{qd})]+vE[(q_{qd}-d)^{+}]-gE[(d-q_{qd})^{+}]-\omega(q_{qd})q_{qd} \tag{16}$$

$$\pi_{qd}^{s}(q_{qd},p_{qd})=[\omega(q_{qd})-c]q_{qd} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}\pi_{qd}(q_{qd},p_{qd})&=\pi_{qd}^{r}(q_{qd},p_{qd})+\pi_{qd}^{s}(q_{qd},p_{qd})\\&=p_{qd}E[\min(d,q_{qd})]+vE[(q_{qd}-d)^{+}]-gE[(d-q_{qd})^{+}]-cq_{qd}\end{aligned} \tag{18}$$

其中,下标 qd 表示使用数量折扣契约协调供应链时的情形,上标 r 表示零售商,s 表示供应商,当使用数量折扣契约协调供应链时,有如下命题成立.

命题6 当 $0 \leqslant \lambda \leqslant 1$,数量折扣契约的批发价格函数 $\omega(q_{qd})$ 满足关系

$$\omega(q_{qd}) = \lambda(p_{qd} + g) + (1-\lambda)c - \frac{\lambda}{q_{qd}}\left[(p_{qd} - v + g)\int_0^{q_{qd}} F(x)\,\mathrm{d}x + g\mu\right] \tag{19}$$

时,使用数量折扣契约可以协调供应链,供应链的最优期望利润 $\pi_{qd}^*(q_{qd}^*,p_{qd}^*) = \pi_c^*(q_c^*)$,供应链的利润可以在供应商和零售商之间实现任意比例的划分.

证明 将式(19)分别代入式(16)和式(17),化简整理可得

$$\pi_{qd}^r(q_{qd},p_{qd}) = (1-\lambda)\pi_{qd}(q_{qd},p_{qd}) \tag{20}$$

$$\pi_{qd}^s(q_{qd},p_{qd}) = \lambda\pi_{qd}(q_{qd},p_{qd}) \tag{21}$$

此时零售商的最优存货数量 $q_{qd}^{r^*}$ 等于供应链的最优存货数量 q_{qd}^*,由于数量承诺时零售商的销售价格满足 $p_{qd} = (u+m) - (u-v+m)F(q_{qd})$,代入式(18)可得

$$\pi_{qd}(q_{qd},p_{qd}) = (u+m-v)\overline{F}(q_{qd}) \times \mathrm{E}\left[\min(d,q_{qd})\right] - (c-v)q_{qd} - g\mathrm{E}\left[(d-q_{qd})^+\right] \tag{22}$$

分析比较式(8)和式(22)可知,供应链的最优存货数量 q_{qd}^* 等于数量承诺时零售商的最优存货数量 q_c^*,所以,当数量折扣契约的批发价格 $\omega(q_{qd}$ 满足式(19)时,$\pi_{qd}^*(q_{qd}^*,p_{qd}^*) = \pi_c^*(q_c^*)$,分散式供应链可以实现协调,并且当 $\lambda = 0$ 时,零售商获得全部利润,当 $\lambda = 1$ 时,供应商获得全部利润,供应链的利润可以在供应商和零售商之间实现任意的比例划分.

命题6 表明,在分散式供应链中,零售商和供应商之间可以通过数量折扣契约来实现数量承诺时可获得的最优期望利润,并且可以实现供应链的利润在供应商和零售商之间进行任意比例的划分,同时使零售商对战略顾客的数量承诺会变得可置信了. 由式(20)和(21)可知,当批发价格满足式(19)时,零售商的利润占供应链的总利润的比例为 $1-\lambda$,零售商的利润占供应链的总利润的比例为 λ.

4 算例分析

假定模型中参数的取值如下: $u = 7$, $c = 4$, $v = 2$, $m = 1$,市场需求服从正态分布 $N(100, 20^2)$,当缺货成本 $g \in [0,5]$ 时,零售商在标准报童模型、理性预期均衡以及数量承诺时的最优存货数量的变化曲线如图 1 所示. 从图 1 中可以看出,理性预期均衡时的最优存货数量小于标准报童模型的最优存货数量,但是大于数量承诺时的最优存货数量,与命题 3 结论一致. 从图 1 中也可以看出,缺货成本 g 越大,零售商在 3 种情形下的最优存货数量越大,这是因为为了减少缺货损失,零售商将愿意增加存货数量.

当缺货成本 $g \in [0,5]$ 时,零售商的最优期望利润曲线如图 2 所示. 从图 2 可以看出,理性预期均衡时的最优期望利润小于标准报童模型中的最优期望利润,但是零售商可以通过数量承诺来改善自身的最优期望利润,当 m 较小(此处 $m = 1$)时,仍然会小于标准报童模型中的最优期望利润; 但是 m 较大(此处 $m = 2$)且缺货成本 g 较小时,数量承诺时的最优期望利润则大于标准报童的最优期望利润,表明战略顾客的后悔效用的存在对于零售商的最优期望利润有重要影响. 从图 2 中也可以看出,随着缺货成本 g 不断增大,3 种情形下零售商的最优期望利润不断减少.

当零售商的缺货成本 $g \in [0,5]$ 时,零售商的最优销售价格曲线如图 3 所示,从图 3 可以看出,理性预期均衡时的最优销售价格小于标准报童模型的最优销售价格,当战略顾客在没有购买到产品时心理感受到的后悔效用值 m 较小(如当 $m = 0.2$)时,数量承诺时的最优销售价格低于标准报童模型的最优销售价格,但是当 m 较大(如当 $m = 1.0$)且缺货成本 g 较小时,数量承诺时的最优销售价格则高于标准报童模型的最优销售价格. 当零售商的缺货成本 g 增大时,零售商在理性预期均衡时和数量承诺时的最优销售价格将会减小.

在分散式供应链中,收入分享契约可以有效协调供应链,图 4 反映了当零售商的缺货成本 $g = 1, 2, 3$,且 $m = 1$ 时收入分享契约的参数批发价格 ω 和收入分享因子 ϕ 的关系,注意到当 $\phi = 1$ 时,$\omega = c = 4$,当 $\phi = 0$ 时,批发价格 ω 始终大于零.

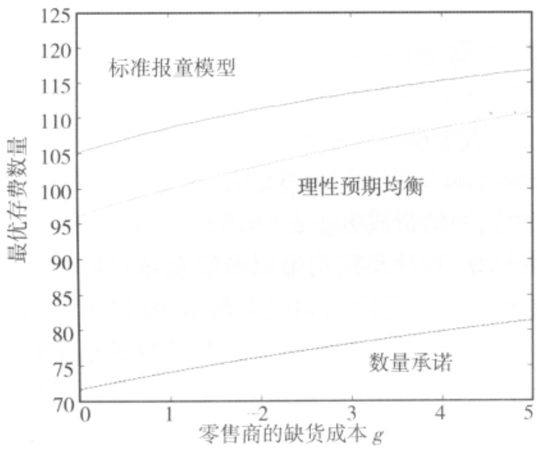

图 1 缺货成本 $g \in [0,5]$ 时零售商的最优存货数量

Fig. 1 Retailer's optimal stocking quantity with stock out cost $g \in [0,5]$

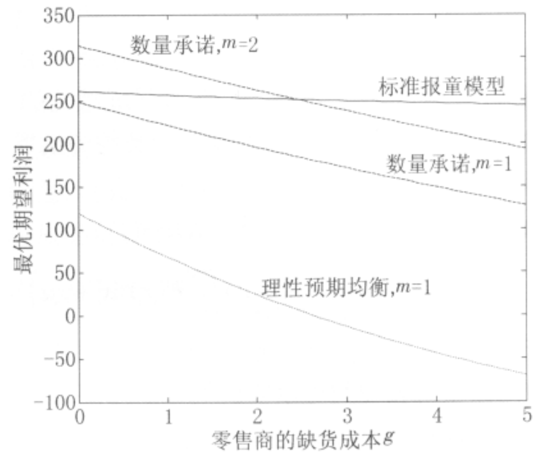

图 2 缺货成本 $g \in [0,5]$ 时零售商的最优期望利润

Fig. 2 Retailers' optimal expected profit with stock out cost $g \in [0,5]$

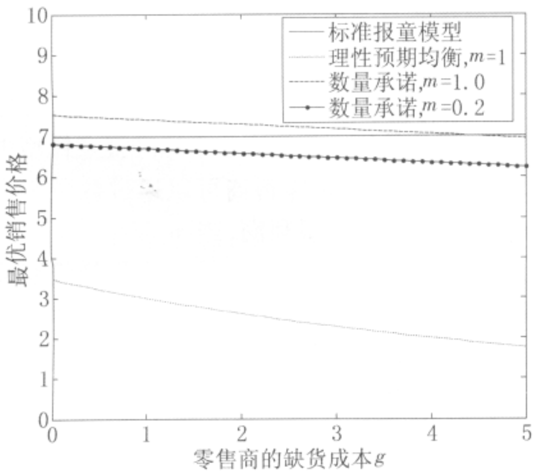

图 3 缺货成本 $g \in [0,5]$ 时零售商的最优销售价格

Fig. 3 Retailers' optimal selling price with stock out cost $g \in [0,5]$

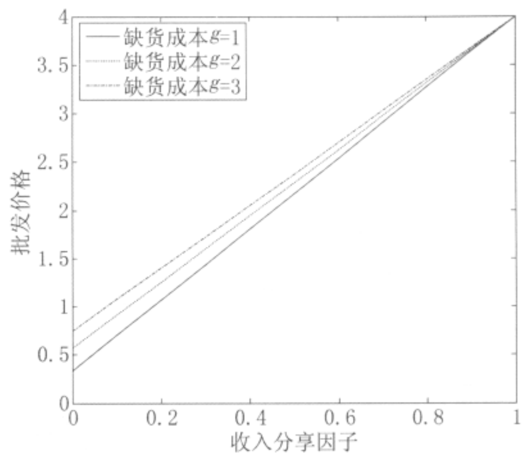

图 4 缺货成本 $g = 1,2,3$ 时的收入分享契约参数

Fig. 4 Revenue sharing contract parameters with stock out cost $g = 1,2,3$

5 结束语

本文在文献 [9] 的基础上,考虑了战略顾客在销售期末未购买到产品时可能感受到的后悔效用和缺货成本,得到了战略顾客和零售商静态博弈时的理性预期均衡解,同时分析了数量承诺对供应链最优定价和库存决策以及性能的影响. 研究表明,理性预期均衡时零售商的最优存货数量大于数量承诺时最优存货数量,但是小于标准报童模型的最优存货数量,当战略顾客在销售期末未购买到产品时感受到的后悔效用值较小时,数量承诺时的最优销售价格和最优期望利润分别大于理性预期均衡时的最优销售价格和最优期望利润,分别小于标准报童模型的最优销售价格和期望销售利润,但是当战略顾客在销售期末未购买到产品时感受到的后悔效用值较大时,数量承诺时的最优销售价格和最优期望利润则可能分别大于标准报童模型的最优销售价格和最优期望利润. 并且进一步分析了在分散式供应链中如何使用收入分享契约和数量折扣契约实现供应链协调. 由于本文假定所有的战略顾客都是同质的,不同质的顾客的战略行为对于供应链性能的影响和协调机制的建立将是下一步研究的重点.

参 考 文 献:

[1] Levin Y, McGill J, Nediak M. Dynamic pricing in the presence of strategic consumers and oligopolistic competition [J]. Management Science, 2009, 55(1): 32-46.

[2] Elmaghraby W, Gülcü A, Keskinocak P. Designing optimal preannounced markdowns in the presence of rational customers with multiunit demands [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10 (1): 126-148.

[3] Liu Q, Ryzin G J. Strategic capacity rationing to induce early purchases [J]. Management Science, 2008, 54 (6): 1115-1131.

[4] Gallego G, Phillips R, Sahin Ö. Strategic management of distressed inventory [J]. Production and Operations Management, 2008, 17(4): 402-415.

[5] Zhang D, Cooper W. Managing clearance sales in the presence of strategic customers [J]. Production and Operations Management, 2008, 17(4): 416-431.

[6] Aviv Y, Pazgal A. Optimal pricing of seasonal products in the presence of forward-looking consumers [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2008, 10 (3): 339-359.

[7] 刘晓峰, 黄　沛. 基于策略型消费者的最优动态定价与库存决策 [J]. 管理科学学报, 2009, 12(5): 18-26.
Liu Xiaofeng, Huang Pei. Optimal dynamic pricing and inventory policy under strategic customers [J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(5): 18-26. (in Chinese)

[8] Muth J F. Rational expectations and the theory of price movements [J]. Econometrica, 1961, 29(3): 315-335.

[9] Su Xuanming, Zhang Fuqing. Strategic customer behavior, commitment, and supply chain performance [J]. Management Science, 2008, 54(10): 1759-1773.

[10] Cachon G P, Swinney R. Purchasing, pricing, and quick response in the presence of strategic consumers [J]. Management Science, 2009, 55(3): 497-511.

[11] Su X, Zhang F. On the value of commitment and availability guarantees when selling to strategic consumers [J]. Management Science, 2009, 55(5): 713-726.

[12] Su X. Inter-temporal pricing with strategic customer behavior [J]. Management Science, 2007, 53(5): 726-741.

[13] 李　娟, 黄培清, 顾　锋. 基于顾客战略行为下的供应链系统的绩效研究 [J]. 中国管理科学, 2007, 15(4): 77-82.
Li Juan, Huang Peiqing, Gu Feng. Study on supply chain performance based on strategic customer behavior [J]. Chinese Journal of Management Science, 2007, 15(4): 77-82. (in Chinese)

[14] Shen Z J M, Su X. Customer behavior modeling in revenue management and auctions: a review and new research opportunities [J]. Production and Operations Management, 2007, 16(6): 713-728.

[15] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [M] // Graves S, de Kok T. The Handbook in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management. Amsterdam, Netherlands: Kluwer, 2002.

[16] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue sharing contracts: Strengths and limitations [J]. Management Science, 2005, 51(1): 30-44.

[17] Giannoccaro I, Pontrandolfo P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts [J]. International Journal of Production Economics, 2004, 89(2): 131-139.

[18] Koulamas C. A newsvendor problem with revenue sharing and channel coordination [J]. Decision Science, 2006, 37(1): 91-100.

[19] Weng Z K. Channel coordination and quantity discounts [J]. Management Science, 1995, 41(9): 1509-1522.

[20] Corbett C J, Groote X. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information [J]. Management Science, 2000, 46(3): 444-450.

[21] Altintas N, Erhun F, Tayur S. Quantity discounts under demand uncertainty [J]. Management Science, 2008, 54(4):

777 – 792.

[22] Cachon G P. The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, pull, and advanced-purchase discount contracts [J]. Management Science, 2004, 50 (2): 222 – 238.

Supply chain performance analysis and coordination with consideration of strategic customer behavior

HUANG Song[1], *YANG Chao*[1], *ZHANG Xi*[2]

1. School of Management, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;
2. School of Management, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China

Abstract: The widespread application of dynamic pricing strategy has trained customers to be strategic. Strategic customers time their purchase optimally according to the price path of the product in the selling season, and the retailer determines optimal stocking quantity and selling price according to customers' purchase behavior. The rational expectation equilibrium solution when the two members play in a static game, as well as the situation in which the retailer makes quantity commitment to strategic customers, is investigated. It is found that the optimal selling price, optimal stocking quantity and optimal expected profit in rational expectation equilibrium are smaller than that in standard newsvendor model, respectively. The optimal stocking quantity in quantity commitment is smaller than that in rational expectation, the optimal expected profit in quantity commitment is larger than that in rational expectation equilibrium, and is larger than that in standard newsvendor model under some specific conditions, which indicates that the existence of strategic customer behavior may benefit the retailer. Further, revenue sharing contract and quantity discount contract are utilized to coordinate the decentralized supply chain.

Key words: supply chain management; strategic customer behavior; rational expectation equilibrium; contract