

基于退货风险共担的供应链产品质量设计与定价决策研究

单汨源 汪青

(湖南大学工商管理学院, 湖南省、长沙市, 410082)

摘要: 在不确定需求下, 研究消费者退货行为对供应链系统运作的影响, 包括退货行为对零售商产品定价、订购量, 制造商质量水平及供应链系统利润的影响。分析了供应链在分散决策和集中决策时制造商最优产品质量决策和零售商最优定价和订购决策。设计了退货风险共担的制造商回购契约协调供应链。结果表明在面对退货率增高时, 制造商通过提高产品质量, 而零售商通过适当提高价格, 可规避一部分退货带来的负面经济影响; 当消费者退货率低时, 供应链中采用价格低, 高质量水平; 并且协调机制下利润都较分散决策下更大, 体现了供应链协调思想。

关键词: 退货; 定价决策; 质量决策; 订购决策; 风险共担

中图分类号: F274

文献标识码: A

0 引言

消费持续升级, 服务也不断升级, 许多企业纷纷承诺“无理由退货”, 2018年3月10多家大型企业联合发出《线下无理由退货倡议书》, 建立无理由退货制度, 2019年9月长三角地区企业无理由退货承诺行动启动仪式上, 48家企业代表向社会公开承诺自愿参与此次行动。消费者享受到了便利地无理由退货服务, 购买产品无后顾之忧, 同时给企业带来了大流量和高转化率, 然而企业销售并不是一帆风顺的, 高销量的背后, 面临着高退货率。在这些高退货率中, 除了产品运输损坏、冲动购物以及产品色差质量等导致正常退货行为外, 另一种机会主义退货行为也值得关注。特别在实体店中, 如现金支付, 客户基本属性未知等, 机会主义行为表现可能更甚。居高不下的退货率严重影响企业经济效率。零售商连接了制造商, 因此也可从供给侧与制造商共同发力来解决消费退货问题。2017年9月《关于开展质量提升行动的指导意见》中, 明确以提高发展质量和效益为中心, 将质量强国战略放在更加突出的位置, 开展质量提升行动, 全面提高质量水平。同年12月习总书记在中央经济工作会议上强调, 必须坚持质量第一, 效益优先, 以供给侧结构性改革为主线。推动中国制造由低质量低价格向高质量高性价比转变。进而推动客户由低价格的中低端向高质量高性价比的中高端转变。在转变过程中, 如何从供给侧发力来调节需求端消费者行为? 本文从供应链系统优化的视角, 通过供应链的协调运作制造商通过设计产品质量, 而零售商通过订购适量的产品和制定更合适的价格来调节退货带来的负面经济影响。

1 文献综述

在服务逐渐变成“刚需”的同时, 如何降低退货给经济利润带来的负面影响成了目前很多企业和学者关注的焦点。学者们从不同的角度为企业出谋划策。CHEN等考虑退货量是价格和销售量的函数, 存在消费者退货情况下讨论了改变产品的定价和库存来调节消费者退货的负面影响^[1]; 樊双蛟等在其基础上研究了在同一周期内考虑了退货产品可再次销售的单周期定价和在线零售商库存策略, 对确定型需求问题给出解析解, 对随机性需求服从均匀分布的问题给出最优解存在下的求解方法, 通过算例分析得出可采用降低价格获取更大利润^[2]。类似的, 张霖霖等考虑了需求为乘法形式的价格依赖下的单周期和多周期最优零售价格和最

优订货量,认为单周期情况下定价越高,退货率越高,多周期时初始期低价高订购,末期采用相反的策略来降低退货率^[3]。而随着越来越多企业开始考虑无理由退货政策,还有部分学者研究了退货策略便利性的影响,如 PEI 等认为在线零售商的退货策略对消费者很重要,便利的退货政策能够增加消费者零售商退货策略失败的感知,并且能够增加消费者购买意愿^[4]。同样 RRO 等认为退货的便利性能提高产品价格,而反过来影响是再退货^[5]。另外,将其结合消费者行为下退货的研究方面。由于考虑到顾客在现实中并非完全理性,而非理性因素会直接导致商家退货策略,因此姜宏等将惰性引入到无理由的退货策略中,分析了消费者退货行为和最优退货策略,得出最优库存决策^[6]。Ülkü 等基于在零售商全额退款政策下考虑消费者机会主义倾向下退货的最优订货量和最大利润^[7]。

在供应链产品质量和价格决策与消费者行为关系方面,但斌等考虑了产品质量和销售质量影响消费者需求,在二级供应链博弈模型基础下分析了销售决策和质量决策^[8]。黄甫等研究了消费者缺陷退货二级供应链定价、产品质量和服务决策^[9]。陈雯等分析了批发价契约下策略消费者购买行为和产品质量设计对二级供应链利润的影响^[10]。Shi 等研究了集中决策和分散决策供应链,消费者异质性类型影响了产品质量^[11]。Chen 等研究了双渠道的价格和质量决策;考虑分散和集中决策下引入新渠道时可实现质量改进^[12];Yoo 重点研究了风险规避供应商在分散决策系统中退货政策和产品质量关系^[13]。刘云志等分析了考虑损失规避与产品质量水平的零售商和制造商构成的二级供应链协调问题^[14]。因此,产品质量水平和销售价格对消费者购买行为和退货行为关系密切。

综上所述,现有文献一方面研究了基于退货定价和库存的联合决策,另一方面考虑了质量和价格决策,但都没有综合考虑质量、定价和库存的联合决策,本文将通过不同视角基于无理由全额退款下,考虑不确定需求下的供应链的产品质量设计,定价决策及库存决策来应对消费者退货。主要建立博弈模型,将供应链的各企业运作决策进行比较,进一步地考虑制造商和零售商退货风险共担,采用回购契约方式进行协调,提升供应链系统利润。

2 问题描述

本文研究并构建一个制造商和一个零售商在面对异质性消费者退货的供应链博弈模型。一方面零售商连接了消费者,另一方面它连接了制造商,因此选择零售商作为供应链的核心成员,零售商直面终端消费者的机会主义退货行为和非机会主义退货行为,主要通过决定产品的销售价格 p 和订购量 Q 来保证自身的利润。而制造商主要选择决定产品生产的质量水平 θ 。

对于零售商订购量而言,本章假设零售主要考虑制造商的产品质量水平和销售价格因素的影响。即 $Q = d - \lambda p + \gamma \theta$ 。其中 d 是零售商在不考虑任何因素时的订购量, $\lambda > 0$ 为零售商考虑价格因素对消费者购买行为的影响,进而对订购量影响; $\gamma > 0$ 为质量水平对零售商订购量的影响,同时订购量函数也是根据需求函数^[10]启发而来,对于终端消费者需求而言,一方面需求是不确定的,它和订购量的关系无非三种:订购不足,订购过量和订购充足。因此设需求量为: $Q - \varepsilon$, 其中 $\varepsilon > 0$ 表示订购过量, $\varepsilon < 0$ 表示订购不足, $\varepsilon = 0$ 表示订购量恰好满足需求。而制造商方面产品质量方面的成本与质量水平有关的,一般设为质量水平的二次函数为 $\frac{1}{2}t\theta^2$, 其中 t 是影响系数, t 越大,表质量水平对产品质量成本影响越大^[15-16]。

另一方面考虑消费者退货行为,在市场上机会主义消费者的比例假设为 τ , 机会主义消

费者一般事前就有打算退货,为了退货成功,他们要付出一些额外的成本,例如信息收集的成本、自我道德谴责的成本和制造虚假的成本。实际中一般产品销售价格越高,机会主义退货的成本就越高,需要付出更多的退货努力。因此假设机会主义退货成本是销售价格 p 的非递减函数,取 $h = \delta p$, 其中 $0 < \delta < 1$ 表示退货努力与价格相关系数。如得到某次满足后机会主义退货价值假定为 $\bar{p}$ 。因此,当 $\bar{p} < p - h$, 即 $0 < \frac{\bar{p}}{p} < (1 - \delta)$, 机会主义退货产生,假设 $\bar{p}$ 在 $\bar{p}(0, p)$ 服从均匀分布,可得机会主义退货概率为 $A = \tau P(\bar{p} < p - h) = \tau(1 - \delta)$ 。另一方面在新品与消费者不匹配的情况下(由于色差、尺寸等一些在线购物购前无法完全感知到的因素导致),消费者一般选择退货,假设正常退货率为 $B = (1 - \tau)(1 - m)b$, 与产品与自身预期不匹配有关,其中 m 匹配率, b 为退货倾向;令 $K = 1 - (A + B)$, 即为消费者不退货概率, K 值越大越好。

3 供应链的分散决策

考虑由一个制造商,一个在线零售商和市场上具有购买倾向的整体消费者(由机会主义消费者和非机会主义消费者构成)组成的供应链为研究对象,构建在面对异质性消费者退货的两级供应链博弈模型。考虑其运作决策的顺序:第一阶段,制造商为了自身利润最大化,首先决定其产品质量水平 θ , 第二阶段,零售商进行选择并决定其订购量 Q 和销售价格 p 。面对需求不确定情况下,零售商的利润函数为:

$$\Pi_1(p) = -cQ + pK\min(Q - \varepsilon, Q) \quad (1)$$

$$\text{而制造商的利润函数为: } \Pi_2(\theta) = (c - w)Q - \frac{1}{2}t\theta^2 \quad (2)$$

$$\text{分散决策总利润: } \Pi_0 = -wQ - \frac{1}{2}t\theta^2 + pK\min(Q - \varepsilon, Q) \quad (3)$$

根据决策顺序采用逆向归纳法求解,利用一阶条件,根据(1)式求得零售商的价格函数:

$$p = \frac{-K(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} - 2(d + \gamma\theta)) + 2c\lambda}{4K\lambda} \quad (4)$$

将(4)带入(2)中,制造商根据自身利润最大化,决定产品质量水平。

$$\text{其最优的产品质量设计水平为: } \theta = \frac{(c - w)\gamma}{2t} \quad (5)$$

将最优的质量水平 θ 带入(4)式中可得零售商的最优价格决策:

$$p = \frac{-\frac{K((-c + w)\gamma^2 + (-2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2})t)}{t} + 2c\lambda}{4K\lambda} \quad (6)$$

最终可得零售商的最优订购决策:

$$Q = \frac{K(c - w)\gamma^2 + K\sqrt{\varepsilon^2}t + t(2dK + K\varepsilon - 2c\lambda)}{4Kt} \quad (7)$$

同时将(5)~(7)带入利润函数(1), (2)中可得零售商和制造商的利润:

$$\Pi_1 = \left(\begin{aligned} & K^2 \left(w^2 \gamma^4 + 2w\gamma^2 \left(-2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) t + 2 \left(2d^2 - 2d \left(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) + \varepsilon \left(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) \right) t^2 \right) + c^2 \left(K\gamma^2 - 2t\lambda \right)^2 \\ & - 2cK \left(K\gamma^2 \left(w\gamma^2 + \left(-2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) t \right) + 2t \left(-w\gamma^2 + \left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) t \right) \lambda \right) \end{aligned} \right) \quad (8)$$

$$\Pi_2 = \frac{(c-w) \left(K \left(-w\gamma^2 + 2 \left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) t \right) + c \left(K\gamma^2 - 4t\lambda \right) \right)}{8Kt} \quad (9)$$

$$\Pi_0 = \Pi_1 + \Pi_2 \quad (10)$$

命题 1: 分散决策下, 零售商与制造商独立行事构建的博弈模型中, 相关决策变量和利润函数分别有(5)~(9)表示。

命题 2: 消费者产品保有率 K 越大, 零售商产品销售价格随之降低, 而零售商的订购量随之增加; 最终反映到供应链的利润影响, 零售商的利润随之增加, 制造商的利润也随之增加。供应链整体利润增加。

证明命题 1: 首先对(6)~(7), (9)求一阶导可得 $\frac{dp}{dK} = -\frac{c}{2K^2} < 0$, $\frac{dQ}{dK} = \frac{c\lambda}{2K^2} > 0$,

$\frac{d\Pi_2}{dK} = \frac{c(c-w)\lambda}{2K^2} > 0$, 可知 $\frac{c(c-w)\lambda}{2K^2} > \frac{c\lambda}{2K^2} > \frac{c}{2K^2}$, 表明消费者产品保持在手率对通

过对订购量的影响大于对价格的影响, 零售商可考虑通过提高销量, 降低价格来保证利润的提升, 但是对于产品的销售需保证退货率小于 $1-K'$, 才能使自身的利润正向提升。针对公

式(8) $\frac{d^2\Pi_1}{dK^2} = \frac{c^2\lambda}{2K^3} > 0$, 根据公式(8)的一阶条件以及等式 $\Pi_1 = 0$, 即可求得

$$K' = \frac{2c^2t^2\lambda^2}{c \left((c-w)\gamma^2 + \left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) t \right) \lambda - 2 \sqrt{\left(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} \right) t \left((-c)w + 2t \right) d}}, \text{ 因此,}$$

需保证产品销售给消费者产品保持在手(不退货)比率 $K > K'$ 的条件, 才能保证零售商的利润为正。接下来考虑退货率对供应链零售商定价和订购量、制造商利润的影响。通过分析发现, A 与 B 具有对称关系。

命题 3: 消费者机会主义退货率 A 越大, 零售商价格随之增加, 零售商订购量随之减少; 而当 $A' < A''$ 时, 保证制造商利润为正的同时, 制造商的利润也随之减少; 零售商的利润随之减少, 供应链整体利润增加。

证明命题 3: 首先对(6)~(7)式, 求一阶导可得 $\frac{dp}{dA} = \frac{c}{2(-1+A+B)^2} > 0$,

$\frac{dQ}{dA} = -\frac{c\lambda}{2(-1+A+B)^2} < 0$, 可知 $\frac{c\lambda}{2(-1+A+B)^2} > \frac{c}{2(-1+A+B)^2}$, 表明机会主义退货

率对零售商价格的影响大于其对订购量的影响。对(9)式有, $\frac{d\Pi_2}{dA} = \frac{c(-c+w)\lambda}{2(-1+A+B)^2} < 0$,

$$\Pi_2 = 0 \quad A' = \frac{(B-1)\left(w\gamma^2 - 2\left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}\right)\iota\right) + c\left((1-B)\gamma^2 - 4\iota\lambda\right)}{(c-w)\gamma^2 + 2\left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}\right)\iota},$$

$$\frac{d^2\Pi_1}{dA^2} = -\frac{c^2\lambda}{2(-1+A+B)^3} > 0 \text{ 表明零售商的利润是 } A \text{ 的凹函数, 另在供应链中常常考虑避}$$

免机会主义退货, 因此 $A > 0$ 越小越好, $\Pi_1 = 0$, 可求得 A^* , 因此取较小的 A , 且有 $A' < A^*$ 。

命题 4: 产品的匹配度 m 越大, 零售商价格随之降低, 零售商订购量随之增加, 当 $m > m^*$ 时, 保证零售商的利润为正并随之增加, 制造商的利润也随之增加; 供应链整体利润增加。

证明命题 4: 对(6)~(7), (9)式, 根据其一阶条件, 则有 $\frac{dp}{dm} < 0$, $\frac{dQ}{dm} > 0$, $\frac{d\Pi_2}{dm} > 0$ 且有 $\frac{dQ}{dm} > \left|\frac{dp}{dm}\right|$, 表示产品匹配度 m 对订购量影响大于对价格的影响, 价格的下降, 刺激了

市场的需求, 导致零售商的订购量增多, 进而总体提高利润。对(8)式, 有 $\frac{d^2\Pi_1}{dm^2} > 0$, 又 m 越大越好, 通过 $\Pi_1 = 0$, 取满足利润为正的 $m = m'$, 根据 $\Pi_2 = 0$, 可得 $m = m''$ 保证制造商利润为正, 且有 $m'' > m'$ 。其中

$$m'' = \frac{-\left(w\gamma^2 - 2\left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}\right)\iota\right)(1-b+(-1+b+\delta)\tau) + c(-4\iota\lambda + \gamma^2(1-b+(-1+b+\delta)\tau))}{b((c-w)\gamma^2 + 2\left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}\right)\iota)(-1+\tau)}$$

因此需满足 $m = \max(m'', m') = m''$ 。

命题 5: 退货努力系数 δ 越大, 零售商价格随之降低, 零售商订购量随之增加, 当 $\delta > \delta^*$ 时, 保证零售商的利润为正并随之增加, 制造商的利润也随之增加; 供应链整体利润增加。

证明命题 5: 对(6)~(7), (9)式, 根据其一阶条件, 则有 $\frac{dp}{d\delta} < 0$, $\frac{dQ}{d\delta} > 0$, $\frac{d\Pi_2}{d\delta} > 0$ 且有 $\frac{dQ}{d\delta} > \left|\frac{dp}{d\delta}\right|$, 表示机会主义消费者退货努力系数 δ , 对零售商价格的影响小于对订购量的影响, 退货努力系数越大, 表示机会主义退货率越小, 因此零售商可通过适当降低价格,

多增加订购量并尽可能多的销售产品, 实现利润最大化。对(8)式, 有 $\frac{d^2\Pi_1}{d\delta^2} > 0$, 又 δ 越大越好, 通过 $\Pi_1 = 0$, 取满足利润为正的 $\delta = \delta'$, 根据 $\Pi_2 = 0$, 可得 $\delta = \delta''$ 保证制造商利润为正, 且有 $\delta'' > \delta'$ 。其中

$$\delta'' = \frac{c(4\iota\lambda + (1+b(-1+m))\gamma^2(-1+\tau)) - (1+b(-1+m))\left(w\gamma^2 - 2\left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}\right)\iota\right)(-1+\tau)}{\left((c-w)\gamma^2 + 2\left(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}\right)\iota\right)\tau}$$

4 集中决策

集中决策时, 制造商和零售商构成一个统一的整体, 来面对消费者退货, 决定最终的销售价格和产品质量水平, 此时订购量以生产量代替。

$$\Pi'_0 = -wQ - \frac{1}{2}t\theta^2 + pK\min(Q-\varepsilon, Q) + (A+B)(Q-\varepsilon)s_1 + s_1\max(\varepsilon, 0) \quad (11)$$

通过 Π'_0 一阶条件，二阶条件的判断，可求得集中决策下最优价格决策，和质量决策的函数

$$p' = \frac{K(2w\gamma^2 + (-2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2})t) - 2w\lambda + 2(-1+K)(K\gamma^2 - t\lambda)s_1}{2K(K\gamma^2 - 2t\lambda)} \quad (12)$$

$$\theta' = \frac{\gamma(K(-2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}) + 2w\lambda + 2(-1+K)\lambda s_1)}{2K\gamma^2 - 4t\lambda} \quad (13)$$

$$Q' = \frac{K^2\gamma^2(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}) - K(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2})t\lambda + 2w\lambda^2 + 2(-1+K)t\lambda^2s_1}{2K(K\gamma^2 - 2t\lambda)} \quad (14)$$

将(11)，(12)代入(10)式中，可得最终集中决策供应链利润为：

$$\Pi'_0 = \frac{\begin{pmatrix} -K^2(2d^2t + (\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2})(2w\gamma^2 + (-2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2})t)) + 2Kw(2d + \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2})t\lambda - 2w^2t\lambda^2 \\ + 2s_1(K^3\gamma^2(\varepsilon - \sqrt{\varepsilon^2}) + 2w\lambda^2 + Kt\lambda(\varepsilon - 3\sqrt{\varepsilon^2} - 2(d + w\lambda)) + K^2((2d - 3\varepsilon)t\lambda + \sqrt{\varepsilon^2}(2\gamma^2 + t\lambda)) - (-1+K)^2t\lambda^2s_1 \end{pmatrix}}{4K(K\gamma^2 - 2t\lambda)} \quad (15)$$

命题 6: 在集中决策与分散决策下，决策变量比较： $p' > p$ ， $\theta' > \theta$ ， $Q' > Q$ ；供应链整体利润比较： $\Pi'_0 > \Pi_0$ 。

证明命题 6: 根据(5)~(7)，(10)式和(12)~(15)式对应比较，有 $p - p' < 0$ ， $\theta - \theta' < 0$ ， $Q - Q' < 0$ ， $\Pi_0 - \Pi'_0 < 0$ ，表示在分散决策时，零售商产品销售价格低于集中决策下销售价格，同时产品质量水平集中决策下更高，销售量更大，虽然质量水平的提高增加了质量成本，但是相同条件下，需求增加了，利润更大。

5 协调机制

供应商考虑到与零售商之间合作关系和自身的长远利益，供应商选择与零售商共担消费者退货的风险，并决定在销售季开始前与零售商签订合同以一定的价格 p_0 ， $p_0 < c$ 对零售商剩余产品进行回收，即零售商可以将产品退回给制造商；以此制造商根据自身利润最大化目标，在承担退货风险的条件下，来决定产品的质量水平 θ^* 。而零售商在制造商同自己风险共担下，考虑合理订购，通过销售努力来刺激市场需求尽力实现自身利益最大化。在供应链的回购契约条件下，供应链的各节点企业零售商和制造商目标利润函数为：

$$\Pi_1(p) = -cQ + p\min(Q-\varepsilon, Q) - p(A+B)\min(Q-\varepsilon, Q) + p_0(A+B)\min(Q-\varepsilon, Q) + p_0\max(\varepsilon, 0) \quad (16)$$

$$\Pi_2(\theta) = (c-w)Q - \frac{1}{2}t\theta^2 - p_0(A+B)\min(Q-\varepsilon, Q) - p_0\max(\varepsilon, 0) + (A+B)\min(Q-\varepsilon, Q)s_1 + s_1\max(\varepsilon, 0) \quad (17)$$

同样地，采用逆向归纳法对(16)~(17)式求解，最终可算得制造商的最优质量决策函数，零售商的价格决策函数和订购决策函数：

$$p^* = \frac{2(c-p_0)\lambda - K \left(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2} - 2 \left(d + p_0\lambda + \frac{\gamma^2(c+(K-1)p_0 - w - (K-1)s_1)}{2t} \right) \right)}{4K\lambda} \quad (18)$$

$$Q^* = \frac{K\sqrt{\varepsilon^2}t + K(2d + \varepsilon)t - 2(c + (K-1)p_0)t\lambda + K\gamma^2(c + (K-1)p_0 - w - (K-1)s_1)}{4Kt} \quad (19)$$

$$\theta^* = \frac{\gamma(c + (-1+K)p_0 - w - (-1+K)s_1)}{2t} \quad (20)$$

在回购契约下，当 $p = p^*$ ， $\theta = \theta^*$ ， $Q = Q^*$ ，供应链达到系统局部和系统整体最优，零售商最优利润为：

$$\Pi_1^*(p) = \frac{1}{8} \left[\frac{2(K-1)p_0(K(-c+p_0-Kp_0+w)\gamma^2 + K\sqrt{\varepsilon^2}t + (-2dK + K\varepsilon + 2(c+(K-1)p_0)\lambda) + (K-1)K\gamma^2s_1)}{Kt} - \frac{2c(K\sqrt{\varepsilon^2}t + K(2d + \varepsilon)t - 2(c+(K-1)p_0)t\lambda + K\gamma^2(c+(K-1)p_0 - w - (K-1)s_1))}{Kt} + 4p_0(\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2}) \right] - \left[\frac{1}{16Kt^2\lambda} \left(-K\sqrt{\varepsilon^2}t + t(2dK - K\varepsilon + 2(c+(K-1)p_0)\lambda) + K\gamma^2(c+(K-1)p_0 - w - (K-1)s_1) \right) \right] \left(K\sqrt{\varepsilon^2}t + t(-2dK + K\varepsilon + 2(c+(K-1)p_0)\lambda) + K\gamma^2(p_0 - c - Kp_0 + w + (K-1)s_1) \right) \quad (21)$$

制造商的最优利润为：

$$\Pi_2^*(\theta) = \frac{1}{8Kt} \left(K(-c+p_0-Kp_0+w)^2\gamma^2 + 2cK\sqrt{\varepsilon^2}t - 2Kp_0\sqrt{\varepsilon^2}t - 2K^2p_0\sqrt{\varepsilon^2}t - 2Kw\sqrt{\varepsilon^2}t - 4(c+(K-1)p_0)(c+(K-1)p_0-w)t\lambda + 2K(2d(K-1)p_0 - 2dw - (p_0 + Kp_0 + w)\varepsilon + c(2d + \varepsilon))t \right) + \frac{s_1}{8Kt} \left(2K\sqrt{\varepsilon^2}t + 2K^2\sqrt{\varepsilon^2}t + 2K(2d - 2dK + \varepsilon + K\varepsilon)t + 4(K-1)(c+(K-1)p_0)t\lambda - (K-1)K\gamma^2(2(c+(K-1)p_0 - w) - (-1+K)s_1) \right) \quad (22)$$

命题 7： 消费者产品保有率 K 越大，零售商产品销售价格随之降低，而零售商的订购量随之增加；并且对订购量的影响更大，零售商的利润随之增加，而 K 越大， θ 质量水平随之降低，质量成本降低。

证明命题 7：对(19)~(20)式，一阶条件 $\frac{dQ}{dK} > 0$ ， $\frac{d\theta}{dK} > 0$ ，表明消费者产品保持在手率（不退货）率越高，零售商可提高其订购量，相应的制造商提高其产品质量水平，形成供应链的良性循环。对(18)式， $\frac{dp}{dK} = \frac{c-p_0}{K^3} > 0$ ，当 $0 < K < 1$ 时，

$$\frac{dp}{dK} = \frac{K^2 p \gamma^2 + 2(-c-p_0)t\lambda - K\gamma^2 K^2}{4K^2 t \lambda} < 0$$

$$\frac{dQ}{dK} = \frac{K^2 p \gamma^2 + 2(c-p_0)t\lambda - K\gamma^2 K^2}{4K^2 t}$$

与 $\left| \frac{dp}{dK} \right|$ 相比，前项显然大于后项，可得出订购量 Q 随 K 增加而增加的速度远大于 p 随之降低的速度，因此 K 越大，价格虽然下降，订

购量增多，销量增多，最终零售商的利润也随之增加。类似地， $\frac{d\theta}{dK} = \frac{\gamma(p_0 - s_1)}{2t} < 0$ ，因

此 K 越大, θ 质量水平随之降低, 质量成本降低。

命题 8: 消费者机会主义退货率 A 越大, 零售商价格随之增大, 零售商订购量随之减小; 制造商的质量水平随之提高。

证明命题 8: 对 (18)~(20) 式, 通过一阶、二阶条件, 又 $A+B<1$,

$$\frac{d^2 p}{dA^2} = \frac{-c+p_0}{(-1+A+B)^3} > 0, \text{ 可推出一阶函数单调递增, 并且在 } 0 < A < 1 \text{ 时, } \frac{dp}{dA} > 0, \text{ 所}$$

$$\text{以 } A \text{ 越大, } p \text{ 随之提高; } \frac{d^2 Q}{dA^2} = \frac{(c-p_0)\lambda}{(-1+A+B)^3} < 0, \text{ 一阶函数单调递减, 在 } 0 < A < 1,$$

$$\frac{dQ}{dA} < 0, \text{ 所以 } A \text{ 越大, } Q \text{ 随之减小。并且机会主义退货率对质量水平的影响}$$

$$\frac{d\theta}{dA} = \frac{\gamma(-p_0+s_1)}{2t} > 0, \text{ 机会主义退货率越高, 制造商可考虑适当提高质量水平, 规避一}$$

部分机会主义消费者, 来抵消退货带来的风险, 系统利润整体高于分散决策下系统利润。

命题 9: 产品的匹配度 m 越大, 零售商价格随之降低, 零售商订购量随之增加; 质量水平随 m 增加而降低。

证明命题 9: 对 (18)~(20) 式, 通过一阶条件判断, 当 $0 < m < 1$ 时, 对价格影响得

$$\frac{dp}{dm} = -\frac{b(-1+\tau)\left(-2c\lambda + p_0\left(2\lambda + \gamma^2(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau\right)^2\right) - \gamma^2(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2 s_1}{4\lambda(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2} < 0$$

, p 随 m 的增大而减小。; 而对于零售商订购量的影响, 通过一阶条件

$$\frac{dQ}{dm} = -\frac{b(-1+\tau)\left(2c\lambda + p_0\left(-2\lambda + \gamma^2(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau\right)^2\right) - \gamma^2(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2 s_1}{4\lambda(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2} > 0$$

$$\text{, } Q \text{ 随着 } m \text{ 的增加而增加。} \frac{d\theta}{dm} = -\frac{b\gamma(-1+\tau)(p_0-s_1)}{2t} < 0, \text{ 随着 } m \text{ 的增加, } \theta \text{ 随之降低。}$$

命题 10: 退货努力系数 δ 越大, 零售商价格随之降低, 零售商订购量随之增加, 质量水平随 δ 增加而降低。

证明命题 10: 根据式子分析可得

$$\frac{dp}{d\delta} = \frac{\tau\left(-2c\lambda + p_0\left(2\lambda + \gamma^2(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau\right)^2\right) - \gamma^2(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2 s_1}{4\lambda(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2} < 0$$

$$\text{, 则 } \delta \text{ 越大, } p \text{ 越小。} \frac{d^3 Q}{d\delta^3} = \frac{3(c-p_0)\lambda\tau^3}{(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2} > 0, \delta \text{ 越大, } \frac{d^3 Q}{d\delta^3} \text{ 越}$$

$$\text{小, } \frac{d^2 Q}{d\delta^2} = \frac{(c-p_0)\lambda\tau^2}{(-1+b(-1+m))(-1+\tau)+\tau-\delta\tau^2} < 0, \text{ 增速越来越慢的递增且不超过横轴,}$$

$$\frac{dQ}{d\delta} \text{ 单调递减, 且速度越来越慢, 由于 } \frac{dQ}{d\delta} = 0 \text{ 实数范围内无解, 则 } \frac{dQ}{d\delta} > 0, \text{ 因此 } \delta \text{ 越大,}$$

Q 随之增大。表明当需要消费者付出更多的机会主义退货努力, 机会退货率下降, 进而零

售商可通过降低价格来刺激需求, 进而提高利润。而 $\frac{d\theta}{d\delta} = \frac{\gamma\tau(p_0 - s_1)}{2t} < 0$, 因此 δ 越大, θ 随之降低, 表明当需要消费者付出更多的机会主义退货努力, 机会退货率下降, 制造商的风险降低, 制造商在满足标准的前提下可适当降低产品质量水平, 达到供应链制造商整体最优。

6 数值分析

由于纯粹的数学公式利润函数的复杂性, 命题的结果难以直观展示, 接下来采用数值分析, 来分析关键参数对价格, 订购量, 质量水平以及供应链相关企业利润和整个供应链系统利润的影响。结合参考文献^[7,15,17]对参数进行赋值: $d=1000$; $c=12$; $w=8$; $p_0=4$; $s_1=5$; $\lambda=5$; $t=10$; $\gamma=5$; $\varepsilon=100$; 考虑订货过量情况, 分析结果如表 1、表 2, 表 3、表 4 所示。

表 1 分散决策时机会主义退货率对各决策变量和供应链系统利润影响

A	P	Q	θ	Π_1	Π_2	Π_0
0.00	99.07	509.64	1.00	22293.02	2033.57	24326.59
0.05	99.73	506.35	1.00	20265.24	2020.38	22285.62
0.10	100.50	502.50	1.00	18240.75	2005.00	20245.75
0.15	101.41	497.95	1.00	16220.46	1986.82	18207.28
0.20	102.50	492.50	1.00	14205.63	1965.00	16170.63
0.25	103.83	485.83	1.00	12198.06	1938.33	14136.40
0.30	105.50	477.50	1.00	10200.50	1905.00	12105.50

表 2 集中决策和协调机制下机会主义退货率对各决策变量和供应链系统利润影响

A	p'	Q'	θ'	Π_0	p^*	Q^*	θ^*	Π_1	Π_2	Π^*
0.00	112.75	617.32	36.21	30609.63	98.25	514.12	1.08	23208.90	2274.92	25483.82
0.05	111.34	608.61	33.06	27864.32	98.70	511.95	1.09	21261.31	2286.07	23547.38
0.10	110.00	600.00	30.00	25200.00	99.22	509.42	1.10	19314.64	2295.38	21610.02
0.15	108.74	591.44	27.03	22613.21	99.83	506.42	1.11	17369.28	2302.37	19671.65
0.20	107.57	582.86	24.14	20100.71	100.56	502.81	1.13	15425.79	2306.33	17732.12
0.25	106.50	574.18	21.34	17659.51	101.46	498.40	1.14	13484.98	2306.25	15791.23
0.30	105.56	565.28	18.61	15286.81	102.58	492.88	1.15	11548.06	2300.61	13848.67

表 1, 表 2 表示, 消费者机会主义偏好退货率对分散决策、集中决策以及协调机制下各决策变量(零售商的销售价格、订购量, 制造商的产品质量水平)、供应链的各企业利润以及整个供应链系统利润影响。表 1 表明, 当机会主义退货率越大时, 零售商会抬高价格来规避一部分的机会主义消费者, 来防止利润的损失。表 2 表明当机会主义退货率越大时, 协调机制下, 零售商也会抬高价格, 但价格不会高于分散决策时的价格, 制造商通过与零售商共担退货风险, 会选择略微提高质量水平, 共同发力, 保证供应链系统利润最大化。

表 3 分散决策时产品保持在手率对各决策变量和供应链系统利润影响

K	p	Q	θ	Π_1	Π_2	Π_0
0.40	105.50	477.50	1.00	10200.50	1905.00	12105.50
0.50	102.50	492.50	1.00	14205.63	1965.00	16170.63
0.60	100.50	502.50	1.00	18240.75	2005.00	20245.75
0.70	99.07	509.64	1.00	22293.02	2033.57	24326.59
0.80	98.00	515.00	1.00	26356.00	2055.00	28411.00
0.90	97.17	519.17	1.00	30426.13	2071.67	32497.79
1.00	96.50	522.50	1.00	34501.25	2085.00	36586.25

表 4 集中决策和协调机制下产品保持在手率对各决策变量和供应链系统利润影响

K	p'	Q'	θ'	Π'_0	p^*	Q^*	θ^*	Π_1^*	Π_2^*	Π^*
0.40	105.56	565.28	18.61	15286.81	102.58	492.88	1.15	11548.10	2300.61	13848.71
0.50	107.57	582.86	24.14	20100.71	100.56	502.81	1.13	15425.80	2306.33	17732.13
0.60	110.00	600.00	30.00	25200.00	99.22	509.42	1.10	19314.60	2295.38	21609.98
0.70	112.75	617.32	36.21	30609.63	98.25	514.12	1.08	23208.90	2274.92	25483.82
0.80	115.78	635.16	42.81	36358.20	97.53	517.63	1.05	27105.70	2248.51	29354.21
0.90	119.09	653.76	49.84	42478.23	96.96	520.34	1.03	31003.50	2218.14	33221.64
1.00	122.67	673.33	57.33	49006.67	96.50	522.50	1.00	34901.25	2185.00	37086.25

表 3, 表 4 表示, 消费者产品保持在手率对分散决策、集中决策以及协调机制下各决策变量(零售商的销售价格、订购量, 制造商的产品质量水平)、供应链的各企业利润以及整个供应链系统利润影响。表 3 表明当消费者产品保持在手率越大时, 分散决策时, 零售商通过降低价格, 刺激需求, 进而提高利润; 表 4 表明, 当消费者产品保持在手率越大时, 协调机制下, 零售商销售价格下降幅度大于其在分散决策时, 并且这是制造商也会提高产品质量水平, 这对消费者而言, 获得了高质量, 低价格的诉求。

在消费者退货率 0.2 水平下, 即消费者产品保持在手率 $K = 0.8$ 时, 考虑需求价格系数和需求质量系数对供应链系统利润的影响。

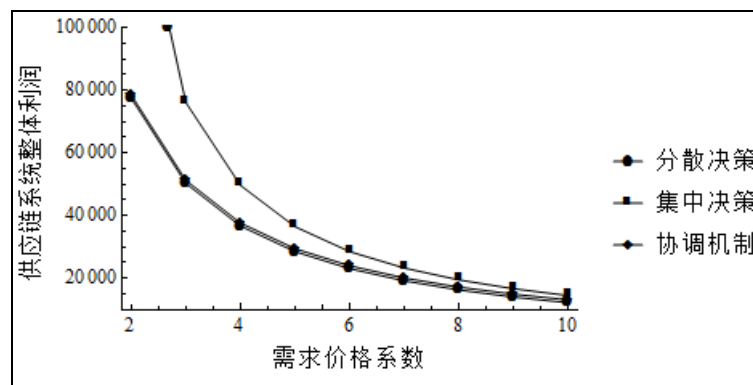


图 1 需求价格系数对供应链系统利润影响

图 1 表示需求价格系数对供应链系统利润影响, 需求价格系数越大, 表示消费者对价格越敏感, 从图中可以看出, 需求价格系数负向影响供应链系统整体利润, 并且当需求价格系数增大一定程度时, 该系数在不同决策下利润越接近。同时在协调机制下, 系统利润始终略大于分散决策整体利润。

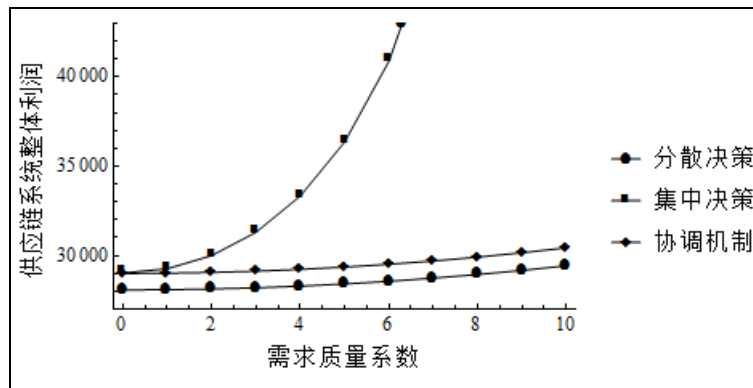


图 2 需求质量系数对供应链系统利润影响

图 2 表示需求质量系数对供应链系统利润影响，如图所示，需求质量系数显著正向影响着供应链系统的利润，当需求质量系数越大时，供应链系统通过提高产品质量水平，虽然带来了一定的质量成本，当供应链系统利润始终提高。而且在面对消费者退货的系统下，通过制造商与零售商共担消费退货风险，利润显著大于分散决策下的供应链系统利润，这很好的说明供应链通过对产品质量设计，控制质量能显著提高利润。

7 结论

本文分析了供应链系统在分散决策和集中决策下面对消费者退货行为的均衡价格，订购量，产品质量水平以及目标利润，并进行了对比。同时进一步分析了在制造商通过回购零售商剩余产品共同承担消费退货风险，在协调下通过共同努力获得了比分散决策下的供应链系统更优的利润。研究结果表明：（1）消费者产品需求价格系数越高，利润处于下降状态；消费者产品需求质量系数越高，利润处于提升状态；（2）供应链中，给消费者最优的价格，刺激了需求，通过提高消费者购买产品保持在手率，减少退货行为，提高销量，保证了供应链的各企业利润和供应链系统整体的利润都大于分散决策的利润。在协调机制下，产品在手率越高，制造商产品质量水平的提升，制造商利润略有降低，零售商利润提升，系统整体提升了，但仍达不到集中决策的利润水平。但在协调机制下，供应链中价格低，产品的质量水平也是较高的，满足了高质量，低价格的现代化发展需求。（3）在消费者机会主义退货率增加时，供应链的各企业的利润不断下降，在协调机制下，制造商通过提高产品质量，通过与零售商共担退货带来的风险并解锁退货品价值，而零售商通过提高适当价格，虽然消费者购买量减少了，但可规避一部分机会主义退货带来的负面影响。

本文主要考虑针对无理由退货率居高不下的供应链价格，订购和质量决策的理论模型，随着机器学习，大数据发展，未来可基于机器学习大数据建模等方法对交易数据进行实证分析，扩展。

参考文献

- [1] Chen J. The impact of customer returns on pricing and order decisions[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 195(1): 280-295.
- [2] 樊双蛟, 王旭坪. 退货再次销售的在线零售定价与订货联合决策[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(1): 113-121.
- [3] 张霖霖, 姚忠. 考虑顾客退货时在线企业的定价与订货策略[J]. 管理科学学报, 2013, 16(6): 10-21.
- [4] Pei Z, Paswan A, Yan R. E-tailer's return policy, consumer's perception of return policy fairness and purchase intention[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2014, 21(3): 249-257.
- [5] Rao S, Lee K B, Connely B, Iyengar D. Return time leniency in online retail: a signaling theory perspective on buying outcomes[J]. Decision Sciences, 2017, 49(3): 275-305.
- [6] 姜宏, 齐二石, 霍艳芳, 杨道箭. 基于顾客惰性行为的无理由退货策略研究 [J]. 管理学报, 2012, 9(10): 1531-1535.
- [7] Ülkü M A, Güler U. The impact of abusing return policies: A newsvendor model with opportunistic consumers [J]. International Journal of Production Economics, 2018, 203: 124-133.
- [8] 但斌, 任连春, 张旭梅. 质量影响需求下的二级供应链协调模型研究[J]. 工业工程与管理, 2010, 15(04): 1-4.
- [9] 黄甫, 宋华明, 杨慧, 杨加猛, 孟庆良, 吴佳伟. 退款保证对供应链产品质量和服务的影响[J]. 工业工程与管理, 2019, 24(03): 35-42.
- [10] 陈雯, 徐贤浩. 产品质量设计与供应链渠道优化--基于策略消费者行为的视角[J]. 中国管理科学, 2019, 6: 64-75.
- [11] Shi H Y, Liu Y C, Petruzzi N C. Consumer Heterogeneity, Product Quality, and Distribution Channels[J]. Management Science, 2013, 59(5): 1162-1176.
- [12] Chen J, Liang L, Yao D Q, et al. Price and quality decisions in dual-channel supply chains[J]. Operations Research, 2019, 59(1-2): 29-32.
- [13] Yoo S H. Product quality and return policy in a supply chain under risk aversion of a supplier[J]. International Journal of Production Economics[J]. 2014, 154(8): 146-155.
- [14] 刘云志, 樊治平. 考虑损失规避与产品质量水平的供应链协调契约模型[J]. 中国管理科学, 2017, 25(1): 65-77.
- [15] 单汨源, 李淑君, 刘小红. 基于社会责任的供应链质量管理及收益共享成本共担决策研究[J]. 工业技术经济, 2019, 38(10): 23-30.
- [16] Tsay A A, Agrawal, N. Channel Dynamics Under Price and Service Competition[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2000, 2(4): 372-391.
- [17] Mitra S. Newsvendor problem with clearance pricing[J]. European Journal of Operational Research, 2018, 268(1): 193-202.

Research on Product Quality Design and Pricing Decision of Supply

Chain

Shan Miyuan Wang Qing

(School of Business and Administration, Changsha /Hunan, 410082)

Abstract: Under uncertain demand, the paper studies the impact of consumer return behavior on the operation of the supply chain system, including the impact of return behavior on retailer product pricing, order quantity, manufacturer quality level and supply chain system profit. It analyzes the supply chain's decentralized decision and centralized decision of the manufacturer's optimal product quality decision and retailer's pricing and ordering decision. Designed a manufacturer's repurchase contract with shared return risks to coordinate the supply chain. The results show that in the face of increasing return rates, manufacturers can improve product quality, and retailers can appropriately increase product price, which can avoid the negative impact brought about by some returns. When consumer returns are low, a low-price, high-quality product strategy can be used in the supply chain. At the same time, the profit under the coordination mechanism is greater than that under decentralized decision-making, which reflects the supply chain coordination thinking.

Keywords: Return; pricing decisions; quality decisions; ordering decisions; risk sharing

作者简介（可选）：单汨源，湖南大学工商管理学院教授，博士。研究方向：电子运营管理和质量管理。汪青，湖南大学工商管理学院硕士研究生。研究方向：行为运作管理。