

# 基于公平偏好的双渠道制造商融资策略

郭金森<sup>1,2</sup>, 周永务<sup>2</sup>

(1. 河南师范大学商学院, 河南 新乡 453007;

2. 华南理工大学工商管理学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 针对公平偏好双渠道制造商存在的资金约束问题, 构建了金融机构借贷融资与预付款融资两种模式下的供应链融资决策模型, 分析了制造商公平偏好对供应链利润及成员决策的影响, 最后用数值分析验证并拓展结论. 结果表明, 制造商公平偏好特性降低了零售商收益, 但提高了制造商以及整个供应链的收益. 金融机构借贷融资模式下, 制造商和零售商的收益均低于无资金约束下其所得收益. 预付款融资模式下, 在一定的市场潜在需求规模下, 零售商或制造商会获得高于无资金约束时其所得收益. 对比两种融资模式下各成员收益, 发现当预付款时间长度敏感系数相对较小时, 制造商会倾向选择预付款融资模式, 否则制造商会倾向选择金融机构借贷融资模式.

**关键词:** 双渠道; 公平偏好; 预付款融资; 借贷支付融资

中图分类号: F274

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2019)06-0831-13

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2019.06.010

## Financing strategy of dual-channel manufacturer based on fairness preference

Guo Jinsen<sup>1,2</sup>, Zhou Yongwu<sup>2</sup>

(1. Business School, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China ;

2. School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** For the problem of financial constraint for fair preference dual-channel manufacturers, the prepayment financing model and the loan-payment financing model are established to analyze the impacts of manufacturers' fairness preference on the profits of supply chain and member's decision making. Finally, the conclusion is verified and extended by numerical study. The results show that the manufacturer's fairness preference characteristics reduce the retailer's profit, but increase the profit of the manufacturer and the entire supply chain. The manufacturer's and retailer's profit in the loan-payment model always less than their profit in the non-capital constraint mode, but not always less than the non-capital constraint mode in the prepayment financing mode. Comparing the partners' profit under two financing models, results show that when the sensitivity coefficient of the length of prepayment is low, the manufacturer prefers the prepayment financing model; Otherwise, the manufacturer prefers the loan payment financing mode.

**Key words:** dual channel; fairness preference; prepayment financing; loan payment financing

## 1 引言

随着电子商务技术的快速发展, 企业销售模式发生了巨大变化, 越来越多的制造商开始选择双渠道模式

收稿日期: 2018-07-15; 修订日期: 2019-03-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71520107001; 71902055); 国家社会科学基金资助项目(17BGL139); 河南省政府决策研究招标课题资助项目(2018B118).

来分销产品,即不仅通过实体零售商渠道销售,也开辟自身网络直销渠道,例如华为,海尔,格力等.制造商网络直销渠道的引入,有效增加了市场潜在需求,但也给其带来了更大的资金压力,常常面临生产资金不足困境<sup>[1]</sup>.供应链中双渠道制造商资金不足问题,不仅影响到其自身的正常生产运作,也可能会导致下游零售商渠道缺货,给零售商带来损失.为了解决制造商资金不足困境,目前实践中有两种最常用的方法:1) 制造商直接向银行或者其他金融机构进行贷款融资,以满足其生产所需的全部资金.例如,仅2017年上半年,中国银行对制造企业的贷款余额就达到了1.71万亿,有效缓解了制造企业资金不足困境;2) 制造商通过给予下游零售商部分批发价优惠,要求零售商部分货款提前支付,从而满足其生产所需的全部资金.例如,双渠道企业格力电器就通过销售政策鼓励下游零售商提前支付货款,借助销售渠道所实现的融资能力,有效缓解自身资金不足困境.同时,行为研究表明,供应链成员通常具有公平偏好行为,他们既关注自身利润,也关心自身能否得到公平的待遇,并进一步影响到其运作决策和收益<sup>[2,3]</sup>,而当制造商存在资金约束并通过融资来解决其资金困境时,公平偏好行为对其运作决策和收益的影响可能变得更加明显.因此,研究带有资金约束的公平偏好制造商的双渠道供应链融资策略具有十分现实的意义.

与本文相关的研究主要包括公平偏好下双渠道供应链运作和协调研究以及资金约束下双渠道供应链运作管理问题研究.针对公平偏好下双渠道供应链运作和协调问题,刑伟等<sup>[4]</sup>研究了零售商不同市场份额下,供应链各主体对渠道公平的关心程度,指出当零售商市场份额较大时,生产商将关注渠道公平.浦徐进等<sup>[5]</sup>则探讨了实体店的横向公平偏好和纵向公平偏好对双渠道供应链均衡策略变化的影响.而Li等<sup>[6]</sup>研究了当零售商为产品增加额外价值时,其公平偏好行为对各主体定价策略的影响.Zhang等<sup>[7]</sup>进一步探讨了零售商公平偏好行为对各渠道市场份额以及产品定价决策的影响.Wei等<sup>[8]</sup>则研究了供应链成员同时具有公平偏好以及风险规避特性时,各主体最优定价策略,并进一步设计了新型回购合同来协调供应链<sup>[9]</sup>.基于纳什讨价还价博弈模型,曲优等<sup>[10]</sup>进一步探讨了公平偏好与损失规避对混合双渠道供应链订货策略的影响.何丽红<sup>[11]</sup>和Li等<sup>[12]</sup>分别研究了零售商和制造商的公平偏好行为对双渠道供应链合作广告决策的影响.邹清明等<sup>[13]</sup>将上述研究进一步拓展到闭环双渠道供应链中,研究此时公平偏好对供应链成员运作决策和收益的影响.

然而,上述研究均没有考虑到供应链成员可能存在资金约束困境的情况.张小娟等<sup>[14]</sup>基于确定性需求环境,研究了资金约束零售商的最优贸易信贷和银行借贷融资决策,并指出贸易信贷融资模式优于银行借贷融资模式.而郭金森等<sup>[15]</sup>将上述研究拓展到零售商存在风险厌恶特性情形,分析了零售商风险厌恶特性对供应链各主体融资决策和收益的影响,并进一步探讨了零售商资金约束下,双渠道制造商贸易信贷和提前订货折扣契约选择策略<sup>[16]</sup>.吴云<sup>[17]</sup>和Fan等<sup>[18]</sup>进一步研究了零售商资金约束下,双渠道供应链的产品定价和库存策略问题.上述研究均是考虑下游零售商存在资金约束问题,肖肖等<sup>[1]</sup>则考虑了当上游双渠道制造商面临资金约束时,其最优预付款融资和银行借贷融资模式选择策略问题.李新军等<sup>[19]</sup>将上述研究拓展到随机需求环境,研究当供应链成员存在风险厌恶特性时,双渠道供应商预付款融资和银行借贷融资模式选择策略变化.

由上述文献综述可知,现有双渠道供应链管理问题研究已经关注到了资金约束困境对企业运作决策的影响,但大多数研究主要考虑下游零售商资金不足情况,对上游双渠道制造商资金不足问题的研究还明显不足.文献[1, 19]虽然考虑到了制造商资金约束的双渠道供应链融资决策问题,但均未考虑企业可能存在公平偏好特性情形.而本文则针对双渠道制造商存在公平偏好特性情形,研究两种不同的融资模式下(金融机构借贷融资模式与预付款融资模式),双渠道供应链各主体最优运作决策和收益,分析制造商公平偏好特性对供应链博弈均衡策略的影响.指出在一定的市场潜在需求规模下,公平偏好的制造商通过预付款模式进行融资时,零售商和制造商可能获得高于无资金约束时其所得的收益.当预付款时间长度敏感系数相对较小时,制造商会倾向选择预付款融资模式,否则制造商会倾向选择金融机构借贷融资模式.

## 2 基本模型与假设

考虑一个资金约束的制造商和一个零售商组成的供应链系统,其中制造商具有公平偏好特性并通过双

渠道(网络直销渠道以及零售商渠道)销售产品. 假设市场需求信息是完全对称的, 制造商清楚的知道双渠道实际需求量, 并根据实际需求安排生产, 生产出来的产品完全销售, 不存在库存问题. 而当制造商存在资金约束时, 其通过下面两种不同的融资模式来解决自身资金不足的困境: 1) 供应链外部金融机构借贷融资模式, 即制造商向外部金融机构借贷用于支付生产所缺资金, 销售实现后再归还金融机构贷款本息. 2) 预付款融资模式, 即制造商与零售商签订预付款合同, 对零售商提前支付货款的部分商品给予批发价格折扣优惠, 未提前支付货款的商品不给予批发价优惠, 从而有效激励零售商提前支付货款来解决自身生产资金不足的困境.

为了方便比较, 首先给出当公平偏好制造商不存在资金约束时, 双渠道供应链各主体的最优决策和利润. 根据参考文献[20, 21], 得到零售商实体渠道的需求

$$d_1 = \phi a - p_1 + \theta_1 p_2, \quad (1)$$

制造商网络渠道的需求

$$d_2 = (1 - \phi) a - p_2 + \theta_2 p_1, \quad (2)$$

其中  $a$  为市场潜在需求规模,  $\phi$  为零售商渠道占有的市场需求比例, 剩下的  $1 - \phi$  为制造商网络渠道占有的市场需求比例,  $p_1$  和  $p_2$  分别为零售商和制造商各自渠道的产品销售价格,  $\theta_i < 1$  分别为由于对方渠道价格所引起的消费者转移程度,  $i = 1, 2$ , 制造商单位产品生产成本为  $c$ , 产品批发价格为  $w$ . 为了计算方便, 参考文献[20, 21], 令  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ .

当双渠道制造商不存在公平偏好时, 供应链各主体的利润函数分别如下.

零售商的利润函数为

$$\pi_r = (p_1 - w) (\phi a - p_1 + \theta p_2). \quad (3)$$

制造商的利润函数为

$$\pi_m = (w - c) (\phi a - p_1 + \theta p_2) + (p_2 - c) ((1 - \phi) a - p_2 + \theta p_1). \quad (4)$$

参考文献[22, 23], 当双渠道制造商存在公平偏好时, 其效用函数为  $u_m = \pi_m - \beta (\gamma \pi_r - \pi_m)$ , 其中  $0 < \beta < 1$  为制造商的公平偏好系数 ( $0 < \beta < 1$ ),  $\gamma > 0$  表示公平比例, 本文公平参考点为参与方的相对利润, 并假设当己方利润低于对方相对利润时, 公平效用为负值, 如果超过对方相对利润, 则获得正的公平效用.

因此, 可得当双渠道制造商存在公平偏好时, 其效用函数为

$$u_m = (w - c) (\phi a - p_1 + \theta p_2) + (p_2 - c) ((1 - \phi) a - p_2 + \theta p_1) - \beta (\gamma \pi_r - \pi_m). \quad (5)$$

本文考虑供应链中制造商是 Stackelberg 领导者, 博弈顺序如下: 制造商首先给出产品批发价格  $w$  以及网络渠道产品售价  $p_2$ , 零售商观察到制造商的决策后再确定自身实体渠道产品定价  $p_1$ . 采用逆推法, 并记上标 0 为公平偏好的制造商不存在资金约束时的情形. 可得如下结论.

**定理 1** 制造商无资金约束时, 双渠道供应链各主体的最优决策分别为

$$p_1^0 = \frac{c(1 + \beta) + (\phi a + \theta c)(1 + \beta + \beta\gamma)}{2(2 + \beta\gamma + 2\beta)} + \frac{a(\phi + \theta - \theta\phi)}{2(1 - \theta^2)}, \quad (6)$$

$$p_2^0 = \frac{a(1 - \phi + \phi\theta) + c(1 - \theta^2)}{2(1 - \theta^2)}, \quad (7)$$

$$w^0 = \frac{\phi a(1 - \theta)(2 + 2\gamma + \theta\gamma) + c(1 - \theta^2)(2 + \theta\gamma) + a\theta(\gamma + 2)}{2(1 - \theta^2)(\gamma + 2)} - \frac{\gamma(\phi a - c + c\theta)}{(\gamma + 2)(2 + \beta\gamma + 2\beta)}. \quad (8)$$

从而,易得零售商和制造商的需求和收益分别为

$$d_1^0 = \frac{(1+\beta)(\phi a - c + c\theta)}{2(2+2\beta+\beta\gamma)}, \quad (9)$$

$$d_2^0 = \frac{a(1-\phi+\theta\phi) - c(1-\theta^2)}{2} - \frac{\theta(1+\beta)(\phi a - c - c\theta)}{2(2+2\beta+\beta\gamma)}, \quad (10)$$

$$\pi_r^0 = \frac{(1+\beta)^2(\phi a - c + c\theta)^2}{4(2+2\beta+\beta\gamma)^2}, \quad (11)$$

$$u_m^0 = \frac{a^2(1+\beta)\left(1+\theta+(1-2\phi)^2(1-\theta)\right)}{8(1-\theta^2)} - \quad (12)$$

$$\frac{(1+\beta)(a^2\phi^2(1+\beta+\beta\gamma) - 2ac\phi(1-\theta)(1+\beta+\beta\gamma) + c\xi_0)}{4(2+2\beta+\beta\gamma)}, \quad (13)$$

其中  $\xi_0 = 2a(2+2\beta+\beta\gamma) - c(1-\theta)(3+\theta)(1+\beta) - bc\gamma(1-\theta^2)$ .

下面进一步分析无资金约束情形下,制造商公平偏好程度对双渠道产品定价、需求以及零售商利润的影响,易得下面结论.

**性质 1** 1)  $\frac{\partial p_1^0}{\partial \beta} > 0$ ,  $\frac{\partial p_2^0}{\partial \beta} = 0$ ,  $\frac{\partial w^0}{\partial \beta} > 0$ ; 2)  $\frac{\partial d_1^0}{\partial \beta} < 0$ ,  $\frac{\partial d_2^0}{\partial \beta} > 0$ ,  $\frac{\partial (d_1^0+d_2^0)}{\partial \beta} < 0$ ; 3)  $\frac{\partial \pi_r^0}{\partial \beta} < 0$ .

由性质 1 可得,无资金约束时,制造商网络渠道产品定价与其公平偏好程度无关,而批发价与公平偏好程度成正比.即随着制造商公平偏好程度的增大,其一方面通过维持自身网络渠道产品定价不变来保证其网络渠道价格竞争优势,另一方面,则是通过提高产品批发价的方式从零售商处分割更多的单位产品批发收益,以减弱其收益分配不公平的感受.此时,零售商实体渠道产品定价也相应提高,将制造商批发价提高对其带来的单位边际收益减少的消极效应转嫁给了下游消费者,由消费者买单.进一步,因零售商实体渠道产品售价提高,而制造商网络渠道产品售价不变,部分消费者转移到网络渠道上来购物,导致零售商渠道需求不断下降,而制造商网络渠道需求不断增加.因双渠道产品整体定价的相对提高(网络渠道价格不变而实体渠道价格增加),市场消费者整体需求减弱,双渠道总需求不断下降,即制造商公平偏好对供应链整体需求产生了消极影响.最后,由性质 1 的 3) 可得,制造商公平偏好对零售商收益产生消极影响,随着制造商公平偏好程度的增大,零售商产品售价提高引起其收益增加的正效应被其需求下降引起收益减少的负效应抵消,零售商利润不断下降.

**结论 1** 制造商资金充足时,零售商更愿意与无公平偏好的双渠道制造商展开合作.

结论 1 指出了制造商资金充足情形下,零售商对双渠道制造商的选择偏好.然而,实践中很多制造商经常存在生产资金不足问题,尤其是当制造商开辟了网络直销渠道后,其产品销售范围有效扩大,市场需求进一步增加,导致其资金约束困境更加严重.下面将进一步探讨当制造商面临资金约束时,在两种不同的融资模式下(金融机构借贷融资与预付款融资),双渠道供应链各主体的最优运作策略和收益.

### 3 金融机构借贷融资模式

当制造商初始资金  $B_0$  不足以满足自身生产需要时( $B_0 < c(d_1 + d_2)$ ),其通过向外部金融机构借贷来解决自身资金不足困境,借贷金额为  $L = c(d_1 + d_2) - B_0$ .销售完成后,制造商需要向金融机构归还的本息为  $(c(d_1 + d_2) - B_0)(1 + M_0 I_b)$ ,其中  $I_b$  为金融机构的融资年利息率,  $M_0$  表示制造商在金融机构借贷时间长度.

易得无公平偏好下零售商利润函数为

$$\pi_r = (p_1 - w)(\phi a - p_1 + \theta p_2), \quad (14)$$

制造商利润函数

$$\pi_m = (w - c)(\phi a - p_1 + \theta p_2) + (p_2 - c)((1 - \phi)a - p_2 + \theta p_1) - (c(d_1 + d_2) - B_0)M_0I_b, \quad (15)$$

从而可得, 公平偏好制造商的效用函数为

$$u_m = (w - c)(\phi a - p_1 + \theta p_2) + (p_2 - c)((1 - \phi)a - p_2 + \theta p_1) - (c(d_1 + d_2) - B_0)M_0I_b - \beta(\gamma\pi_r - \pi_m). \quad (16)$$

采用逆推法, 并记上标 A 为公平偏好的制造商金融机构借贷融资模式情形. 可得如下结论.

**定理 2** 金融机构借贷融资模式下, 双渠道供应链各主体的最优决策分别为

$$p_1^A = \phi a + \frac{\theta c(1 + I_b M)(1 - \theta^2) + a\theta(1 - \phi + \theta\phi)}{2(1 - \theta^2)} - \frac{(1 + \beta)(c\theta - c + \phi a - I_b M c + I_b M c\theta)}{2(2\beta + \beta\gamma + 2)}, \quad (17)$$

$$p_2^A = \frac{c(1 + I_b M)(1 - \theta^2) + a(1 - \phi + \theta\phi)}{2(1 - \theta^2)}, \quad (18)$$

$$w^A = \phi a + \frac{\theta c(1 + I_b M)(1 - \theta^2) + a\theta(1 - \phi + \theta\phi)}{2(1 - \theta^2)} - \frac{(1 + \beta)(c\theta - c + \phi a - I_b M c + I_b M c\theta)}{2\beta + \beta\gamma + 2}. \quad (19)$$

从而, 易得制造商和零售商需求和收益分别为

$$d_1^A = \frac{(1 + \beta)(c\theta - c + \phi a - I_b M c + I_b M c\theta)}{2(2\beta + \beta\gamma + 2)}, \quad (20)$$

$$d_2^A = \frac{a(1 - \phi + \theta\phi) - c(1 + I_b M)(1 - \theta^2)}{2} - \frac{\theta(1 + \beta)(c\theta - c + \phi a - I_b M c + I_b M c\theta)}{2(2\beta + \beta\gamma + 2)}, \quad (21)$$

$$\pi_r^A = \frac{(1 + \beta)^2(c\theta - c + \phi a - I_b M c + I_b M c\theta)^2}{4(2\beta + \beta\gamma + 2)^2}, \quad (22)$$

$$u_m^A = \frac{a^2(1 + \beta)((2\phi - 1)^2(1 - \theta) + 1 + \theta)}{8(1 - \theta^2)} - \frac{\psi_3 + (1 + \beta)\beta\gamma\psi_4 + (1 + \beta)^2\psi_5}{4(2\beta + \beta\gamma + 2)}, \quad (23)$$

其中

$$\psi_3 = a\phi(1 + \beta)(1 + \beta + \beta\gamma)(a\phi - 2c(1 - \theta)(1 + I_b M_0)),$$

$$\psi_4 = -4B_0I_bM_0 - c^2(1 - \theta^2)(1 + I_bM_0)^2 + 2ac(1 + I_bM_0),$$

$$\psi_5 = 4ac(1 + I_bM_0) - c^2(3 + \theta)(1 - \theta)(1 + I_bM_0)^2 - 8B_0I_bM_0.$$

下面进一步分析制造商存在资金约束并通过外部金融机构融资时, 其公平偏好程度对双渠道产品定价、需求以及零售商利润的影响, 易得如下结论.

**性质 2** 1)  $\frac{\partial p_1^A}{\partial \beta} > 0$ ,  $\frac{\partial p_2^A}{\partial \beta} = 0$ ,  $\frac{\partial w^A}{\partial \beta} > 0$ ; 2)  $\frac{\partial d_1^A}{\partial \beta} < 0$ ,  $\frac{\partial d_2^A}{\partial \beta} > 0$ ,  $\frac{\partial (d_1^A + d_2^A)}{\partial \beta} < 0$ ; 3)  $\frac{\partial \pi_r^A}{\partial \beta} < 0$ .

由性质 2 可得, 当制造商存在生产资金约束并通过外部金融机构借贷融资时, 其公平偏好程度对双渠道产品定价、需求以及零售商利润的影响与其无资金约束情形下一致, 因而就不再加以详细论述.

**结论 2** 制造商存在资金约束并通过外部金融机构借贷融资时, 零售商仍然更愿意与无公平偏好的双渠道制造商展开合作.

对比双渠道制造商无资金约束情形与资金约束下金融机构借贷融资情形, 可得下面结论.

**定理 3** 1)  $p_1^0 < p_1^A$ ,  $p_2^0 < p_2^A$ ,  $w^0 < w^A$ ; 2)  $d_1^0 > d_1^A$ ,  $d_2^0 > d_2^A$ ,  $d_1^0 + d_2^0 > d_1^A + d_2^A$ ; 3)  $\pi_r^0 > \pi_r^A$ ,  $u_m^0 > u_m^A$ .

**证明** 见附录.

由定理3可得,在金融机构借贷融资模式下,制造商产品批发价格、网络渠道价格以及零售商实体渠道价格均高于无资金约束情形时其价格,而双渠道需求均低于无资金约束时的需求.即此时制造商资金约束所引起的额外的金融机构融资成本转嫁给了下游消费者,由消费者买单,并导致双渠道的消费者需求均下降.同时,由定理3的3)可得,制造商外部金融机构借贷融资模式下,其资金不足难题得到了有效解决,但所得收益还不能达到无资金约束时其收益水平,即此模式下制造商和零售商的收益均低于无资金约束下其所得收益.

因大多数制造企业为中小型企业,往往资产抵押不足,抗风险能力较弱,从而导致他们在银行等外部金融机构借贷融资困难.此时,供应链内部预付款融资模式便成为其解决自身资金困境的另外一条重要途径.下面将进一步探讨当制造商面临资金约束并通过预付款模式进行融资时,双渠道供应链各主体的最优运作策略和收益.

#### 4 预付款融资模式

当制造商初始资金  $B_0$  不足以满足自身生产需要时 ( $B_0 < c(d_1 + d_2)$ ), 其通过为下游零售商提供提前支付优惠政策来激励零售商提前付款(制造商对零售商提前付款的商品给予一定的批发价折扣优惠). 此时资金充足的零售商通过提前支付部分货款不仅能享受到部分产品批发价折扣优惠, 同时使上游制造商更好的完成生产, 避免因制造商产品生产不足而导致零售商渠道产品缺货. 因此零售商有充足的动机为制造商提供提前付款融资, 融资规模比例为  $L = c(d_1 + d_2) - B_0$ . 考虑到资金的时间价值以及激励零售商提前付款, 制造商对零售商提前付款的商品给予一定的批发价优惠, 参考文献[24], 设优惠后的批发价格为  $w_1 = we^{-\lambda M_1}$  ( $\lambda > 0, M_1 \geq 0$ ), 其中  $M_1$  为零售商提前付款时间长度,  $\lambda$  为提前付款时间长度敏感系数, 新的批发价格  $w_1$  是零售商提前付款时间长度  $M_1$  的减函数, 零售商提前支付的时间越长, 制造商给予其批发价格优惠力度越大.

由上述描述可得, 零售商提前支付的货款为  $L$ , 以优惠的批发价格  $w_1$  采购的货物数量为  $L/\xi$ ; 而剩余货物量  $d_1 - \xi$  将按正常批发价格  $w$  采购, 成本支出为  $w(\phi a - p_1 + \theta p_2 - \xi)$ , 其中  $\xi = L/(we^{-\lambda M_1})$ .

同理, 制造商从零售商处获得的货款收益也由两部分组成, 一部分是零售商以优惠批发价购买货物所支付的预付款  $L$ ; 另一部分是零售商以正常批发价购买货物支付的货款  $w(\phi a - p_1 + \theta p_2 - \xi)$ .

易得无公平偏好零售商利润函数

$$\pi_r = p_1(\phi a - p_1 + \theta p_2) - L - w(\phi a - p_1 + \theta p_2 - \xi), \quad (24)$$

制造商利润函数

$$\pi_m = w(\phi a - p_1 + \theta p_2 - \xi) + L + p_2((1 - \phi)a - p_2 + \theta p_1) - c(d_1 + d_2), \quad (25)$$

从而可得, 公平偏好制造商的效用函数为

$$u_m = w(\phi a - p_1 + \theta p_2 - \xi) + L + p_2((1 - \phi)a - p_2 + \theta p_1) - c(d_1 + d_2) - \beta(\gamma\pi_r - \pi_m). \quad (26)$$

采用逆推法, 并记上标 B 为公平偏好的制造商预付款融资模式情形. 可得下面结论.

**定理4** 预付款融资模式下, 双渠道供应链各主体的最优决策分别为

$$p_1^B = \frac{(2c\theta e^{\lambda M_1}(1 + \beta + \beta\gamma) + 2(1 + \beta)(\phi a + c - c\theta) - \beta c\theta\gamma)/(4(1 + \beta)) + a(2\theta + \phi - 2\theta\phi + \phi\theta^2)}{4(1 - \theta^2)} + \frac{\xi_3}{4(1 + \beta)(2\beta + \beta\gamma + 2)}, \quad (27)$$

$$p_2^B = a(1 - \phi + \theta\phi)/(2(1 - \theta^2)) + c((1 + \beta + \beta\gamma)e^{\lambda M_1} - \beta\gamma)/(2(1 + \beta)), \quad (28)$$

$$w^B = \frac{c(2\beta - \theta - \beta\theta + \beta\theta\gamma + 2)e^{\lambda M_1}}{2(1 + \beta)} + \frac{\xi_3}{2(1 + \beta)(2\beta + \beta\gamma + 2)} + \frac{a(\theta + \phi - \theta\phi)}{2(1 - \theta^2)}, \quad (29)$$

$$w_1^B = \frac{c(2\beta - \theta - \beta\theta + \beta\theta\gamma + 2)}{2(1 + \beta)} + \frac{\xi_3}{2(1 + \beta)(2\beta + \beta\gamma + 2)e^{\lambda M_1}} + \frac{a(\theta + \phi - \theta\phi)}{2(1 - \theta^2)e^{\lambda M_1}}, \quad (30)$$

其中  $\xi_3 = \beta\gamma(1 + \beta)(\phi a - 2c) - 2c(1 - \theta)(1 + \beta)^2 - c\theta\gamma^2\beta^2$ .

从而, 易得制造商和零售商需求和收益分别为

$$d_1^B = \frac{(1 + \beta)(\phi a - c + c\theta)}{2(2\beta + \beta\gamma + 2)}, \quad (31)$$

$$d_2^B = \frac{a(2 - 2\phi - \phi\theta)}{4} - \frac{\xi_4}{4(1 + \beta)} + \frac{\theta\xi_3}{4(1 + \beta)(2\beta + \beta\gamma + 2)}, \quad (32)$$

$$\pi_r^B = \frac{(\phi a - c + c\theta)((2\beta + \beta\gamma + 2)\xi_5 - \xi_3)}{8(2\beta + \beta\gamma + 2)^2} + \frac{c(e^{\lambda M_1} - 1)(\xi_6 + \xi_7)}{2(1 + \beta)(2\beta + \beta\gamma + 2)} - B_0(e^{\lambda M_1} - 1), \quad (33)$$

$$u_m^B = \frac{2\xi_8 - \xi_{11}}{8(1 - \theta^2)(2 + 2\beta + \beta\gamma)^2} + \frac{2(1 - \theta^2)\xi_9 + \xi_{10}}{8(1 - \theta^2)(1 + \beta)(2 + 2\beta + \beta\gamma)} + \quad (34)$$

$$B_0(1 + \beta + \beta\gamma)(e^{\lambda M_1} - 1), \quad (35)$$

其中

$$\xi_4 = 2ce^{\lambda M_1}(1 + \beta + \beta\gamma)(1 - \theta^2) - 2\theta(1 + \beta)(\phi a + c - c\theta) - \beta c\gamma(2 - \theta^2),$$

$$\xi_5 = \phi a(1 + \beta) - 2c(1 + \beta)(1 - \theta)(2e^{\lambda M_1} - 1) - \beta c\theta\gamma,$$

$$\xi_6 = c(1 - \theta^2)(\gamma^2\beta^2 - (2\beta + \beta\gamma + 2)(\beta + \beta\gamma + 1)e^{\lambda M_1}) - a\phi(\beta + 1)(1 - \theta)(\beta + \beta\gamma + 1),$$

$$\xi_7 = \beta(\beta + 1)(a + 2c - 2c\theta^2)\gamma + (\beta + 1)^2(2a + 2c\theta - c\theta^2 - c),$$

$$\xi_8 = (1 + \beta + \beta\gamma)(\phi a - c + c\theta)((2 + 2\beta + \beta\gamma)((c(2\beta - \theta - \beta\theta + \beta\theta\gamma + 2)(1 - \theta^2)e^{\lambda M_1} + a(\theta + \phi - \theta\phi)(1 + \beta) + \xi_3(1 - \theta^2)),$$

$$\xi_9 = c(\beta\gamma - (1 + \beta + \beta\gamma)e^{\lambda M_1})\left(2(1 + \beta)^2(\phi a - c + c\theta) + (2 + 2\beta + \beta\gamma) \times (a(2 - 2\phi - \phi\theta)(1 + \beta) - \xi_4) + \theta\xi_3\right),$$

$$\xi_{10} = (a(1 - \phi + \theta\phi)(1 + \beta) + c(1 - \theta^2)((1 + \beta + \beta\gamma)e^{\lambda M_1} - \beta\gamma))((2 + 2\beta + \beta\gamma) \times (a(2 - 2\phi - \phi\theta)(1 + \beta) - \xi_4) + \theta\xi_3),$$

$$\xi_{11} = \beta\gamma(\phi a - c + c\theta)(2 + 2\beta + \beta\gamma)(1 - \theta^2)\left(2ce^{\lambda M_1}(1 + \beta + \beta\gamma) + 2(1 + \beta)(\phi a + c - c\theta) - \beta c\theta\gamma\right) + a(2\theta + \phi - 2\theta\phi + \phi\theta^2)(2 + 2\beta + \beta\gamma)(1 + \beta) + \xi_3(1 - \theta^2).$$

下面进一步分析制造商存在资金约束并通过预付款模式进行融资时, 其公平偏好程度对双渠道产品定价和需求的影响, 易得下面结论.

**性质 3** 1)  $\frac{\partial p_1^B}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial p_2^B}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial w^B}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial w_1^B}{\partial \beta} > 0.$

2) 当  $a \leq a^\#$ , 始终有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} < 0$ . 当  $a^\# < a < a^\wedge$ , 如果  $\beta < \beta^\#$ , 有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} > 0$ , 否则  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} < 0$ .

当  $a \geq a^\wedge$  时, 始终有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial d_1^B}{\partial \beta} < 0, \frac{\partial (d_1^B + d_2^B)}{\partial \beta} < 0.$

**证明** 见附录.

由性质 3 可得, 预付款融资模式下, 零售商渠道产品定价以及批发价均与制造商公平偏好程度均成正比. 随着公平偏好程度的增大, 零售商渠道产品定价以及批发价不断提高, 零售商渠道需求以及双渠道总需求不断下降, 这与无资金约束以及金融机构借贷融资情形下规律一致, 因而就不再加以详细论述. 与上述情形不同的是, 预付款融资模式下, 公平偏好的制造商还会通过提高网络渠道产品售价的方式将部分预

付款融资成本转嫁给下游消费者,此时随着制造商公平偏好程度的增大,其网络渠道产品售价也不断提高.而制造商网络渠道需求的增减与其公平偏好程度大小以及市场潜在需求规模相关,当市场潜在需求规模相对较小时( $a \leq a^\#$ ),制造商网络渠道需求随着其公平偏好程度的增大而不断减少;当市场潜在需求规模较大时( $a \geq a^\wedge$ ),制造商网络渠道需求随着其公平偏好程度的增大而不断增加;当市场潜在需求规模适中时( $a^\# < a < a^\wedge$ ),如果制造商公平偏好程度相对较小( $\beta < \beta^\#$ ),其网络渠道需求随着公平偏好程度的增大而不断增加,否则其网络渠道需求随着公平偏好程度的增大而不断减少.

对比双渠道制造商无资金约束情形与资金约束下其预付款融资情形,可得下面结论.

**定理 5** 1)  $w^0 < w^B, p_1^0 < p_1^B, p_2^0 < p_2^B, p_1^B - p_1^0 < p_2^B - p_2^0$ ;

2)  $d_1^0 = d_1^B, d_2^0 > d_2^B, d_1^0 + d_2^0 > d_1^B + d_2^B$ ;

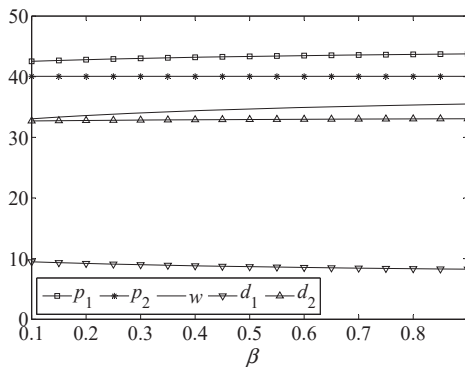
3) 当  $a \leq a^\wedge$  时,始终有  $\pi_r^B < \pi_r^0, u_m^B > u_m^0$ ; 当  $a^\wedge < a < a^\#\#$  时,始终有  $\pi_r^B < \pi_r^0, u_m^B < u_m^0$ ; 当  $a \geq a^\#\#$  时,始终有  $\pi_r^B > \pi_r^0, u_m^B < u_m^0$ .

**证明** 见附录.

由定理 5 可得,制造商存在资金约束并通过零售商进行预付款融资时,制造商产品批发价格、网络渠道价格以及零售商实体渠道价格均高于无资金约束情形时其价格,即此时制造商资金约束所引起的额外的预付款融资成本转嫁给了下游顾客.制造商网络渠道需求以及供应链总需求下降,而零售商渠道需求与制造商无资金约束时的需求相同,即预付款融资下,尽管双渠道价格均有所增加,而网络渠道价格增加的更多( $p_2^B - p_2^0 > p_1^B - p_1^0$ ),部分需求转移到了实体渠道,弥补了实体渠道因价格增加而减少的需求.进一步,由定理 5 的 3) 可得,制造商通过预付款融资不仅解决了自身资金不足难题,在一定的市场潜在需求规模下,零售商或制造商会获得高于无资金约束时其所得的收益.

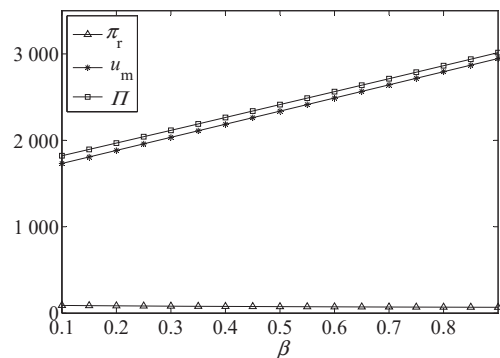
### 5 数值分析

**例 1** 本节通过数值分析来验证论文的有关结论,并进一步详细分析不同情形下制造商公平偏好程度对双渠道供应链各主体以及供应链总收益的影响.具体模型参数设置如下:  $B_0 = 200, a = 100, \theta = 0.3, \phi = 0.4, \gamma = 0.8, I_b = 0.04, M_0 = 0.5, M_1 = 0.5, \lambda = 0.2$ .



(a) 制造商公平偏好系数  $\beta$  对零售渠道价格  $p_1$ , 网络渠道价格  $p_2$ , 产品批发价格  $w$ , 零售渠道需求  $d_1$  和网络渠道需求  $d_2$  的影响

(a) The effect of manufacturer equity preference coefficient on retail channel price  $p_1$ , network channel price  $p_2$  wholesale price  $w$ , retail channel demand  $d_1$  and network channel demand  $d_2$



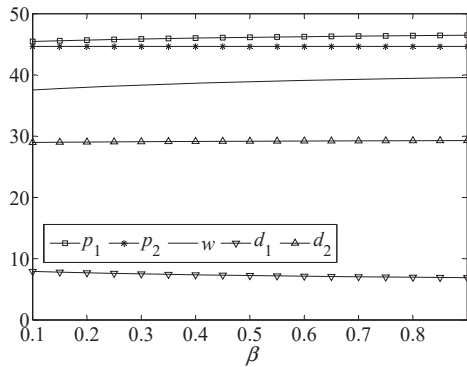
(b) 制造商公平偏好系数  $\beta$  对零售商收益  $\pi_r$ , 制造商收益  $u_m$ , 双渠道供应链总收益  $II$  的影响

(b) The effect of manufacturer equity preference coefficient on retailer's earnings  $\pi_r$ , manufacturer's earnings and total revenue of dual channel supply chain  $II$

图 1 无资金约束情形下, 制造商公平偏好对博弈均衡的影响( $c = 1$ )

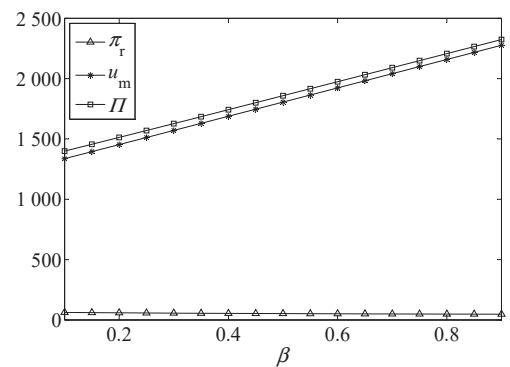
Fig. 1 The effect of fairness preference on game equilibrium without capital constraints ( $c = 1$ )





(a) 制造商公平偏好系数  $\beta$  对零售渠道价格  $p_1$ , 网络渠道价格  $p_2$ , 产品批发价格  $w$ , 零售渠道需求  $d_1$  和网络渠道需求  $d_2$  的影响

(a) The effect of manufacturer equity preference coefficient on retail channel price  $p_1$ , network channel price  $p_2$  wholesale price  $w$ , retail channel demand  $d_1$  and network channel demand  $d_2$

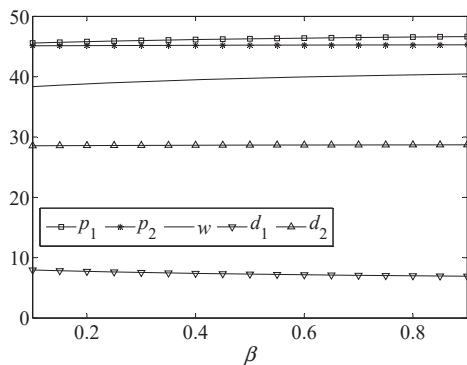


(b) 制造商公平偏好系数  $\beta$  对零售商收益  $\pi_r$ , 制造商收益  $u_m$ , 双渠道供应链总收益  $II$  的影响

(b) The effect of manufacturer equity preference coefficient on retailer's earnings  $\pi_r$ , manufacturer's earnings and total revenue of dual channel supply chain  $II$

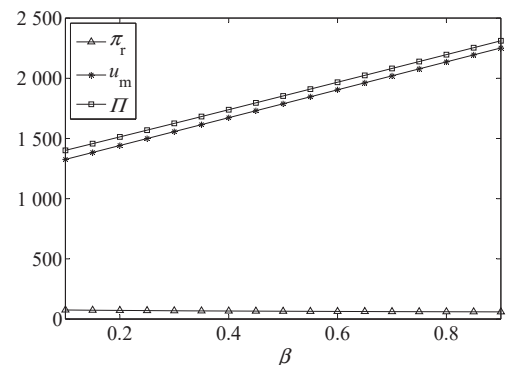
图 2 制造商外部金融机构借贷情形下, 其公平偏好对博弈均衡的影响( $c=10$ )

Fig. 2 The effect of fairness preference on game equilibrium under the loan-payment financing model ( $c=10$ )



(a) 制造商公平偏好系数  $\beta$  对零售渠道价格  $p_1$ , 网络渠道价格  $p_2$ , 产品批发价格  $w$ , 零售渠道需求  $d_1$  和网络渠道需求  $d_2$  的影响

(a) The effect of manufacturer equity preference coefficient on retail channel price  $p_1$ , network channel price  $p_2$  wholesale price  $w$ , retail channel demand  $d_1$  and network channel demand  $d_2$



(b) 制造商公平偏好系数  $\beta$  对零售商收益  $\pi_r$ , 制造商收益  $u_m$ , 双渠道供应链总收益  $II$  的影响

(b) The effect of manufacturer equity preference coefficient on retailer's earnings  $\pi_r$ , manufacturer's earnings and total revenue of dual channel supply chain  $II$

图 3 制造商预付款融资情形下, 其公平偏好对博弈均衡的影响( $c = 10$ )

Fig. 3 The effect of fairness preference on game equilibrium under the prepayment financing model ( $c = 10$ )

由图 1~图 3 可以看出, 在不同的情形下, 随着制造商公平偏好系数的增大, 双渠道供应链各主体运作决策、需求变化规律分别与文中性质 1~性质 3 一致, 因而就不再加以详细解释。进一步, 由数值例子可以得出, 在不同的情形下, 随着制造商公平偏好系数的增大, 零售商收益均不断减少, 而制造商和供应链总收益不断增加, 即制造商公平偏好的增强对零售商带来消极的影响, 制造商通过提高批发价格以及网络渠道定价策略的设计, 赚取了零售商和下游消费者更多的收益, 最终制造商和供应链总收益的增加由零售商和下游消费者买单。

**例 2** 本部分进一步分析制造商存在资金约束且其预付款时间长度敏感系数不断变化时, 零售商、制造商以及供应链总收益在不同模式下(金融机构借贷融资模式和预付款融资模式)的变化, 探讨各主体对不同

融资模式的选择偏好. 具体模型参数设置如下:  $B_0 = 200, a = 100, c = 10, \theta = 0.3, \phi = 0.4, \gamma = 0.8, I_b = 0.04, M_0 = 0.5, M_1 = 0.5, \beta = 0.5$ .

表1 不同融资模式下, 供应链各主体收益以及总收益

Table 1 The profits under different financing models

参数	不同融资模式下供应链各主体收益以及总收益					
	$\pi_r^A$	$u_m^A$	$\pi^A$	$\pi_r^B$	$u_m^B$	$\pi^B$
$\lambda = 0.01$	52.5	1 805.6	1 858.1	53.6	1 809.5	1 863.1
$\lambda = 0.11$	52.5	1 805.6	1 858.1	59.3	1 798.4	1 857.7
$\lambda = 0.21$	52.5	1 805.6	1 858.1	65.0	1 787.1	1 852.1
$\lambda = 0.31$	52.5	1 805.6	1 858.1	70.5	1 775.6	1 846.1

由表1可得, 制造商存在资金约束情形下, 当其预付款时间长度敏感系数较小时( $\lambda = 0.01$ ), 制造商在预付款融资模式下所得收益以及供应链总收益均高于其外部金融机构融资情形下的收益. 此时, 制造商会更加偏爱预付款融资模式. 但当制造商预付款时间长度敏感系数相对较大时( $\lambda \geq 0.11$ ), 制造商在预付款融资模式下所得收益以及供应链总收益均低于金融机构借贷情形下的收益. 此时, 制造商会倾向选择金融机构借贷融资模式. 而对零售商来说制造商预付款融资模式为其带来了更多的批发价格折扣优惠, 因此其更倾向选择制造商预付款融资模式.

## 6 结束语

本文针对具有公平偏好特性的双渠道制造商与传统零售商组成的供应链, 研究制造商存在资金约束并分别通过金融机构借贷融资和预付款融资两种模式解决自身资金困境时, 双渠道供应链各主体最优运作策略和收益, 并分析了制造商公平偏好程度对供应链各主体博弈策略的影响, 给出了不同条件下制造商对两种融资模式的选择偏好. 进一步的研究可以拓展到信息不对称框架以及渠道成员间存在不同风险偏好情形来讨论.

### 参考文献:

- [1] 肖 肖, 骆建文. 面向资金约束制造商的双渠道供应链融资策略. 系统管理学报, 2016, 25(1): 121–128.  
Xiao X, Luo J W. Financing strategies for capital constrained manufacturer in the dual-channel supply chain. Journal of Systems & Management, 2016, 25(1): 121–128. (in Chinese)
- [2] Bolton L E, Warlop L, Alba J W. Consumer perceptions of price (un)fairness. Journal of Consumer Research, 2003, 29(4): 474–491.
- [3] Xia L, Monroe K B, Cox J L. The price is unfair! A conceptual framework of price fairness perceptions. Journal of Marketing, 2004, 68(4): 1–15.
- [4] 邢 伟, 汪寿阳, 赵秋红, 等. 考虑渠道公平的双渠道供应链均衡策略. 系统工程理论与实践, 2011, 31(7): 1249–1256.  
Xing W, Wang S Y, Zhao Q H, et al. Impact of fairness on strategies in dual-channel supply chain. Systems Engineering: Theory & Practice, 2011, 31(7): 1249–1256. (in Chinese)
- [5] 浦徐进, 诸葛瑞杰, 范旺达. 考虑横向和纵向公平的双渠道供应链均衡策略. 系统工程学报, 2014, 29(4): 527–536.  
Pu X J, ZhuGe R J, Fan W D. Impact of horizontal fairness and vertical fairness on strategies in dual-channel supply chain. Journal of Systems Engineering, 2014, 29 (4): 527–536. (in Chinese)
- [6] Li Q H, Li B. Dual-channel supply chain equilibrium problems regarding retail services and fairness concerns. Applied Mathematical Modelling, 2016, 40(15/16): 7349–7367.
- [7] Zhang F, Ma J H. Research on the complex features about a dual-channel supply chain with a fair caring retailer. Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation, 2016, 30(1): 151–167.
- [8] Wei G X, Lin Q. Optimal pricing strategies and computer simulation of dcsc with fairness preference and risk-aversion members. Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering, 2013, 11(12): 7640–7648.

- [9] Wei G X, Lin Q. Dual-channel supply chain coordination with new buy-back contract based on fairness preference theory. *Information Technology Journal*, 2014, 13(6): 1094–1101.
- [10] 曲 优, 关志民, 邱若臻, 等. 公平关切与损失规避对混合双渠道供应链订货策略的影响. *管理学报*, 2017, 14(1): 129–138.  
Qu Y, Guan Z M, Qiu R Z, et al. Impact of members' fairness preference and loss-averse on order strategy in hybrid dual-channel supply chain. *Chinese Journal of Management*, 2017, 14(1): 129–138. (in Chinese)
- [11] 何丽红, 李政道. 考虑零售商公平关切的双渠道供应链合作广告决策分析. *工业工程与管理*, 2017, 22(4): 107–114.  
He L H, Li Z D. Analysis of cooperative advertising strategy in a dual-channel supply chain with a fairness concern of the retailer. *Chinese Journal of Management*, 2017, 22(4): 107–114. (in Chinese)
- [12] Li B, Hou P W, Li Q H. Cooperative advertising in a dual-channel supply chain with a fairness concern of the manufacturer. *IMA Journal of Management Mathematics*, 2017, 28(2): 259–277.
- [13] 邹清明, 叶广宇. 考虑公平关切的双向双渠道闭环供应链的定价决策. *系统管理学报*, 2018, 27(2): 281–290.  
Zhou Q M, Ye G Y. Price-making decision in a two-way dual-channel closed-loop supply chain considering fairness concerns. *Journal of Systems & Management*, 2018, 27(2): 281–290. (in Chinese)
- [14] 张小娟, 王 勇. 零售商资金约束的双渠道供应链决策. *控制与决策*, 2014, 29(2): 299–306.  
Zhang X J, Wang Y. Dual-channel supply chain decision with retailer's capital constraint. *Control and Decision*, 2014, 29(2): 299–306. (in Chinese)
- [15] 郭金森, 周永务, 嵇 凯. 带有资金约束的风险厌恶零售商的双渠道供应链运作策略. *运筹与管理*, 2017, 26(4): 28–36.  
Guo J S, Zhou Y W, Ji K. Dual-channel supply chain decision with a risk-averse retailer under the capital constraint. *Operations Research and Management Science*, 2017, 26(4): 28–36. (in Chinese)
- [16] 郭金森, 周永务, 钟远光. 基于资金约束零售商的双渠道制造商贸易信贷与提前订货折扣契约选择策略研究. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(5): 1254–1264.  
Guo J S, Zhou Y W, Zhong Y G. The selection of trade credit and advance booking discount contract for dual channel manufacturer with the retailer's capital constraint. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2017, 37(5): 1254–1264. (in Chinese)
- [17] 吴 云. 零售商资金约束的双渠道供应链库存策略研究: 以短周期产品为例. 东南大学, 2014.  
Wu Y. Dual-channel Supply Chain Inventory Strategy Rresearch Based on Capital Constrained Retailers: Instance by Short Life-cycle Products. Southeast University, 2014. (in Chinese)
- [18] Fan H, Zhou Y, Wang Y. Pricing and inventory strategy of dual-channel supply chain under random demand and retailer's capital constraint. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 2015, 9(1): 30–46.
- [19] 李新军, 陈亭亭. 供应商资金约束下双渠道供应链融资选择与定价策略: 基于期望效用视角的分析. *商业研究*, 2017, (7): 24–33.  
Li X J, Chen T T. Financing choice and pricing strategy of dual-channel supply chain under the restriction of supplier's funds: An analysis based on the perspective of expected utility. *Commercial Research*, 2017, (7): 24–33. (in Chinese)
- [20] Mukhopadhyay S K, Zhu X W, Yue X H. Optimal contract design for mixed channels under information asymmetry. *Production and Operations Management*, 2008, 17(6): 641–650.
- [21] Zhou Y W, Guo J S, Zhou W H. Pricing/service strategies for a dual-channel supply chain with free riding and service-cost sharing. *International Journal of Production Economics*, 2018, 196: 198–210.
- [22] Cui T H, Raju J S, Zhang Z J. Fairness and channel coordination. *Management Science*, 2007, 53(8): 1303–1314.
- [23] 王 磊, 戴更新, 孙 浩. 零售商提供服务且具有公平偏好的供应链博弈研究. *系统工程*, 2015, 33(6): 1–9.  
Wang L, Dai G X, Sun H. Game analysis on a supply chain with retailers providing service and fair concern. *Systems Engineering*, 2015, 33(6): 1–9. (in Chinese)
- [24] 钟远光, 周永务, 郭金森. 基于供应商视角的提前订货协调研究. *运筹与管理*, 2011, 20(6): 33–38.  
Zhong Y G, Zhou Y W, Guo J S. Supply chain coordination model with advance booking discounts program. *Operations Research and Management Science*, 2011, 20(6): 33–38. (in Chinese)

#### 作者简介:

郭金森(1986—), 男, 河南新乡人, 博士, 讲师, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: 2015076@htu.edu.cn;

周永务(1964—), 男, 安徽庐江人, 博士, 教授, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: zyw\_666@hotmail.com.

## 附录

## 定理1的证明

由式(3)易得,当制造商决策给定时,零售商的收益函数是关于  $p_1$  的凹函数,因此可得

$$p_1^0 = \frac{\phi a + \theta p_2 + w}{2}. \quad (\text{A.1})$$

将式(A.1)代入式(5)可得制造商的效用函数为

$$u_m = (p_2 - c)(1 + \beta)(a(1 - \phi) - p_2 + \theta(w + \phi a + \theta p_2)/2) + (w - c)(1 + \beta)(\phi a + \theta p_2 - w)/2 - \beta\gamma(\phi a + \theta p_2 - w)^2/4. \quad (\text{A.2})$$

由式(A.2)易得,制造商效用函数  $u_m$  关于  $(p_2, w)$  的海塞矩阵是负定的,即  $u_m$  是关于  $(p_2, w)$  的联合凹函数,可得制造商最优的网络渠道产品定价和批发价,并将其分别代入各主体需求和收益函数. 证毕.

## 定理2的证明

由式(13)易得,当制造商决策给定时,零售商收益函数是关于  $p_1$  的凹函数,因此可得  $p_1^A = (\phi a + \theta p_2 + w)/2$ .

将式(A.3)代入式(15)易得制造商的效用函数为

$$u_m = \frac{\beta\gamma(\phi a + \theta p_2 + w)^2}{4} + \frac{(\phi a + \theta p_2 + w)\psi_1}{2} + (\phi a + \theta p_2)(1 + \beta + \beta\gamma)w - (1 + \beta)\psi_2, \quad (\text{A.4})$$

其中  $\psi_1 = I_b M_0 c(1 + \beta)(1 - \theta) + (1 + \beta)(\theta p_2 + c - w - c\theta) - \beta\gamma(\phi a + w + \theta p_2)$ ,

$$\psi_2 = p_2^2 + p_2(\phi a + c\theta - a - c) + ac - I_b M_0 B_0 + I_b M_0 c(a - p_2 + \theta p_2).$$

由式(A.4)易得,制造商效用函数  $u_m$  关于  $(p_2, w)$  的海塞矩阵是负定的,即  $u_m$  是关于  $(p_2, w)$  的联合凹函数,可得制造商最优的网络渠道产品定价和批发价,并将其分别代入各主体需求和收益函数. 证毕.

## 定理4的证明

由式(23)易得,当制造商决策给定时,零售商收益函数是关于  $p_1$  的凹函数,因此可得

$$p_1^B = \frac{\phi a + \theta p_2 + w - c(1 - \theta)(e^{\lambda M_1} - 1)}{2}. \quad (\text{A.5})$$

将式(A.5)代入式(25)易得制造商的效用函数为

$$u_m = B_0(1 + \beta + \beta\gamma)(e^{\lambda M_1} - 1) - (ce^{\lambda M_1}(1 + \beta + \beta\gamma) - \beta c\gamma)(a - (1 - \theta)p_2 - (1 - \theta)\xi_1/2) + p_2(1 + \beta)((1 - \phi)a - p_2 + \theta\xi_1/2) + 2w(1 + \beta + \beta\gamma)\xi_2 - b\gamma\xi_1\xi_2/4, \quad (\text{A.6})$$

其中  $\xi_1 = \phi a + \theta p_2 + w - c(1 - \theta)(e^{\lambda M_1} - 1)$ ,  $\xi_2 = \phi a + \theta p_2 - w + c(1 - \theta)(e^{\lambda M_1} - 1)$ .

由式(A.6)易得,制造商效用函数  $u_m$  关于  $(p_2, w)$  的海塞矩阵是负定的,即  $u_m$  是关于  $(p_2, w)$  的联合凹函数,可得制造商最优的网络渠道产品定价和批发价,并将其分别代入各主体需求和收益函数. 证毕.

## 定理3中3的证明

因为  $u_m^A - u_m^0 = \frac{I_b M_0(1 + \beta)(4B_0 - 2ac + c^2(1 - \theta^2)(2 + I_b M_0) + 2ac\phi(1 - \theta))}{4} - \frac{I_b M_0 c(1 - \theta)(1 + \beta)^2(2c\theta - 2c + 2\phi a - I_b M_0 c + I_b M_0 c\theta)}{4(2\beta + \beta\gamma + 2)}$ ,

采用分析法,如果  $u_m^0 > u_m^A$ , 则始终有

$$\frac{I_b M_0(1 + \beta)(4B_0 - 2ac + c^2(1 - \theta^2)(2 + I_b M_0) + 2ac\phi(1 - \theta))}{4} < \frac{I_b M_0 c(1 - \theta)(1 + \beta)^2(2c\theta - 2c + 2\phi a - I_b M_0 c + I_b M_0 c\theta)}{4(2\beta + \beta\gamma + 2)},$$

此时,易得制造商初始资金规模  $B_0$  需要满足下列不等式

$$B_0 < \frac{c(1 - \theta)(1 + \beta)(2c\theta - 2c + 2\phi a - I_b M_0 c + I_b M_0 c\theta)}{4(2\beta + \beta\gamma + 2)} + \frac{2ac - c^2(1 - \theta^2)(2 + I_b M_0) - 2ac\phi(1 - \theta)}{4} = B_0^\#.$$

因制造商初始资金  $B_0$  不足以满足自身生产需要( $B_0 < c(d_1 + d_2)$ ), 即始终有

$$B_0 < c(d_1 + d_2) = c \left( \frac{(1 + \beta)(1 - \theta)(c\theta - c + \phi a - I_b M_0 c + I_b M_0 c\theta)}{2(2\beta + \beta\gamma + 2)} + \frac{a(1 - \phi + \theta\phi) - c(1 + I_b M_0)(1 - \theta^2)}{2} \right) = B_0^\wedge,$$

因为  $B_0^\# - B_0^\wedge = \frac{I_b M_0 c^2 (1-\theta) (3\beta + \theta + \beta\theta + \beta\gamma + \beta\theta\gamma + 3)}{4(2\beta + \beta\gamma + 2)} > 0$ , 即始终有  $B_0^\wedge < B_0^\#$ . 易得, 制造商初始资金规模  $B_0$  始终满足不等式  $B_0 < B_0^\wedge < B_0^\#$ . 从而可得  $u_m^0 > u_m^A$ . 证毕.

**性质 3 中 2) 的证明**

因为  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} = \frac{\gamma\theta(\phi a - c + c\theta)}{2(2 + 2\beta + \beta\gamma)^2} - \frac{c\gamma(1-\theta^2)(e^{\lambda M_1} - 1)}{2(1+\beta)^2}$ , 从而可得,

当  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} > 0$  时, 需要满足  $\Psi - 2 > \frac{\beta\gamma}{1+\beta}$ , 其中  $\Psi = \sqrt{\frac{\theta(\phi a - c + c\theta)}{c(1-\theta^2)(e^{\lambda M_1} - 1)}}$ . 从而可得,

i) 当  $a \leq \frac{c(1-\theta)(4(1+\theta)(e^{\lambda M_1} - 1) + \theta)}{\theta\phi} = a^\#$  时, 恒有  $\Psi \leq 2$ , 始终有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} < 0$ .

ii) 当  $a > a^\#$  时, 有  $\Psi > 2$ , 此时当  $\Psi - 2 > \frac{\beta\gamma}{1+\beta}$  时, 有  $\beta(\gamma + 2 - \Psi) < \Psi - 2$ , 则当

$$a > \frac{c(1-\theta)((1+\theta)(e^{\lambda M_1} - 1)(\gamma + 2)^2 + \theta)}{\theta\phi} = a^\wedge$$

时, 恒有  $\Psi \geq \gamma + 2$ , 此时恒有  $\beta(\gamma + 2 - \Psi) < \Psi - 2$ , 即恒有  $\Psi - 2 > \frac{\beta\gamma}{1+\beta}$ , 从而始终有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} > 0$ ; 当  $a^\# < a < a^\wedge$  时, 恒有  $\Psi < \gamma + 2$ , 此时可得, 当  $\beta < \frac{\Psi - 2}{\gamma + 2 - \Psi} = \beta^\#$  时, 有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} > 0$ , 否则  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} < 0$ .

综上分析可得, 当  $a \leq a^\#$  时, 始终有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} < 0$ ; 当  $a^\# < a < a^\wedge$  时, 如果  $\beta < \beta^\#$ , 那么  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} > 0$ , 否则  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} < 0$ ; 当  $a \geq a^\wedge$  时, 始终有  $\frac{\partial d_2^B}{\partial \beta} > 0$ . 证毕.

**定理 5 中 3) 的证明**

i) 因为  $\pi_r^B - \pi_r^0 = -\frac{(e^{\lambda M_1} - 1)(1+\beta)(2B_0 - ac(1-\phi + \theta\phi) + c^2 e^{\lambda M_1}(1-\theta^2)) + c^2 \gamma \beta (e^{\lambda M_1} - 1)^2 (1-\theta^2)}{2(1+\beta)}$ ,

易得, 当  $a \geq \frac{2(1+\beta)B_0 + c^2(1-\theta^2)(e^{\lambda M_1}(1+\beta + \gamma\beta) - \gamma\beta)}{c(1+\beta)(1-\phi + \theta\phi)} = a^{\#\#}$  时, 有  $\pi_r^B \geq \pi_r^0$ , 否则  $\pi_r^B < \pi_r^0$ .

ii) 因为  $u_m^B - u_m^0 = (e^{\lambda M_1} - 1)(1+\beta + \beta\gamma) \left( (1+\beta)(4B_0 + c^2(1+e^{\lambda M_1})(1-\theta^2) - 2ac(1-\phi + \theta\phi)) + c^2 \gamma \beta (e^{\lambda M_1} - 1)(1-\theta^2) \right) / (4(1+\beta))$ ,

易得, 当  $a \leq \frac{4(1+\beta)B_0 + c^2(1-\theta^2)(e^{\lambda M_1}(1+\beta + \gamma\beta) + 1 + \beta - \gamma\beta)}{2c(1-\phi + \theta\phi)(1+\beta)} = a^{\wedge\wedge}$  时, 有  $u_m^B \geq u_m^0$ , 否则  $u_m^B < u_m^0$ .

同时, 因为始终有  $a^{\wedge\wedge} < a^{\#\#}$ .

证毕.