

## 零售商资金约束的双渠道供应链决策

张小娟, 王 勇

(重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400030)

**摘要:** 考虑一个零售商资金约束的双渠道供应链模型. 在信息对称的情况下, 根据零售商资金不足问题的解决方式不同, 利用 Stackelberg 博弈理论分别对推迟支付模型和借贷支付模型进行分析, 给出了供应商与零售商的最优决策, 并证明了零售商选择推迟支付模型不仅可以增加利润, 而且有利于其提高市场竞争力、拓展市场, 说明了无论供应商的生产预算情况如何, 都愿意向零售商提供推迟支付服务的依据. 最后, 通过数值分析验证了结论的正确性.

**关键词:** 资金约束; 双渠道; 推迟支付; 借贷支付; 供应链

**中图分类号:** F252.3; O225

**文献标志码:** A

### Dual-channel supply chain decision with retailer's capital constraint

ZHANG Xiao-juan, WANG Yong

(School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China.

Correspondent: WANG Yong, E-mail: wangyongkt@126.com)

**Abstract:** A dual-channel supply chain model is considered, in which the retailer is capital constrained. In the case of symmetric demand information, according to the different ways for disposing the capital insufficient problem, by using the Stackelberg game theory, the deferred-payment model and the loan-payment model are analyzed respectively, and the optimal decisions of the supplier and retailer are given under the two modes. It is proved that not only the retailer's profit can be increased, but also it is conducive to expanding the demand for retailing channel and raising the retailer's competitiveness in market, when the retailer chooses to defer its payment for bill. It is showed that no matter how much the producing-budget owns, the supplier is always willing to provide the retailer a deferred-payment policy. Finally, a numerical example is given to illustrate the correctness of the conclusions.

**Key words:** capital constraint; dual channel; deferred payment; loan payment; supply chain

## 0 引言

资金不足问题是很多企业会面临的一个现实问题, 特别是一些小型企业. 在供应链中, 零售商资金不足不仅会影响其自身收益, 而且会影响供应链其他主体的决策与收益. 零售商的资金不足, 会降低其商品订购量、减少其收益, 而零售商订购量的减少会影响供应商的收益; 另外, 若商品订购量不能满足市场的需求, 会造成市场价格波动, 影响市场稳定, 增加消费者购买商品的成本. 通常, 有两种解决零售商资金不足的方法: 1) 供应商允许零售商订购商品的货款推迟支付, 订货时零售商支付部分资金(零售商的初始资金量), 剩余货款在销售完成后支付; 2) 零售商向银行或其他金融机构融资, 用以支付订单货款.

在双渠道供应链中, 供应商不仅是零售商的商品提供者, 而且会自主经营销售业务(直销), 所以, 零售商与供应商是既合作又竞争的关系, 零售商资金不足对供应商决策、收益的影响更为突出. 如果零售商资金不足, 则其订货量不能满足零售市场的需求, 致使零售价格提高, 这样会有部分零售渠道的需求转移到直销渠道, 供应商在零售渠道的批发收益降低; 然而, 直销渠道需求的增加又会提高供应商的收益. 另一方面, 若供应商愿意向零售商提供推迟支付的支付模式, 或者零售商可以通过融资获得资金, 则零售市场的商品供应将会稳定. 此时, 虽然供应商的批发收入得到了保证, 但零售市场货源充足, 双销售渠道的竞争又会影响供应商的销售收益. 所以, 在零售商资金

收稿日期: 2012-10-12; 修回日期: 2013-03-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71272085); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(12YJA630135); 中央高校研究生科技创新基金项目(CDJXS10020001).

作者简介: 张小娟(1983-), 女, 博士生, 从事供应链与物流管理的研究; 王勇(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理、第四方物流等研究.

约束的双渠道供应链中,零售商与供应商都需要根据实际情况制定最优策略.零售商需要决定选择哪种方式(推迟支付、借贷支付)解决资金不足问题,在不同解决模式下制定相应最优决策,以降低资金不足对其收益的影响,实现收益的最优;供应商需要从系统角度出发,决定是否向零售商提供推迟支付的服务,以提高商品的市场占有率,实现系统利润最优,进而实现供应商的收益最大化.这些决策问题都是值得研究的问题,也是本文研究的意义所在.本文将针对零售商解决资金不足问题的两种方法分别建立模型,进行分析比较,给出供应链企业的最优策略.

对资金约束问题及双渠道供应链的研究均已有大量成果.早期对资金约束的研究大多着重其对库存管理、质押决策的影响<sup>[1-7]</sup>.供应链融资研究也有不少成果, Lee 等<sup>[8]</sup>研究了价格折扣、回购、两部定价和收益共享4种协调机制对融资供应链的协调,证明了4种协调机制均不能协调直接向金融机构融资的供应链,而能够协调贸易信贷的供应链,并指出价格折扣、回购、两部定价协调合同比收益共享合同能够给供应链带来更多的收益;其后,他们针对从供应商的角度对贸易信贷的供应链进行了研究,结合减价与补偿机制给出了协调合同<sup>[9]</sup>. Gupta 等<sup>[4]</sup>用连续时间模型的相关算法对最优库存决策进行了分析,表明了供应商会自动选择信用条款来协调供应链; Lai 等<sup>[10]</sup>证明了在资金不足时,供应商更愿意选择零售商提前订货和委托寄售两种相结合的销售模式;朱文贵等<sup>[11]</sup>研究了供应商允许零售商延迟支付,且第三方物流企业向零售商提供存货质押融资服务的情况,给出了零售商的行动策略和质押服务费率定价策略;陈祥锋等<sup>[12-13]</sup>分别研究了融资服务利率、零售商融资时的订货策略,与物流服务提供商在融资过程中起到的作用不同时,其对供应链系统的影响.

另一方面, Cai<sup>[4]</sup>研究了双渠道供应链结构对供应商和零售商以及整个供应链的影响,给出了双渠道存在的意义. Yan 等<sup>[15]</sup>证明了供应商直销不一定对零售商不利,因为可以提高零售商的服务水平. Boyaci<sup>[16]</sup>在价格为外生、随机需求的情况下,对供应商和零售商的存货策略进行了研究; Dumrong Siri 等<sup>[17]</sup>利用纳什博弈研究了双渠道供应链企业的决策问题,证明了直销渠道存在的价值; Geng 等<sup>[18]</sup>利用博弈理论,在一个渠道存货不足时消费者会转移到另一销售渠道的假设下,研究供应商对零售商订货单的处理,证明了轻微的供货不足会提高整个供应链的利润.从双渠道供应链协调的角度对双渠道供应链进行研究的成果也有不少,如文献[16,19-25].

虽然有不少关于资金约束供应链或双渠道供应

链的研究成果,但是对零售商资金不足的双渠道供应链的研究却很少.本文结合资金约束与双渠道供应链进行研究,假设供应商愿意允许零售商推迟支付、银行可以提供融资,分别建立推迟支付模型与借贷支付模型.本文从以下两个方面对资金约束的双渠道决策问题进行分析:1)零售商应如何选择解决资金不足的方法.给出两个模型下供应链企业的最优决策,证明在推迟支付模型中,零售商的资金约束不会为其收益带来不利影响,且较之借贷支付能获得更多收益,所以零售商会选择推迟支付模式.2)供应商是否应该提供推迟支付,如果提供,则其应作出怎样的最优策略.通过对两个模式下的集中决策进行分析,证明了双渠道供应链在推迟支付模型中可以获得更多利润的结论,为博弈的领导者——供应商提供推迟支付提供了依据,并讨论了供应商的最优决策.

## 1 基本模型

本文考虑一个供应商和一个零售商、存在直销和零售两种销售渠道的双渠道供应链模型,其中零售商存在资金约束的情况.零售商解决资金不足问题的方式有两种:1)接受供应商提供的推迟支付方式,订货时支付部分资金(零售商的初始资金量),剩余货款及利率在销售完成后支付;2)借贷支付,订货前零售商向银行借贷用以支付货款,销售实现后归还贷款本息.根据不同的解决方式,分别对推迟支付模型和借贷支付模型进行分析,并比较了两种模式下供应链企业的最优决策情况.假设供应商、零售商与银行均是信息对称的.在两种模型下,利用 Stackelberg 博弈理论对供应商和零售商的决策进行分析,其中供应商为主导者.

本文中下标  $s, r$  分别代表供应商和零售商.  $p_s, p_r$  分别表示单位供应商直销和零售商零售价格;  $d_s = (1-t)a - b_1 p_s + b_2 p_r$ ,  $d_r = ta - b_1 p_r + b_2 p_s$  分别表示直销和零售渠道的需求,  $a$  为市场总潜在需求,  $t$  为零售渠道占有市场比例,  $b_1$  为双渠道供应下价格需求弹性,  $b_2$  为由于价格的不同而造成的消费者转移程度,满足  $b_1 > b_2$ ;  $w$  为单位批发价格,  $\delta$  为推迟支付利率;  $r_b$  为贷款利率;  $c$  为单位商品生产成本;零售商的初始资金量为  $B$ ;  $\pi, \pi_s, \pi_r$  分别表示供应链、供应商和零售商的收益函数.假设企业资金的无风险利率为 0.

为了方便比较,先给出零售商资金充足时双渠道供应链的最优决策,用  $w^0, p_s^0, p_r^0, d_r^0$  分别表示在零售商资金充足的情况下,零售商与供应商分散决策时的最优决策,分别表达如下:

$$p_s^0 = \frac{1}{2(b_1^2 - b_2^2)} [b_1(1-t)a + b_2 ta + (b_1^2 - b_2^2)c],$$

$$w^0 = \frac{1}{2(b_1^2 - b_2^2)} [b_1 t a + b_2 (1-t)a + (b_1^2 - b_2^2)c],$$

$$p_r^0 = \frac{1}{4b_1(b_1^2 - b_2^2)} [(3b_1^2 - b_2^2)ta + 2b_1 b_2 (1-t)a + (b_1^3 - b_1 b_2^2 + b_1^2 b_2 - b_2^3)c].$$

零售商资金不足是指其在订货阶段的初始资金量满足  $B < w^0 d_r^0$ , 此时零售商为了获得更多的收益, 或接受推迟支付或借贷支付. 本文将对两种解决资金不足的双渠道供应链决策进行研究, 给出两个模式下零售商与供应商的最优决策, 并进行比较、分析, 给出供应商、零售商和双渠道供应链系统的最优选择.

## 2 推迟支付模型决策

零售商推迟支付是指在订货阶段, 资金不足的零售商先用初始资金  $B$  支付部分订货货款, 以批发价格  $w$  获得  $B/w$  单位的商品, 余下的  $d_r - B/w$  单位商品所需要货款为  $w d_r - B$ , 供应商允许零售商在需求实现后按单位价格  $w + \delta w (\delta \geq 0)$  推迟支付. 推迟支付模型又可以看作贸易信贷模型, 此时零售商和供应商的收益函数  $\pi_r(\delta), \pi_s(\delta)$  分别表示如下:

$$\pi_r(\delta) = (p_r - w) \frac{B}{w} + (p_r - w - \delta w) \left( d_r - \frac{B}{w} \right) = (p_r - w) d_r - \delta (w d_r - B), \quad (1)$$

$$\pi_s(\delta) = (p_s - c) d_s + (w - c) \frac{B}{w} + (w + \delta w - c) \left( d_r - \frac{B}{w} \right) = (p_s - c) d_s + (w - c) d_r + \delta (w d_r - B). \quad (2)$$

式(1)和(2)中的最后1项为零售商要为推迟支付的资金量付出的费用(由推迟支付利率产生). 供应链分散决策时, 其决策顺序为供应商先给出批发价格  $w$ 、推迟支付利率  $\delta$  和直销价格  $p_s$ , 零售商根据供应商的决策作出最优决策, 实现资金受限情况下的收益最优. 利用 Stackelberg 博弈理论, 采用逆序决策的研究方式.

零售商根据直销价格和批发价格决策最优的零售价格(同时决定了其订货量), 容易证明  $\pi_r(\delta)$  是关于  $p_r(\delta)$  的凹函数, 所以利用  $\pi_r(\delta)$  对  $p_r(\delta)$  求导, 可以得到其最优决策

$$p_r(\delta, p_s, w) = \frac{ta + b_2 p_s + b_1 (w + \delta w)}{2b_1}.$$

将关于  $p_s, w$  的代数式  $p_r(\delta, p_s, w)$  代入供应商的收益函数  $\pi_s(\delta)$ , 再用  $\pi_s(\delta)$  分别对批发价格  $w$  和直销价格  $p_s$  进行一阶求导, 有

$$\frac{\partial \pi_s(\delta)}{\partial w} = (1 + \delta) b_2 p_s - (1 + \delta)^2 b_1 (1 + \delta) w + \frac{(1 + \delta)(ta + (b_1 - b_2)c)}{2},$$

$$\frac{\partial \pi_s(\delta)}{\partial p_s} = \left( \frac{b_2}{b_1} - 2b_1 \right) p_s + (1 - s)a + b_2 (1 + \delta) w + \frac{b_2}{2b_1} ta + \left( \frac{2b_1^2 - b_1 b_2 - b_2^2}{2b_1} \right) c.$$

联立求解, 可以得出:

**命题 1** 对于零售商资金约束的双渠道供应链, 以利率  $\delta$  采取推迟支付方式时, 供应商与零售商的最优决策分别为

$$p_s^*(\delta) = \frac{1}{2(b_1^2 - b_2^2)} [b_1 (1-t)a + b_2 ta + (b_1^2 - b_2^2)c], \quad (3)$$

$$w^*(\delta) = \frac{1}{2(1 + \delta)(b_1^2 - b_2^2)} [b_1 ta + b_2 (1-t)a + (b_1^2 - b_2^2)c], \quad (4)$$

$$p_r^*(\delta) = \frac{1}{4b_1(b_1^2 - b_2^2)} [(3b_1^2 - b_2^2)ta + 2b_1 b_2 (1-t)a + (b_1^3 - b_1 b_2^2 + b_1^2 b_2 - b_2^3)c]. \quad (5)$$

**证明** 因为

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial w^2} = -(1 + \delta)^2 b_1, \quad \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial p_s^2} = -\frac{2b_1^2 - b_2^2}{b_1},$$

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial w \partial p_s} = (1 + \delta) b_2, \quad \frac{\partial^2 w}{\partial p_s \partial w} = (1 + \delta) b_2,$$

可以证明  $\pi_s$  是关于  $w$  和  $p_s$  的联合凹函数, 有最优解  $w^*(\delta), p^*(\delta)$ . 令  $\partial \pi_s / \partial w, \partial \pi_s / \partial p_s$  分别等于 0, 联立求解, 再带入  $p_r$ , 可以得出零售商和供应商的最优决策  $w^*(\delta), p_s^*(\delta), p_r^*(\delta)$ .  $\square$

比较  $w^*(\delta), p_s^*(\delta), p_r^*(\delta)$  与  $w^0, p_s^0, p_r^0$  可以发现: 推迟支付模式下, 零售商资金约束的双渠道供应链分散决策时, 供应商或许会提供更低的批发价格 ( $w^0 = (1 + \delta)w^*(\delta), \delta \geq 0$ ) 来吸引零售商提高订货量, 在此批发价格下, 最优零售价格与直销价格均不会受零售商资金约束的影响, 与零售商资金充足时最优决策相同 ( $p_s^*(\delta) = p_s^0, p_r^*(\delta) = p_r^0$ ), 消费者不需要承受零售商资金不足带来的弊端, 从而双渠道供应链的总需求不会因为零售商的资金不足而变化 ( $d_s^*(\delta) = d_s^0, d_r^*(\delta) = d_r^0$ ). 尽管直销价格和直销需求以及零售商的订购量都不受零售商资金不足的影响, 但由于批发价格下降, 供应商、零售商的最终收益会受到影响. 为了鼓励资金不足的零售商提供其订购量, 由命题可以看出供应商会根据其收取的推迟支付资金利率  $\delta$  来决定其批发价格, 是其在零售商资金充足时批发价格的  $1/(1 + \delta)$  倍, 即推迟支付资金利率越高, 供应商的批发价格会越低.

## 3 零售商借贷支付模型

零售商借贷支付模型是指: 资金不足的零售商在订货之前根据需要向银行以利率  $r_b$  贷款  $D$ , 以支付订

货费用  $w d_r$ , 在销售实现后归还银行本息  $D(1+r_b)$ , 在此模式下供应商与零售商分别进行决策. 由于资金无风险利率一般低于银行贷款利率(本文假设为 0), 零售商的贷款满足  $D = w d_r - B$ . 又由于本文的需求函数是可以预测的(需求是关于市场潜在需求、销售价格), 且信息对称, 银行借贷不需要考虑需求不确定带来的风险. 在借贷支付模式下, 供应商与零售商的收益函数分别可以表示为

$$\begin{aligned}\pi_s(r_b) &= (p_s - c)d_s + (w - c)d_r, \\ \pi_r(r_b) &= (p_r - w)d_r - (w d_r - B)r_b.\end{aligned}$$

与推迟支付模型计算方式类似, 用逆序的方法求解供应商和零售商的最优策略. 由  $\partial^2 \pi_r(r_b) / \partial p_r(r_b)^2 < 0$  可以证明  $\pi_r(r_b)$  是关于  $p_r(r_b)$  的凹函数, 有最优解. 令  $\pi_r(r_b)$  对  $p_r(r_b)$  一阶导数等于 0, 可以得出零售商的最优决策

$$p_r^*(r_b, p_s, w) = \frac{ta + b_2 p_s + b_1(1+r_b)w}{2b_1}.$$

将  $p_r^*(r_b, p_s, w)$  带入  $\pi_s(r_b)$ , 由

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial p_s^2} &= \frac{-2b_1^2 + b_2^2}{b_1}, \quad \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial p_s \partial w} = \frac{b_2(2+r_b)}{2}, \\ \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial w^2} &= -b_1(1+r_b), \quad \frac{\partial^2 \pi_s}{\partial w \partial p_s} = \frac{b_2(2+r_b)}{2},\end{aligned}$$

可以证明  $\pi_s(r_b)$  是关于  $p_s, w$  的联合凹函数, 所以有最优解  $p_s^*(r_b), w^*(r_b)$ .

由  $\pi_s(r_b)$  对  $p_s, w$  分别求一阶导数等于 0 可得

$$\begin{aligned}w(r_b, p_s) &= \frac{1}{2b_1(1+r_b)} [(2+r_b)b_2 p_s + \\ &\quad ta + (b_1 - b_2)(1+r_b)c], \\ p_s^*(w, r_b) &= \frac{1}{2(2b_1^2 - b_2^2)} [2b_1(1-t)a + b_2 ta + \\ &\quad (2b_1^2 - b_2^2 - b_1 b_2)c + b_1 b_2(2+r_b)w],\end{aligned}$$

联合  $p_r^*(r_b, p_s, w)$  的表达式可以得出以下结论:

**命题 2** 借贷支付模型中, 零售商资金约束的双渠道供应链分散决策时的最优决策  $p_s^*(r_b), w^*(r_b), p_r^*(r_b)$  可以分别表示为

$$p_s^*(r_b) = \frac{1}{M} [4b_1(1+r_b)(1-t)a + (4+3r_b)b_2 ta + (b_1 - b_2)(4b_1 + 4b_2 + r_b b_2)(1+r_b)c], \quad (6)$$

$$\begin{aligned}w^*(r_b) &= \frac{1}{b_1 M} [2b_1 b_2(2+r_b)(1-t)a + \\ &\quad (4b_1^2 + b_2^2 r_b)ta + (b_1 - b_2)(4b_1^2 + 4b_1 b_2 - \\ &\quad b_2^2 r_b + 2b_1 b_2 r_b + 4b_1^2 r_b)c], \quad (7)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}p_r^*(r_b) &= \frac{1+r_b}{b_1 M} [b_1 b_2(4+r_b)(1-t)a + \\ &\quad 2(3b_1^2 - b_2^2)ta + (b_1 - b_2)[2(b_1 + b_2)^2 + \\ &\quad b_1 r_b(b_2 + 2b_1)]c], \quad (8)\end{aligned}$$

其中

$$M = 8(b_1^2 - b_2^2)(1+r_b) - r_b^2 b_2^2.$$

比较推迟支付模型与借贷支付模型的最优决策可以得到如下结论:

**命题 3** 双渠道供应链的零售商资金不足时, 若推迟支付资金利率与借贷利率相等, 即  $\delta = r_b$ , 则有  $p_r^*(\delta) - p_r^*(r_b) \leq 0, w^*(\delta) - w^*(r_b) \leq 0, d_r^*(\delta) - d_r^*(r_b) \geq 0$ .

**证明** 比较  $p_s^*(\delta), p_s^*(r_b), p_s^*(\delta), p_s^*(r_b), w^*(\delta), w^*(r_b)$  的表达式, 可以得出

$$\begin{aligned}p_r^*(\delta) - p_r^*(r_b) &= \\ &\frac{r_b}{4b_1(b_1^2 - b_2^2)M} \{-2b_1 b_2 [2(b_1^2 - b_2^2) + \\ &(2b_1^2 - b_2^2)r_b](1-t)a - b_2^2(3b_1^2 - b_2^2)r_b ta - \\ &(b_1^2 - b_2^2)[4(b_1 b_2 - b_2^2)(2b_1 + b_2) + \\ &b_1 b_2(8b_1 + 3b_2)r_b]c\},\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w^*(\delta) - w^*(r_b) &= \\ &\frac{r_b}{2b_1(1+r_b)(b_1^2 - b_2^2)M} \{-b_1 b_2 [(4b_1^2 - 3b_2^2)r_b + \\ &4(b_1^2 - b_2^2)](1-t)a - [(3b_1^2 - 2b_2^2)b_2^2 r_b + \\ &2b_2^2(b_1^2 - b_2^2)]ta - (b_1^2 - b_2^2)[b_1 b_2^2 r_b + \\ &2(b_1 - b_2)(4b_1^2 - b_2^2 + 2b_1 b_2)(1+r_b)]c\}.\end{aligned}$$

由  $b_1 > b_2, r_b \geq 0$  可知  $p_r^*(\delta) - p_r^*(r_b) \leq 0, w^*(\delta) - w^*(r_b) \leq 0$  恒成立. 另外, 由借贷支付时供应链的最优决策 (6) 和 (8) 可知, 资金不足的零售商借贷支付货款时, 其需求量为

$$\begin{aligned}d_r^*(r_b) &= \\ &\frac{1+r_b}{M} \{[2(b_1^2 - b_2^2) - b_2^2 r_b]ta - b_1 b_2 r_b(1-t)a - \\ &(b_1^2 - b_2^2)[2(b_1 - b_2) + (2b_1 - b_2)r_b]c\}.\end{aligned}$$

比较推迟支付模式下零售渠道的需求量  $d_r^*(\delta) = [ta - (b_1 - b_2)c]/4$ , 有

$$\begin{aligned}d_r^*(\delta) - d_r^*(r_b) &= \\ &\frac{r_b}{4M} \{4b_1 b_2(1+r_b)(1-t)a + \\ &b_2^2(4+3r_b)ta + [4(b_1^2 - b_2^2)(2b_1 - b_2) + \\ &(b_1 - b_2)(8b_1^2 + 4b_1 b_2 - 3b_2^2)r_b]c\} \geq 0, \quad (9)\end{aligned}$$

可以直接得出命题的结论.  $\square$

由上面的结论可以看出, 当推迟支付利率与借贷利率相同时, 与借贷支付模式相比较, 如果选择推迟支付模式, 则零售商可以以较低的批发价格获得商品, 且零售渠道的消费者也可以从中受益(可以以较低的价格获取所需商品). 较低的零售价格可以吸引更多的需求者, 增加零售渠道的需求量, 有利于其拓展市

场,提高市场影响力.从而,零售商在可以选择的时候,一般有:

**推论 1** 若  $\delta = r_b$ , 零售商资金约束的双渠道供应链分散决策时,资金不足的零售商会选择推迟支付模式.

**证明** 若要证明零售商会选择推迟支付模式,则只需证明在两个模型的最优决策下,零售商选择推迟支付模型可以获取更多的收益,即  $\pi_r^*(\delta) \geq \pi_r^*(r_b)$ . 当推迟支付利率与借贷利率  $\delta = r_b$  时,零售商分散决策时的利润函数可以分别表示为

$$\pi_r^*(\delta) = [p_r^*(\delta) - w^*(\delta)(1 + \delta)]d_r^*(\delta) + B\delta,$$

$$\pi_r^*(r_b) = [p_r^*(r_b) - w^*(r_b)(1 + r_b)]d_r^*(r_b) + Br_b.$$

由命题3可知  $d_r^*(\delta) - d_r^*(r_b) \geq 0$ , 所以只要证明在推迟支付模式下,资金不足的零售商销售商品的边际收益更高,即

$$p_r^*(\delta) - w^*(\delta)(1 + \delta) - [p_r^*(r_b) - w^*(r_b)(1 + r_b)] \geq 0.$$

由最优决策  $p_r^*(\delta)$ ,  $w^*(\delta)$ ,  $p_r^*(r_b)$ ,  $w^*(r_b)$  的表达式可以得出

$$\begin{aligned} p_r^*(\delta) - w^*(\delta)(1 + \delta) - [p_r^*(r_b) - w^*(r_b)(1 + r_b)] = \\ \frac{r_b}{4b_1M} \{ (4b_2^2 + 3b_2^2r_b)ta + 4b_1b_2(1 + r_b)(1 - t)a + \\ [4(b_1^2 - b_2^2)(2b_1 - b_2) + (b_1 - b_2)(8b_1^2 + \\ 4b_1b_2 - 3b_2^2)r_b]c \} \geq 0, \end{aligned}$$

即资金不足的零售商在选择推迟支付模式时,销售单位商品可以获得更高的利润,结合该模式下更高的零售渠道需求量,有  $\pi_r^*(\delta) \geq \pi_r^*(r_b)$ , 所以零售商会选择推迟支付模型. □

零售商资金约束的双渠道供应链分散决策时,虽然零售商有选择解决资金约束问题的权利,但是通过上面的命题、推理可以看出,在推迟支付贷款利率与银行贷款利率相等的情况下,零售商为了实现其收益最大,其最优选择为推迟支付.另外,为了不影响需求,与零售商资金充足时相比,供应商会一定程度地降低批发价格,提高零售商的订购量,满足市场需求,获得更多的利润.在需求信息已知的情况下,由推迟支付模型的最优分散决策可以看出,零售渠道与直销渠道需求都不会因零售商的资金约束而受到影响(零售、直销价格不变),而此时,供应商却需要降低批发价格以提高零售商的订货量(等于零售商需求).虽然推迟支付部分的货款( $wd_r - B$ )是因为收取利率而不是批发价格降低的影响,但订货时支付的货款  $B$  却因为批发价格降低而可以购买更多的货品量,供应商的总收益也会因此受到影响.通过计算可知,此时供应商最好不收取任何利率  $\delta$  而允许零售商推迟支付货款,即在需求信息确定(受价格影响)的情况下,双渠

道供应链分散决策时,零售商会选择推迟支付,且零售商资金约束不会影响供应商与零售商的收益.然而还需要考虑供应商的决策,看其是否愿意提供推迟支付的机会.下面从集中决策的角度来考虑供应商的决策.

#### 4 零售商资金不足的双渠道供应链集中决策

双渠道供应链集中决策是指作为 Stackelberg 领导者的供应商,是从整个供应链收益最优的角度出发,制定系统的最优决策.

推迟支付集中决策: 供应商以一定利率允许零售商推迟支付,说明其有充足的生产准备金以满足零售商订购和直销需求,所以集中决策时,作为决策者的供应商有充足的资金进行生产,不存在供应商借款的情况.此时,双渠道供应链系统的总收益函数  $\pi = \pi_s + \pi_r$ , 得出函数表达式为  $\pi = (p_s - c)d_s + (p_r - c)d_r$ . 容易证明  $\pi$  是关于  $p_s$  和  $p_r$  的联合凹函数,为了得到系统最优决策,用  $\pi$  对  $p_s$  和  $p_r$  分别求导,联立求解可以得到,系统的最优决策  $\tilde{p}_s^*$ ,  $\tilde{p}_r^*$  表示如下:

$$\tilde{p}_s^* = \frac{1}{2(b_1^2 - b_2^2)} [b_1(1 - t)a + b_2ta + (b_1^2 - b_2^2)c], \quad (10)$$

$$\tilde{p}_r^* = \frac{1}{2(b_1^2 - b_2^2)} [b_2(1 - t)a + b_1ta + (b_1^2 - b_2^2)c]. \quad (11)$$

可以看出,推迟支付双渠道供应链模型集中决策时,零售商资金限制问题作为集中决策时供应链的内部问题,并不影响最优决策的制定.

零售商借贷支付模型,假设供应商用于生产的准备资金为  $B_s$ , 分散决策时,供应商接到零售商的订货款  $wd_r$  后结合其准备资金进行生产,由于  $w \geq c$ , 此时供应商有充足的资金进行生产,但在集中决策时,供应链的总准备资金为  $B_s + B_r$ , 所以可能存在生产资金不足的情况.根据  $B_s + B_r$  的不同,借款支付模型的集中决策量有下面两种情况:

1) 若  $B_s + B_r \geq c(d_r + d_s)$ , 供应商不需要融资,此时供应链的最优决策与资金充足的双渠道供应链集中决策相同,最优决策  $\tilde{p}_s^*(r_b) = \tilde{p}_s^*$ ,  $\tilde{p}_r^*(r_b) = \tilde{p}_r^*$ .

2) 若  $B_s + B_r < c(d_r + d_s)$ , 借款支付模型集中决策时,作为决策者的供应商需要融资以进行生产,由融资利率高于资金无风险利率可知,其融资资金  $D_{sc}$  只会用于生产,满足  $D_{sc} = c(d_r + d_s) - B_{sc}$ ,  $B_{sc} = B_s + B_r$ . 假设供应商融资利率与零售商借款的利率相同为  $r_b$ , 此时供应链系统总收益函数为  $\pi(r_b) = (p_s - c)d_s + (p_r - c)d_r - [c(d_r + d_s) - B_{sc}]r_b$ . 可以证明  $\pi(r_b)$  是关于  $p_s$  和  $p_r$  的联合凹函数,存在最优决策量

$\tilde{p}_s^*(r_b), \tilde{p}_r^*(r_b)$ , 用  $\pi(r_b)$  对  $p_s$  和  $p_r$  分别求导, 联立求解得到借贷支付时的最优决策变量

$$\tilde{p}_s^*(r_b) = \frac{1}{2(b_1^2 - b_2^2)} [b_1(1-t)a + b_2ta + (b_1^2 - b_2^2)(1+r_b)c], \quad (12)$$

$$\tilde{p}_r^*(r_b) = \frac{1}{2(b_1^2 - b_2^2)} [b_2(1-t)a + b_1ta + (b_1^2 - b_2^2)(1+r_b)c]. \quad (13)$$

比较不同模式下, 双渠道供应链集中决策的决策、收益情况, 有:

**命题 4** 当零售商资金约束的双渠道供应链集中决策时, 推迟支付模型的总需求量比借贷支付模型的总需求高  $(b_1 - b_2)r_b c$ ; 推迟支付模型的总收益  $\tilde{\pi}^*$  与借贷支付模型的总收益  $\tilde{\pi}^*(r_b)$  满足

$$\tilde{\pi}^* = \begin{cases} \tilde{\pi}^*(r_b), & B_s + B_r \geq c(d_r + d_s); \\ \tilde{\pi}^*(r_b) + \frac{(1+r_b)r_b c^2}{2} + r_b[c(d_s + d_r) - B_{sc}], & B_s + B_r < c(d_r + d_s). \end{cases}$$

零售商资金不足的双渠道供应链的集中决策者(供应商)会选择推迟支付模型。

**证明** 当供应链的初始资金满足  $B_s + B_r \geq c(d_r + d_s)$  时, 推迟支付、借贷支付两个模型集中决策的最优决策相同, 所以有  $\tilde{\pi}^* = \tilde{\pi}^*(r_b)$ ; 另一方面, 若  $B_s + B_r < c(d_r + d_s)$ , 则由式(10)~(13)可以得出

$$\tilde{d}_s^*(r_b) = \tilde{d}_s^* - \frac{b_1 - b_2}{2} r_b c, \\ \tilde{d}_r^*(r_b) = \tilde{d}_r^* - \frac{b_1 - b_2}{2} r_b c.$$

将变量  $\tilde{p}_s^*, \tilde{p}_r^*, \tilde{d}_s^*, \tilde{d}_r^*$  代入双渠道供应链的收益函数, 可以证明, 有

$$\tilde{\pi}^* = \tilde{\pi}^*(r_b) + \frac{(1+r_b)r_b c^2}{2} + r_b[c(d_s + d_r) - B_{sc}].$$

由于  $((1+r_b)r_b c^2)/2 > 0$ , 综上分析, 零售商资金受限的双渠道供应链集中决策时, 两种支付模式的收益函数满足  $\tilde{\pi}^* \geq \tilde{\pi}^*(r_b)$ , 所以作为集中决策者的供应商, 在零售商资金不足时会选择向零售商提供推迟支付业务, 以实现系统最优。□

对于零售商资金约束的双渠道供应链, 作为 Stackelberg 博弈领导者的供应商, 在集中决策时会选择允许零售商推迟支付来实现供应链系统总收益的最大化。对于双渠道供应链而言, 即使总的收益不受资金约束的影响, 借贷支付时供应链的部分资金也会流向供应链以外的企业, 使得供应链实际得到的收益减少, 所以其会选择推迟支付, 使资金只在供应链内部流动, 系统总收益最大化。

综上分析可以看出, 零售商资金约束的双渠道供应链无论是分散决策时零售商的选择还是集中决策

时供应商的选择都会是推迟支付模型, 且商品的销售价格(零售、直销)均不会受零售商资金约束的影响, 即推迟支付时, 零售商的资金不足不会影响市场需求的稳定。本文并没有考虑推迟支付时供应商生产资金不足的问题, 所以虽然在整个供应链内部资金充足时零售商的资金不足不会对整个供应链的收益带来弊端, 而对于供应商与零售商均出现资金不足的情况时需要另外考虑, 需要进一步研究。

## 5 算例分析

这一节将用数值例子来说明本文得到的结论。不妨设模型的参数值为  $a = 1000, s = 0.6, c = 5, b_1 = 8, b_2 = 2$ , 则直销与零售渠道的潜在需求分别为  $(1-s)a = 400, sa = 600$ 。

首先比较分散决策时推迟支付模型与借贷支付模型的决策量。推迟支付模型: 供应商与零售商资金约束时的最优销售价格与零售商资金充足的最优决策相等, 分别为  $p_s^*(\delta) = p_s^0 = 39.1667, p_r^*(\delta) = p_r^0 = 66.9791$ , 而资金约束时, 供应商给出的最优批发价格  $w^*(\delta)$  与资金充足时的最优决策价格  $w^0$  满足

$$w^*(\delta) = \frac{w^0}{1+\delta} = \frac{49.1667}{1+\delta}.$$

双渠道供应链企业间信息对称, 零售商选择推迟支付货款的方式时, 直销与零售价格不受零售商资金约束的影响, 零售和直销的需求不会因为零售商的资金不足而变化, 所以有  $d_s^*(\delta) = d_s^0 = 220.6246, d_r^*(\delta) = d_r^0 = 142.5006$ , 供应商与零售商的销售收益均不变。然而, 零售商的资金约束会降低供应商对零售商的批发价格。因为推迟支付利率的增加会降低零售商销售商品的边际利润, 从而会降低零售商的订购积极性, 影响供应商的批发收入。因此, 供应商会相应地降低对零售商的商品批发价格, 激励零售商提高商品订购量。通过计算, 可以知道推迟支付模型时零售商的收益为  $\pi_r^*(\delta) = \pi_r^0 + \delta B = 2538.2777 + \delta B$ 。

根据借贷支付模型下供应商与零售商的最优决策表达式(6)~(8), 可以知道供应商与零售商分散决策的最优决策与借贷利率的关系为

$$p_s^*(r_b) = \frac{1}{480(1+r_b) - 4r_b^2} [12800(1+r_b) + 1200(4+3r_b) + 60(20+r_b)(1+r_b)], \\ p_r^*(r_b) = \frac{1+r_b}{8[480(1+r_b) - 4r_b^2]} [6400(4+r_b) + 225600 + 240(25+18r_b)], \\ w^*(r_b) = \frac{1}{8[480(1+r_b) - 4r_b^2]} [12800(2+r_b) + 2400(64+r_b) + 120(80+71r_b)].$$

当  $r_b$  分别取 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 时, 借贷利率与决策变

量的关系如表 1 所示。

相应地，可以得出借贷模型中零售商的最优收益  $\pi_r^*(r_b)$  分别为  $2\,490.362\,4+0.05B$ ,  $2\,443.078\,4+0.1B$ ,

表 1 借贷利率与决策变量的关系

$r_b$	$p_s^*(r_b)$	$p_r^*(r_b)$	$w^*(r_b)$	$d_r^*(r_b)$
0.05	39.0546	67.1201	47.1205	141.1484
0.1	38.9549	67.2634	45.2620	139.8026
0.2	38.7858	67.5563	42.0134	137.1212
0.3	38.6495	67.8558	39.2686	134.4526

$2\,350.2875 + 0.2B$ ,  $2\,259.6938 + 0.3B$ .

比较推迟支付模型与借贷支付模型在  $\delta = r_b$  时各最优变量值之间的关系，如表 2 所示。其中  $\Delta p_r^*$ ,  $\Delta d_r^*$ ,  $\Delta w^*$ ,  $\Delta \pi_r^*$  分别表示  $p_r^*(\delta) - p_r^*(r_b)$ ,  $d_r^*(\delta) - d_r^*(r_b)$ ,  $w_r^*(\delta) - w_r^*(r_b)$  和  $\pi_r^*(\delta) - \pi_r^*(r_b)$ 。

表 2 推迟支付模型与借贷支付模型下，各变量比较

$r_b$	$\Delta p_r^*$	$\Delta d_r^*$	$\Delta w^*$	$\Delta \pi_r^*$
0.05	-0.1410	1.3522	-0.2951	47.9153
0.1	-0.2843	2.6980	-0.5650	95.1993
0.2	-0.5773	5.3794	-1.0412	187.9902
0.3	-0.8767	8.0480	-1.1181	278.5839

由表 2 可以看出，在推迟支付利率  $\delta$  等于借贷系数  $r_b$  的前提下选择推迟支付模型，一方面，资金不足的零售商可以以较低的批发价格获得商品，且会以较优惠的价格出售商品，使零售渠道的消费者获得实惠，并以此吸引顾客，增加零售渠道的需求量，提高零售商的市场竞争力与影响力；另一方面，零售商可以获得更多的收益，实现分散决策时其利润的最优化。所以，在分散决策时，资金约束的零售商最优的选择是选择与供应商合作，接受推迟支付的支付模式，而此时供应商的最优选择是不受零售商资金约束的影响，选择无补偿（推迟支付利率为 0）的推迟支付合同。

集中决策时，根据供应商生产准备金的的不同，两种支付模型的收益差也不同。若供应商资金充足，则供应链在两个模型下的总收益相等；若供应商准备金不足，则推迟支付时双渠道供应链收益会比借贷支付模型时高  $\frac{(1+r_b)r_b c^2}{2} + r_b[c(d_s + d_r) - B_{sc}]$ ，供应商必然会选择提供推迟支付服务。综上所述，无论分散决策时零售商的选择还是集中决策时作为 Stackelberg 博弈领导者的供应商的选择都会是推迟支付模型，而且提供推迟支付模型时，供应商推迟支付的最优利率为 0，即需求可以预测（受价格影响）的情况下，双渠道供应链的决策不会受到零售商资金不足的影响，分散决策时供应商与零售商的收益亦不会因零售商资金约束而变化。

## 6 结 论

资金约束是供应链研究的一个重要问题，本文从解决零售商资金约束问题模式不同的角度对双渠道

供应链决策进行分析，不仅给出了不同模式下供应链的最优决策，而且证明了零售商会无条件选择推迟支付模式，并从系统决策的角度证明了推迟支付模式优于借贷支付模式。研究结果表明，在供应商愿意提供推迟支付策略时，零售商资金不足对供应链的最优决策和收益并不造成影响。

## 参考文献(References)

- [1] Buzacott J A, Zhang R Q. Inventory management with asset-based financing[J]. Management Science, 2004, 50(9): 1274-1292.
- [2] Dada M, Hu Q. Financing newsvendor inventory[J]. Operations Research Letters, 2008, 36(5): 569-573.
- [3] Inderst R, Mueller H M. A lender-based theory of collateral[J]. J of Financial Economics, 2007, 84(3): 826-859.
- [4] Gupta D, Wang L. A stochastic model with trade credit[J]. Manufacturing and Service Operations Management, 2009, 11(1): 4-18.
- [5] 李毅学, 冯耕中, 徐渝. 价格随机波动下存货质押融资业务质押率研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(12): 42-48.  
(Li Y X, Feng G Z, Xu Y. Research on loan-to-value of inventory financing under randomly-fluctuant price[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2007, 27(12): 42-48.)
- [6] 张媛媛, 李建斌. 库存商品融资下的库存优化管理[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(9): 29-38.  
(Zhang Y Y, Li J B. Optimal inventory management under inventory financing[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 28(9): 29-38.)
- [7] 晏尼娜, 孙宝文. 考虑信用额度的仓单质押融资模式下供应链金融最优策略[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(9): 1674-1679.  
(Yan N N, Sun B W. Optimal strategies for supply chain financing system based on warehouse receipts financing with credit line[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2011, 31(9): 1674-1679.)
- [8] Lee C H, Rhee B D. Coordination contracts in the presence of positive inventory financing costs[J]. Int J Production Economics, 2010, 124(2): 331-339.
- [9] Lee C H, Rhee B D. Trade credit for supply chain coordination[J]. European J of Operational Research, 2011, 214(1): 136-146.
- [10] Lai G, Laurens G D, Katia Sycarab. Sharing inventory risk in supply chain: The implication of financial constraint[J]. Omega, 2009, 37(4): 811-825.
- [11] 朱文贵, 朱道立, 徐最. 延迟支付方式下的存货质押融资服务定价模型[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(12):

- 1-7.  
(Zhu W G, Zhu D L, Xu Z. Pricing model for inventory impawn financing under conditions of permissible delay in payments[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2007, 27(12): 1-7.)
- [12] 陈祥锋, 朱道立, 应文珺. 资金约束与供应链中的融资和运营综合决策研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(3): 70-77.  
(Chen X F, Zhu D L, Ying W J. Financial and operation decisions in budget-constrained supply chain[J]. J of Management Sciences in China, 2008, 11(3): 70-77.)
- [13] 陈祥锋, 朱道立. 资金约束供应链中物流提高的系统价值研究[J]. 系统工程学报, 2008, 23(6): 666-673.  
(Chen X F, Zhu D L. System value of 3PL to the supply chain with capital constraints[J]. J of Systems Engineering, 23(6): 666-673.)
- [14] Cai G S. Channel selection and coordination in dual-channel supply chains[J]. J of Retailing, 2010, 86(1): 22-36.
- [15] Yan R, Pei Z. Retail services and firm profit in a dual-channel market[J]. J of Retailing and Consumer Services, 2009, 16(4): 306-314.
- [16] Boyaci T. Competitive stocking and coordination in a multiple-channel distribution system[J]. IIE Trans, 2005, 37(5): 407-427.
- [17] Dumrongiri A, Fan M, Jain A, et al. A supply chain model with direct and retail channel[J]. European J of Operational Research, 2008, 187(3): 691-718.
- [18] Geng Q, Mallik A. Inventory competition and allocation in a multi-channel distribution system[J]. European J of Operational Research, 2007, 182(2): 704-729.
- [19] Tsay A, Agrawal N. Channel conflict and coordination in the E-commerce age[J]. Production and Operations Management, 2004, 13(1): 93-110.
- [20] 许传永, 苟清龙, 周垂日, 等. 双层双渠道供应链的定价问题[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(10): 1741-1752.  
(Xu C Y, Gou Q L, Zhou C R, et al. Pricing issues in a two-echelon dual-channel supply chain[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2011, 30(10): 1741-1752.)
- [21] 陈忠, 艾兴政. 双渠道信息共享与收益分享合同选择[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(12): 42-51.  
(Chen Z, Ai X Z. Choice of forecasting information sharing and revenue sharing contract between dual-channel[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 28(12): 42-51.)
- [22] 王小龙, 刘丽文. 竞争型双渠道供应链协同问题研究[J]. 系统工程学报, 2009, 24(4): 430-437.  
(Wang X L, Liu L W. Coordination on competitive dual channels supply chain[J]. J of Systems Engineering, 2009, 24(4): 430-437.)
- [23] 陈树楨, 熊中楷, 李根道, 等. 考虑创新补偿的双渠道供应链协调机制研究[J]. 管理工程学报, 2011, 25(2): 45-53.  
(Chen S Z, Xiong Z K, Li G D, Wen H H. Coordination mechanisms based on strategic innovative compensation in dual-channel supply chains[J]. J of Industrial Engineering and Engineering Management, 2011, 25(2): 45-53.)
- [24] 徐广业, 但斌, 肖剑. 基于改进收益共享契约的双渠道供应链协调研究[J]. 中国管理科学, 2010, 18(6): 59-64.  
(Xu G Y, Dan B, Xiao J. Study on dual channel supply chain coordination with new revenue sharing contract[J]. Chinese J of Management Science, 2010, 18(6): 59-64.)
- [25] 肖剑, 但斌, 张旭梅. 双渠道供应链电子渠道与零售商合作策略研究[J]. 系统工程学报, 2009, 24(6): 673-680.  
(Xiao J, Dan B, Zhang X M. Study on cooperation strategy between electronic channels and retailers in dual-channel supply chain[J]. J of Systems Engineering, 2009, 24(6): 673-680.)

(责任编辑: 孙艺红)