

文章编号:1003-207(2015)05-0048-08

DOI:10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2015.05.007

基于顾客策略行为和缺货损失的供应链 定价与订购决策

徐 兵,熊志建

(南昌大学管理科学与工程系,江西 南昌 330031)

摘 要:顾客基于理性预期决定购买时机的策略行为造成供应链决策困难,影响到供应链利润。针对单生产商、单零售商组成、具有高支付意愿与低支付意愿两类顾客的供应链,利用均衡分析方法和理性预期理论建立了考虑缺货损失下高支付意愿顾客分别为策略型顾客与短视型顾客时供应链的分散式决策二层规划模型和集中式决策模型,对该四种模型进行了求解与对比分析、以及数值仿真和敏感性分析,算例表明了模型的合理性和结论的有效性。研究表明:高 WTP 顾客为策略型顾客时,集中式供应链与分散式供应链相比,其订货量高、但零售价低,故利润反而较低;高支付意愿顾客为策略型顾客时分散式供应链和集中式供应链的利润小于高支付意愿顾客为短视型顾客下的情形;四种供应链模式下的订货量随单位缺货损失的增加而增加,但供应链的利润降低。限量销售、回购剩余产品、提高顾客心目中的产品价值等策略可有效降低顾客策略行为对供应链的影响。本文将促进基于顾客策略行为的供应链理论研究与管理实践。

关键词:顾客策略行为;供应链决策模型;缺货损失;理性预期均衡;定价与订购决策

中图分类号:F274 **文献标识码:**A

1 引言

现实中,消费者会根据其对产品未来价格和供需情况的预期来制定购买决策。依据消费者对产品支付意愿(WTP: Willingness to Pay),可将消费者分为高 WTP 顾客和低 WTP 顾客。相对于低 WTP 顾客,高 WTP 顾客对产品价值的认同度高,为得到该产品愿意付出更多货币。依据消费者对等待购买的耐心程度,可将消费者分为策略型顾客、短视型顾客与求廉顾客。策略顾客基于以往价格的变动和对未来价格的预期优化购买时间,有时即使当期商品价格低于其支付意愿,也会考虑到将来有可能以更低的价格购买而拒绝现在购买,即存在顾客策略行为^[1]。短视型顾客缺乏等待耐心,只要商品当期价格低于其支付意愿就将购买。求廉顾客会一直等到

商品打折或降价处理才会购买,否则绝不购买。零售商需要综合考虑顾客类型、及其决策行为来制定季节性产品的订货与定价策略。以往许多文献基于消费者是被动的、不参与决策的假设研究营销渠道和供应链,所得结果与实际情况往往存在偏差,因为顾客策略行为是影响商品需求的重要因素^[2]。基于顾客策略行为的定价与库存问题已成为最新研究方向。Aviv 和 Pazgou^[3]假设策略型顾客随机到达、且到达速率与产品价格和库存无关,研究两种二阶段定价策略(同时给出全价期的零售价和折扣期的折扣价、先给出零售价至折扣期再依据库存确定折扣价)下单零售商与策略顾客的博弈均衡。Su Xuan-ming^[4]假定具有不同的产品价值认同和等待购买意愿的顾客连续到达市场、决定以现价即期购买还是等待,依支付意愿的高低和耐心程度将顾客划分为四种类型,在确定性需求下研究了零售商最优定价问题。计国君和杨光勇^[5]研究了顾客最大支付意愿事前异质和事后异质两种情形下最惠顾客保证的价值。刘晓峰和黄沛^[6]研究了消费者基于理性预期而推迟购买产品的策略行为对厂商的影响,给出了厂商最优库存策略,并与传统报童模型进行了比较。刘晓峰和黄沛^[7]分别在确定性和不确定性需求下研

收稿日期:2013-01-18; 修订日期:2013-07-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70961006);中国博士后科学基金(20100481186);中国博士后科学基金特别资助项目(2012T50593);“江西省‘十二五’重点学科管理科学与工程”资助项目

作者简介:徐兵(1972-),男(汉族),江西南昌人,南昌大学管理科学与工程系博士,教授;研究方向:运筹学、物流与供应链管理。

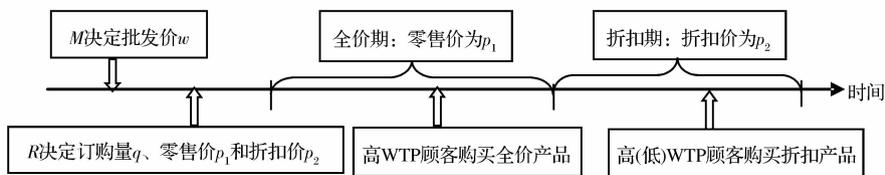


图 1 决策顺序

究了厂商面对消费者的策略行为如何制定最优的定价与库存决策。Cachon^[8]将顾客分为短视型、策略型和求廉型三类,研究不确定需求下单零售商的季节性产品销售问题,发现当存在策略型顾客时,零售商将减少库存数量和价格折扣,其利润小于不存在策略型顾客情况。Xu Xiaohao 等^[9]假定需求市场上存在策略型和非策略型两类顾客,分别在折扣率为内生变量和外生变量两种情况下研究了零售商的最优定价(单一价格与两阶段定价)策略和库存在两阶段的配给问题。黄松等^[10]研究了一类在报童模型中考虑客户战略行为和风险态度时的最优定价与库存控制问题,给出了策略型顾客与零售商的均衡模型及其解。但以上研究^[1-10]未考虑企业所在供应链情况。Su Xuanming 等^[11]分析了顾客策略行为对供应链绩效的影响,发现零售商的数量有限或不降价承诺可提高其利润。李娟等^[12]针对单供应商、单零售商和策略型顾客的供应链,供应商可回购零售商在一级市场未售产品至二级市场再销售,分析了顾客在两个市场选择购买的策略行为对供应链系统订购量、及系统总收益的影响。杨道箭等^[13]基于顾客是否光顾零售商的策略行为,利用报童模型研究由单生产商单分销商组成的分散式供应链在批发价格契约、数量折扣契约和两部定价契约下的供货水平和供应链绩效。杨道箭^[14]针对单生产商和单分销供应链,研究了顾客策略行为和风险偏好对供应链的影响和利润分享问题。

在 Su Xuanming^[11]和杨道箭^[14]的研究基础上,针对单生产商和单零售商供应链,将顾客群分为高支付意愿和低支付意愿两类,分别建立高支付意愿顾客为策略型顾客和短视型顾客情况下考虑缺货损失的供应链分散式决策模型和集中式决策模型,对比分析四种模式下供应链的最优决策和利润,阐述顾客策略行为和缺货损失对供应链的影响、及分散式和集中式决策模式的优劣。Su Xuanming^[11]和杨道箭^[14]没有将顾客按支付意愿进行分类,仅分析策略型顾客的产品选择,未考虑高支付意愿顾客为短视型情况、缺货损失问题、以及四种模式的比较,本文研究完善了现有成果。

2 模型假设

考虑由生产商 M 和零售商 R 组成、向具有高 WTP (Willingness to Pay, 支付意愿) 和低 WTP 两类顾客的需求市场 D 进行生产和销售某季节性产品的二层供应链。 R 将销售期分成全价期和折扣期(或残值期、处理期)两个阶段。如图 1 所示,在销售期来临前, M 先决定批发价 $w > c$, 其中 c 为单位生产成本;然后 R 决定订购量 $q > 0$ 和全价期的零售价 $p_1 > w$ 、折扣期的折扣价 $p_2 < c$; M 依订单组织生产并在销售期来临前给 R 供货; R 没有二次订货的机会,在销售期尽量将产品销售出去。高 WTP 顾客与低 WTP 顾客心目中产品价值分别为 v_h 和 v_l , 满足 $v_h > w > c > v_l > 0$ 。高 WTP 顾客群的产品总需求 X 为随机变量,分布函数和密度函数分别为 $F(x)$ 和 $f(x)$, 其中 $F(x)$ 连续可微、单调递增,且 $F(0) = 0$ 。 $F(x)$ 存在反函数 F^{-1} 。低 WTP 顾客群仅在折扣期按折扣价购买商品(类似求廉顾客),且产品总需求无限,所以零售商在折扣期内能够售出全价期所余的全部产品。不考虑零售商的销售成本和退货问题,但零售商需承担全价期的缺货损失,单位缺货成本为 $t > 0$ 。Su Xuanming^[11]在不考虑缺货损失下发现:存在策略顾客时,零售商的订货量低于经典报童模型所确定的订货量。本文试图分析缺货损失的影响,反映实践现状。

高 WTP 顾客为短视型顾客时,只要全价期零售价低于其支付意愿,就会购买产品;高 WTP 顾客为策略型顾客时,将比较全价期的产品购买效用和折扣期产品的可得性来确定购买时机(图 1)。下面针对上述情况研究供应链最优决策,并用下标 m, s 分别表示高 WTP 顾客为短视型(Myopic)和策略型(Strategic)两种类型,上标 D, I 分别表示供应链为分散式(Decentralized)和集中式(Integrated)两种情况。

3 基于顾客短视行为的供应链决策模型

3.1 基于顾客短视行为的分散式供应链决策模型

当且仅当购买效用 $v_h - p_1 \geq 0$ 时,具有短视行

为的高 WTP 顾客会在全价期购买产品;当且仅当购买效用 $v_l - p_2 \geq 0$ 时,低 WTP 顾客会在折扣期购买产品。为保障销售和收益,零售商会尽量使高 WTP 顾客在全价期购买产品,并在折扣期售完剩余产品,故 R 的定价需满足: $p_1 \leq v_h$ 和 $p_2 \leq v_l$, 此时 R 在全价期的期望未销售量 I 、期望销售量 S 、期望缺货量 L 分别为:

$$I = \int_0^q (q - x) f(x) dx = \int_0^q F(x) dx,$$

$$S = \int_0^q x f(x) dx + \int_q^{+\infty} q f(x) dx = q - I$$

$$L = \int_q^{+\infty} (x - q) f(x) dx = u - S$$

其中 $u = \int_0^{+\infty} x f(x) dx$ 为期望需求量。进一步,生产商 M 、零售商 R 和供应链的利润函数分别为:

$$\pi_M(\omega) = (\omega - c)q \tag{1}$$

$$\pi_R(q, p_1, p_2) = p_1 S + p_2 I - tL - \omega q = (p_1 - \omega + t)q - (p_1 - p_2 + t)I - tu \tag{2}$$

$$\pi(q, p_1, p_2) = \pi_M + \pi_R = (p_1 - c + t)q - (p_1 - p_2 + t)I - tu \tag{3}$$

分散式供应链 (Decentralized SC) 中各成员无主从关系,均以自身利润最大化为目标进行决策。高 WTP 顾客具有短视行为的供应链分散式决策为如下二层规划模型的解:

$$\omega_m^D \in \underset{\omega \geq c}{\operatorname{argmax}} \pi_M(\omega, q_m^D)$$

$$s. t. (q_m^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D) \in \underset{q \geq 0, \omega \leq p_1 \leq v_h, 0 \leq p_2 \leq v_l}{\operatorname{argmax}} \pi_R(q, p_1, p_2) \tag{4}$$

式(4)是二层规划 (Bi-level Program), 上层是求生产商利润最大化的最优批发价 ω_m^D , 下层是求零售商利润最大化的订购量、零售价和折扣价。

理性预期假设由 Muth^[15] 于 1961 年首先提出, 在经济学领域有着广泛的应用。理性预期假设认为经济运行结果与人们的预期不会有系统偏差。基于理性预期, 零售商与顾客 (短视型高 WTP 顾客 + 低 WTP 顾客) 之间的均衡需满足以下条件 A1-A3:

$$A1、p_{1m}^D = v_h; A2、p_{2m}^D = v_l; A3、q_m^D \in \underset{q \geq 0}{\operatorname{argmax}} \pi_R(q, p_1, p_2)$$

因为 $\frac{\partial^2 \pi_R}{\partial q^2} = -(p_1 - p_2 + t) f(q) < 0$, π_R 是 q 的严格凸函数, 一阶条件为充要条件。求解 $\frac{\partial \pi_R}{\partial q} = 0$, 得到满足 A3 的解: $F(q_m^D) = \frac{p_1 - \omega + t}{p_1 - p_2 + t}$.

基于 A1, A2 和 A3, 式(4)下层零售商基于理性预期的最优决策为:

$$(q_m^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D) = (F^{-1}(\frac{v_h - \omega + t}{v_h - v_l + t}), v_h, v_l) \tag{5}$$

由导函数分析可知, 零售商的最优订货量是单位缺货成本的增函数、产品批发价的减函数。进一步, 将式(5)代入生产商利润函数, 由一阶必要条件可得式(4)上层生产商的最优决策为:

$$\omega_m^D = c - q_m^D / \frac{\partial q_m^D}{\partial \omega} = c + q_m^D f(q_m^D) (v_h - v_l + t) > c \tag{6}$$

所以, 模型(4)式的解由(5)式和(6)式给出。

3.2 基于顾客短视行为的集中式供应链决策模型

集中式供应链 (Centralized SC) 或集成化供应链或 (Integrated SC) 中存在核心企业, 以供应链利润最大化为目标进行统一决策。与 3.1 节类似, 进行分析, 得到高 WTP 顾客具有短视行为下集中式供应链的决策模型为:

$$(q_m^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I) \in \underset{q \geq 0, c \leq p_1 \leq v_h, 0 \leq p_2 \leq v_l}{\operatorname{argmax}} \pi(q, p_1, p_2) \tag{7}$$

基于理性预期下集中式供应链的最优决策为:

$$(q_m^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I) = (F^{-1}(\frac{v_h - c + t}{v_h - v_l + t}), v_h, v_l) \tag{8}$$

可见, 集中式供应链的最优订货量是单位缺货成本的增函数。

命题 1 当高 WTP 顾客具有短视行为时, 集中式供应链和分散式供应链的产品定价相同, 即 $p_{1m}^I = p_{1m}^D = v_h$ 、 $p_{2m}^I = p_{2m}^D = v_l$; 但集中式供应链的订货量和利润大于分散式供应链的订货量和利润, 即:

$$q_m^I > q_m^D, \pi_m^I > \pi_m^D.$$

证明: 对比式(5)、式(6)和式(8), 有 $\omega_m^D > c$ 、 $q_m^D > q_m^I$ 、 $p_{1m}^D = p_{1m}^I = v_h$ 、 $p_{2m}^D = p_{2m}^I = v_l$ 。对 $\forall q \in [q_m^D, q_m^I)$, 有:

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} |_{(q, p_{1m}^D, p_{2m}^D)} = (p_{1m}^D - c + t) - (p_{1m}^D - p_{2m}^D + t) F(q) > (p_{1m}^I - c + t) - (p_{1m}^I - p_{2m}^I + t) F(q_m^I) = \frac{\partial \pi}{\partial q} |_{(q_m^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I)} = 0$$

故 $\pi_m^I > \pi_m^D$ 。证毕。

可见, 当高 WTP 顾客是短视型顾客时, 理性预期下零售商二阶段定价分别等于两类顾客愿意承担支付的, 而订货量恰好等于报童模型的解。此时, 供应链集中式控制比分散式控制更有效, 能提高供应链整体利润; 传统的回购合同、数量折扣合同、销售

折扣合同、收益共享合同等可协调供应链,并实现生产商和零售商共赢。与文献[11]的结论不同,当高 WTP 顾客是短视型顾客时,零售商订货决策((5)式和(8)式)与报童模型确定的订货量一致,且订货量随单位缺货成本的增大而增加。

4 基于顾客策略行为的供应链决策模型

4.1 基于顾客策略行为的分散式供应链决策模型

当高 WTP 顾客为策略型顾客时,会收集零售商的产品售价、库存信息、折扣期产品情况,基于观测信息和折扣期购买产品的可得性决定购买时机。高 WTP 顾客在全价期购买产品的效用为 $v_h - p_1$; 在折扣期购买产品的效用为 $v_h - p_2$,但买到产品的概率为 $\Phi = \text{prob}(X \leq q) = F(q)$,即期望效用为 $\Phi(v_h - p_2)$ 。所以,当且仅当 $v_h - p_1 \geq \Phi(v_h - p_2)$ 时,策略型顾客会在全价期购买。当且仅当购买效用 $v_l - p_2 \geq 0$ 时,低 WTP 顾客会在折扣期购买产品。为保障销售和收益,零售商会尽量使高 WTP 顾客在全价期购买产品,并在折扣期售完剩余产品,故 R 的定价需满足: $p_1 \leq v_h - (v_h - p_2)F(q)$ 和 $p_2 \leq v_l$ 。此时,生产商 M 、零售商 R 和供应链的利润函数仍由式(1)、式(2)和式(3)给出。所以,高 WTP 顾客具有策略行为的供应链分散式决策为如下二层规划模型的解:

$$\begin{aligned} & \omega_s^D \in \underset{\omega \geq c}{\operatorname{argmax}} \pi_M(\omega, q_s^D) \\ & s. t. (q_s^D, p_{1s}^D, p_{2s}^D) \in \underset{q \geq 0, \omega \leq p_1 \leq v_h - (v_h - p_2)F(q), 0 \leq p_2 \leq v_l}{\operatorname{argmax}} \pi_R(q, \\ & p_1, p_2) \end{aligned} \quad (9)$$

式(9)中上层是生产商利润最大化决策、下层是零售商利润最大化决策。

基于理性预期,零售商与顾客(策略型高 WTP 顾客+低 WTP 顾客)之间的均衡需满足以下条件 B1-B3:

$$\begin{aligned} & B1、p_{1s}^D = v_h - (v_h - v_l)F(q); B2、p_{2s}^D = v_l; \\ & B3、q_s^D \in \underset{q \geq 0}{\operatorname{argmax}} \pi_R(q, p_1, p_2)。 \end{aligned}$$

因 $\frac{\partial^2 \pi_R}{\partial q^2} < 0$, π_R 关于 q 严格凸,一阶条件为充分必要条件。求解 $\frac{\partial \pi_R(q)}{\partial q} = 0$, 得到满足 B3 的解:

$$F(q_s^D) = \frac{p_1 - \omega + t}{p_1 - p_2 + t}。再结合 B1-B2 可知, p_{1s}^D 满足: $p_1^2 - (2v_l - t)p_1 + [v_l(v_h - t) - \omega(v_h - v_l)] = 0$ 。因为 $v_l < p_{1s}^D < v_h$, 解该方程得:$$

$$p_{1s}^D = v_l + \frac{\sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(\omega - v_l)} - t}{2} \quad (10)$$

基于 B1, B2 和 B3, 式(9)下层零售商基于理性预期的最优决策为:

$$\begin{aligned} & (q_s^D, p_{1s}^D, p_{2s}^D) = (F^{-1}(1 - \frac{\sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(\omega - v_l)} - t}{2(v_h - v_l)}), \\ & v_l + \frac{\sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(\omega - v_l)} - t}{2}, v_l) \end{aligned} \quad (11)$$

由导函数分析可知,零售商的最优订货量是单位缺货成本的增函数、产品批发价的减函数。进一步,将式(11)代入生产商利润函数,由一阶必要条件可得到式(9)上层生产商的最优决策为:

$$\begin{aligned} & \omega_s^D = c - q_s^D / \frac{\partial q_s^D}{\partial \omega} = c + q_s^D f(q_s^D) \\ & \sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(\omega_s^D - v_l)} > c。 \end{aligned} \quad (12)$$

所以,模型(9)式的解由(11)式和(12)式给出。

命题 2 为吸引策略顾客在全价期购买产品、降低多货风险,分散式供应链在高 WTP 顾客为策略顾客下的订货量和全价期产品零售价低于高 WTP 顾客为短视顾客下的决策,但折扣期二者价格相同,即 $p_{1s}^D < p_{1m}^D, q_s^D < q_m^D, p_{2s}^D = p_{2m}^D$; 导致分散式供应链在策略型高 WTP 顾客下的利润低于在短视型高 WTP 顾客下的利润,即 $\pi_s^D < \pi_m^D$ 。

证明:对比式(5)和式(11)或均衡条件 A1-A3 与 B1-B3, 有 $p_{2s}^D = p_{2m}^D = v_l, v_l < p_{1s}^D < p_{1m}^D = v_h, q_s^D < q_m^D$ 。因 $\frac{\partial \pi}{\partial p_1} = q - \int_0^q F(x)dx > 0$, 故 $\pi(q_s^D, p_{1s}^D, p_{2s}^D) < \pi(q_s^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D)$ 。又对 $\forall q \in [q_s^D, q_m^D)$, 有

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \pi}{\partial q} |_{(q, p_{1m}^D, p_{2m}^D)} = (p_{1m}^D - c + t) - (p_{1m}^D - p_{2m}^D + \\ & t)F(q) > (p_{1m}^D - c + t) - (p_{1m}^D - p_{2m}^D + t)F(q_m^D) = \\ & \frac{\partial \pi}{\partial q} |_{(q_m^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D)} > (p_{1m}^D - \omega + t) - (p_{1m}^D - p_{2m}^D + \\ & t)F(q_m^D) = \frac{\partial \pi_R}{\partial q} |_{(q_m^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D)} = 0 \end{aligned}$$

故 $\pi(q_s^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D) < \pi(q_m^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D)$ 。所以:

$$\begin{aligned} & \pi_s^D - \pi_m^D = [\pi(q_s^D, p_{1s}^D, p_{2s}^D) - \pi(q_s^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D)] + \\ & [\pi(q_s^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D) - \pi(q_m^D, p_{1m}^D, p_{2m}^D)] < 0 \end{aligned}$$

即 $\pi_s^D < \pi_m^D$ 。证毕。

4.2 基于顾客策略行为的集中式供应链决策模型

与 4.1 节类似,进行分析,得到高 WTP 顾客具有策略行为下集中式供应链的决策模型为:

$$(q_s^I, p_{1s}^I, p_{2s}^I) \in \underset{q \geq 0, c \leq p_1 \leq v_h - (v_h - p_2)F(q), 0 \leq p_2 \leq v_l}{\operatorname{argmax}} \pi(q, p_1, p_2) \quad (13)$$

基于理性预期下集中式供应链的最优决策为:

$$(q_s^I, p_{1s}^I, p_{2s}^I) = (F^{-1}(1 - \frac{\sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(c - v_l)} - t}{2(v_h - v_l)}),$$

$$v_l + \frac{\sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(c - v_l)} - t}{2}, v_l) \quad (14)$$

可见,集中式供应链的最优订货量是单位缺货成本的增函数。

命题 3 为吸引策略顾客在全价期购买产品、降低多货风险,集中式供应链在高 WTP 顾客为策略顾客下的订货量和全价期产品零售价低于高 WTP 顾客为短视顾客下的决策,但折扣期二者价格相同,即 $p_{1s}^I < p_{1m}^I, q_s^I < q_m^I, p_{2s}^I = p_{2m}^I$; 导致集中式供应链在策略型高 WTP 顾客下的利润低于在短视型高 WTP 顾客下的利润,即 $\pi_s^I < \pi_m^I$ 。

证明:对比式(8)和式(14),有 $p_{1s}^I = p_{2m}^I = v_l, v_l < p_{1s}^I < p_{1m}^I = v_h, q_s^I < q_m^I$ 。因 $\frac{\partial \pi}{\partial p_1} = q - \int_0^q F(x)dx > 0$, 故 $\pi(q_s^I, p_{1s}^I, p_{2s}^I) < \pi(q_s^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I)$ 。又对 $\forall q \in [q_s^I, q_m^I]$, 有:

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} |_{(q, p_{1m}^I, p_{2m}^I)} = (p_{1m}^I - c + t) - (p_{1m}^I - p_{2m}^I + t)F(q) > (p_{1m}^I - c + t) - (p_{1m}^I - p_{2m}^I + t)F(q_m^I) = \frac{\partial \pi}{\partial q} |_{(q_m^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I)} = 0$$

故 $\pi(q_s^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I) < \pi(q_m^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I)$ 。所以:
 $\pi_s^I - \pi_m^I = [\pi(q_s^I, p_{1s}^I, p_{2s}^I) - \pi(q_s^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I)] + [\pi(q_s^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I) - \pi(q_m^I, p_{1m}^I, p_{2m}^I)] < 0$
 即 $\pi_s^I < \pi_m^I$ 。证毕。

命题 2 和命题 3 表明,不管供应链是集中式控制模式、还是分散式控制模式,顾客基于理性预期决定购买时机的策略行为,增加了供应链应对顾客需求的难度,导致供应链全价期产品零售价和订货量降低,使供应链整体利润受损。因此,供应链管理者必须重视消费者策略行为的影响。

命题 4 当高 WTP 顾客具有策略行为时,分散式供应链的订货量比集中式供应链低、但全价期的产品零售价高、折扣期二者价格相同,即 $q_s^D > q_s^I, p_{1s}^D < p_{1s}^I, p_{2s}^D = p_{2s}^I$; 导致分散式供应链的利润大于集中式供应链利润,即 $\pi_s^D > \pi_s^I$ 。

证明:对比式(11)、式(12)和式(14),有 $w_s^D > c, q_s^D > q_s^I, p_{1s}^D < p_{1s}^I < v_h, p_{2s}^D = p_{2s}^I = v_l$ 。由 4.1 节和 4.2 节的模型求解过程,有 $F(q_s^D) = \frac{p_{1s}^D - w_s^D + t}{p_{1s}^D - p_{2s}^D + t} = \frac{v_h - p_{1s}^D}{v_h - v_l}$ 和 $F(q_s^I) = \frac{p_{1s}^I - c + t}{p_{1s}^I - p_{2s}^I + t} = \frac{v_h - p_{1s}^I}{v_h - v_l}$ 成立。

$$-tu = (p_{1s}^D - c + t)g(q_s^D) - tu + \frac{w_s^D - c}{F(q_s^D)} \int_0^{q_s^D} F(x)dx$$

$$\pi_s^I = (p_{1s}^I - c + t)q_s^I - \frac{p_{1s}^I - c + t}{F(q_s^I)} \int_0^{q_s^I} F(x)dx - tu = (p_{1s}^I - c + t)g(q_s^I) - tu$$

其中 $g(q) = q - \int_0^q F(x)dx / F(q) > 0$, 且 $q(p_1) = F^{-1}(\frac{v_h - p_1}{v_h - v_l})$, 有 $g'(q) = f(q) \int_0^q F(x)dx / [F(q)]^2 > 0, \frac{dq}{dp_1} = -\frac{1}{(v_h - v_l)f(q)} < 0$ 。记 $\bar{\pi}(p_1) = (p_1 - c + t)g(q)$, 有

$$\frac{d\bar{\pi}}{dp_1} = g(q) - \frac{(p_1 - c + t) \int_0^q F(x)dx}{(v_h - v_l)[F(q)]^2} > 0,$$

$\forall p_1 \in [p_s^I, p_s^D]$, 所以有 $\pi_s^D > \pi_s^I$ 成立。

命题 4 表明,当高 WTP 顾客具有策略行为时,集中式供应链的利润反而小于分散式供应链的利润。因此,顾客策略行为给供应链管理者带来了新的挑战。

策略型顾客与零售商之间存在价格博弈,使得分散式供应链和集中式供应链的最优定价不同,而价格又影响到零售商订货量和供应链利润;当消费者为短视型顾客时,价格只与顾客对产品的估值相关,分散式供应链与集中式供应链的最优定价相同,但集中式供应链的订购量较高、利润较大。比较四种供应链模型的决策和供应链利润,有如下关系式成立。

$$\begin{cases} p_{1s}^D < p_{1s}^I < p_{1m}^D = p_{1m}^I, p_{2m}^D = p_{2m}^I = p_{2s}^D = p_{2s}^I \\ p_{2s}^D = v_l \\ q_s^D < q_s^I < q_m^D, q_m^I > q_m^D > q_s^D, \pi_m^I > \pi_m^D > \pi_s^D > \pi_s^I \end{cases} \quad (15)$$

文献[11]假设策略顾客(没有高、低支付之分)对产品的估值为 v 、销售季节结束后产品残值为 s 、不考虑缺货损失,研究了销售商(成本为 c)的定价(p_c)与订货(q_c)决策,得到如下理性预期均衡:

$$p_c = s + \sqrt{(v - s)(c - s)}, F(q_c) = 1 - \sqrt{\frac{v - s}{c - s}} \quad (16)$$

可见, Su Xuanming^[11]的结论(16)式是本文的特例:当 $v_h = v, v_l = s$ 和 $t = 0 (w = c)$ 时,本文最优决策(14)式((11)式)退化为(16)式。杨道箭等^[14]在 Su Xuanming^[11]基础上进一步分析了生产商和分销商的利润分享契约(w, θ)和策略顾客的风险偏好

$$\pi_s^D = (p_{1s}^D - c + t)q_s^D - \frac{p_{1s}^D - w_s^D + t}{F(q_s^D)} \int_0^{q_s^D} F(x)dx$$

问题(效用函数 $u(y) = y^\alpha, \alpha > 0$), 本文策略型高 WTP 顾客是风险中性(相当于 $\alpha = 1$), 但杨道箭等^[14]未考虑缺货损失和四种模式的比较问题。

与 Su Xuanming^[11] 结论类似, 当高 WTP 顾客是策略顾客时, 分散式控制下的决策(11)式和集中式控制下的决策(14)式中全价期的零售价格小于顾客的估值(v_h)、订货量小于对应的经典报童模型(此时高 WTP 顾客不是策略顾客, 愿意按估价 v_h 购买产品)确定的订货量($q_s^D < q_0^D, q_s^I < q_0^I$), 因为:

$$F(q_s^D) = 1 - \frac{\sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(w - v_l)} - t}{2(v_h - v_l)} <$$

$$\frac{v_h - w + t}{v_h - v_l + t} = F(q_0^D)$$

$$F(q_s^I) = 1 - \frac{\sqrt{t^2 + 4(v_h - v_l)(c - v_l)} - t}{2(v_h - v_l)} <$$

$$\frac{v_h - c + t}{v_h - v_l + t} = F(q_0^I)$$

但考虑缺货损失比无缺货损失下的订货量更高, 能够更好的满足策略顾客在全价期的需求。

5 数值仿真

例 1、高 WTP 顾客的市场需求 X 服从 $N(100, 1600)$ 的正态分布(此时 $F(0) = 0.00621$, 满足模型假设), 产品估值 $v_h = 30$ 和 $v_l = 8$, 单位生产成本 $c =$

10, 单位缺货损失 $t = 1$, 用 Matlab 编程求解模型(4)式、(7)式、(9)式和(13)式或相应最优解的表达式, 得到供应链最优决策和各方利润(见表 1, 精确到小数点后 1 位)。表 1 表明, 命题 1-4 的结论成立(关系式(15)同时成立):

$$(1) p_{1m}^I = p_{1m}^D = v_h = 55, p_{2m}^I = p_{2m}^D = v_l = 11, q_m^I = 97.8 > q_m^D = 48.9, \pi_m^I = 2101.1 > \pi_m^D = 1550.8$$

$$(2) p_{1s}^D = 40.5 < p_{1m}^D = 55, p_{2s}^D = p_{2m}^D = v_l = 11, q_s^D = 33.0 < q_m^D = 48.9, \pi_s^D = 734.2 < \pi_m^D = 1550.8$$

$$(3) p_{1s}^I = 16.7 < p_{1m}^I = 55, p_{2s}^I = p_{2m}^I = v_l = 11, q_s^I = 87.0 < q_m^I = 97.8, \pi_s^I = 191.9 < \pi_m^I = 2101.1$$

$$(4) p_{1s}^I = 16.7 < p_{1s}^D = 40.5, p_{2s}^I = p_{2s}^D = v_l = 11, q_s^I = 87.0 > q_s^D = 33.0, \pi_s^D = 734.2 > \pi_s^I = 191.9$$

例 2: 市场需求 X 服从 $[0, 100]$ 的均匀分布, 产品价值 $v_h = 55$ 和 $v_l = 11$, 单位生产成本 $c = 12$, 改变 t 值对模型进行敏感性分析(表 2)。对给定的 t , 命题 1-4 成立, 且如下结论成立:

(1) 分散式供应链中, 无论高 WTP 顾客是策略型顾客还是短视型顾客, 零售商的订购量和生产商的批发价随单位缺货损失 t 的增加而提高, 从而

表 1 短视型高 WTP 顾客下供应链最优决策和各方利润

短视型高 WTP 顾客	分散式供应链							集中式供应链			
	q_m^D	p_{1m}^D	p_{2m}^D	w_m^D	π_{1m}^D	π_{2m}^D	π_m^D	q_m^I	p_{1m}^I	p_{2m}^I	π_m^I
顾客	76.0	30	8	24.7	1116.6	223.6	1340.2	154.4	30	8	1854.4
策略型高 WTP 顾客	q_s^D	p_{1s}^D	p_{2s}^D	w_s^D	π_{1s}^D	π_{2s}^D	π_s^D	q_s^I	p_{1s}^I	p_{2s}^I	π_s^I
	60.9	26.4	8	24.2	865.1	26.6	891.7	123.4	14.2	8	319.0

表 2 不同 t 值下供应链最优决策和各方利润

短视型高 WTP 顾客	分散式供应链							集中式供应链				
	q_m^D	p_{1m}^D	p_{2m}^D	w_m^D	π_{1m}^D	π_{2m}^D	π_m^D	q_m^I	p_{1m}^I	p_{2m}^I	π_m^I	
$t=0$	48.9	55	11	33.5	1050.6	525.3	1575.9	97.5	55	11	2102.1	
$t=1$	48.9	55	11	34.0	1075.6	487.8	1563.3	97.7	55	11	2101.6	
$t=2$	48.9	55	11	34.5	1100.5	450.3	1550.8	97.8	55	11	2101.1	
$t=3$	48.9	55	11	35.0	1125.5	412.8	1538.3	97.9	55	11	2100.5	
$t=4$	49.0	55	11	35.5	1150.5	375.3	1525.8	98.0	55	11	2100.1	
策略型高 WTP 顾客	q_s^D	p_{1s}^D	p_{2s}^D	w_s^D	π_{1s}^D	π_{2s}^D	π_s^D	q_s^I	p_{1s}^I	p_{2s}^I	π_s^I	
	$t=0$	32.2	40.8	11	31.2	619.1	154.8	773.9	84.9	17.6	11	239.2
	$t=1$	32.6	40.7	11	31.7	641.0	112.9	753.9	86.0	17.2	11	214.6
	$t=2$	33.0	40.5	11	32.1	663.0	71.2	734.2	87.0	16.7	11	191.9
	$t=3$	33.3	40.3	11	32.6	685.2	29.6	714.8	88.0	16.3	11	171.1
	$t=4$	33.7	40.2	11	33.0	707.5	-11.8	695.7	88.8	15.9	11	152.0

生产商的利润增大;但因零售商的利润下降更快(甚至出现负值),导致供应链的利润下降。

(2)集中式供应链中,无论高 WTP 顾客是策略型顾客还是短视型顾客,零售商的订购量随单位缺货损失 t 的增加而提高;但全价期的零售价下降,导致供应链的利润下降。

管理启示:策略型顾客和缺货损失的存在,增加了供应链管理的难度,管理者可实施如下对策:(1)确定合理的订货量,甚至实施饥饿营销,造成货物短缺表象,从而引导策略型顾客在全价期购买产品;(2)生产商可以通过回购策略,避免过低折扣价对全价期销售的影响;(3)提高产品质量、树立品牌形象,提高消费者心目中的产品价值;(4)通过多门店共管库存或及时补货,降低缺货损失。

6 结语

本文按购买意愿将顾客分为高 WTP 顾客和低 WTP 顾客,在考虑缺货损失下建模分析高 WTP 顾客为策略型顾客与短视型顾客时的单生产商单零售商供应链的集中式决策和分散式决策,对比四种模式下供应链最优决策和利润,分析单位缺货损失对订货与定价决策、及供应链利润的影响,完善了已有研究成果。研究表明:

(1)顾客基于理性预期决定购买时机的策略行为,增加了供应链应对顾客需求难度,导致零售价、订货量和供应链利润降低,使得策略型高 WTP 顾客下的供应链利润小于短视型高 WTP 顾客情形。

(2)高 WTP 顾客为策略型顾客时集中式供应链的利润小于分散式供应链的利润,需引起重视。

(3)供应链的利润随单位缺货损失的增加而降低。

供应链管理可通过降低全价期订购量(实施限量销售)、回购剩余产品、树立品牌形象来提高消费者心目中产品价值等策略来应对顾客的策略行为。

未来可结合多个生产商和多个零售商的复杂供应链结构,研究顾客选择多种可替代产品的策略行为,并进一步考虑供应链成员的风险偏好对供应链决策的影响和协调契约设计问题^[16]。

参考文献:

[1] 杨慧,周晶. 收益管理竞争定价的决策机理分析[J]. 南

- 京理工大学学报(社会科学版), 2008, 21(1): 50—54.
- [2] Shen Z M, Su Xuanming. Customer behavior modeling in revenue management and auctions: A review and new research opportunities[J]. Production and Operations Management Society, 2007, 16(6): 713—728.
- [3] 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.
- [4] Su Xuanming. Inter-temporal pricing with strategic customer behavior[J]. Management Science, 2007, 53(5): 726—741.
- [5] 计国君,杨光勇. 策略顾客下最惠顾客保证对提前购买的价值[J]. 管理科学学报, 2010, 13(7): 16—25.
- [6] 刘晓峰,黄沛. 基于策略型消费者的最优订购决策[J]. 管理工程学报, 2009, 23(4): 182—186.
- [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.
- [8] Cachon G P, Swinney R. Purchasing, pricing, and quick response in the presence of strategic consumers[J]. Management Science, 2009, 55(3): 497—511.
- [9] Xu Xianhao, Chen Wen, Qian Chen. Rationing and pricing with strategic consumer behavior[C]. Proceedings of the 18th International Conference on Management Science & Engineering, Chengdu, China, October 1—2, 2011.
- [10] 黄松,杨超,张曦. 考虑客户策略行为时报童模型定价与库存控制[J]. 运筹与管理, 2010, 19(3): 15—22.
- [11] Su Xuanming, Zhang Fugiang. Strategic customer behavior, commitment, and supply chain performance[J]. Management Science, 2008, 54(10): 1759—1773.
- [12] 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.
- [13] 杨道箭,齐二石,姜宏. 基于顾客策略行为的供货水平与供应链绩效[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(9): 1984—1991.
- [14] 杨道箭,齐二石,魏峰. 顾客策略行为与风险偏好下供应链利润分享[J]. 管理科学学报, 2011, 14(12): 50—59.
- [15] Muth J F. Rational expectations and the theory of price movements[J]. Econometrica, 1961, 29(3): 315—335.
- [16] 黄松,杨超,张曦. 考虑战略顾客行为时的供应链性能分析与协调[J]. 管理科学学报, 2012, 15(2): 47—57.

Pricing and Ordering Decisions of Supply Chain based on Customer Strategic Behavior and Loss of Stock-out

XU Bing, XIONG Zhi-jian

(Department of Management Science and Engineering, Nanchang University, Nanchang, 330031)

Abstract: The strategic behavior that customers decide the purchase time based on the rational expectations will cause the supply chain (SC) difficulty in decision-making and affect its profits. Consider a supply chain (SC) consisting of a manufacturer, a retailer and two kinds of customers with high or low willingness to pay (WTP), the centralized decision models and decentralized bi-level programming models of supply chain, when high WTP customers are strategic customers or myopic customers and the loss of stock-out is considered, are set up respectively by using the equilibrium analysis method and rational expectations theory. These four models are solved and the comparison analysis is performed as well as numerical emulation and sensitive analysis. The numerical examples prove the rationality of models and validity of conclusions. The study shows that when the high WTP customers are strategic customer, the centralized SC has higher order quantity, but lower profit of supply chain due to lower retail price comparing with the decentralized SC. The profits of decentralized SC and centralized SC with strategic high WTP customers are lower than those with myopic high WTP customers. The higher the unit loss of stock-out is, the more the order quantities are, but the less the profits of SCs are in each mode. The strategies such as selling with limited quantities, buying back the surplus products, improving the product value in the heart of customers and so on, can effectively reduce the affection of customer strategic behavior on SC. The theoretic research and management practice of SC are promoted based on customer strategic behavior.

Key words: customer strategic behavior; supply chain decision model; loss of stock-out; rational expectations equilibrium; pricing and ordering decisions