

制造商资金约束的双渠道供应链定价与融资决策

周永务, 张 雄, 李 璐

(华南理工大学工商管理学院, 广东 广州 510640)

摘要: 考虑资金受限的双渠道制造商存在风险厌恶行为, 分别在制造商不融资, 提前支付, 银行贷款以及组合融资四种模式下, 建立制造商-Stackelberg 博弈定价模型. 采用逆向求解法得到四种模式下供应链双方的均衡定价策略, 进而探究制造商的融资策略. 研究表明, 制造商进行融资并采取单一的融资模式更有利. 具体来说, 当提前支付折扣因子大于银行利率时, 制造商倾向于选择提前支付融资模式. 反之, 制造商的融资决策会受到多个因素的综合影响. 最后, 当拓展到零售商也风险厌恶且其风险厌恶信息私有时, 有关制造商风险厌恶程度对其融资模式选择决策的影响的结论依然成立.

关键词: 双渠道; 资金约束; 风险厌恶; 提前支付

中图分类号: F253.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2020)05-0670-19

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.05.009

Dual-channel supply chain pricing and financing decision with manufacturer's capital constraint

Zhou Yongwu, Zhang Xiong, Li Lu

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

Abstract: Considering the risk averse behavior of the dual-channel manufacturer with capital constraint, the manufacturer-Stackelberg game pricing model is established under the four modes of manufacturer non-financing, prepayment financing, bank financing and portfolio financing. The backward induction is used to obtain the equilibrium pricing strategies of the supply chain in the four modes, and then the financing strategy of the manufacturer is explored. Results show that the manufacturer is better off financing and adopting a single financing strategy. More concretely, when the prepayment discount factor is larger than the bank loan interest rate, the manufacturer tends to choose the prepayment financing strategy. Otherwise, the manufacturer's financing decisions will be affected by a combination of factors. Finally, when the retailer is also risk averse and its risk averse information is private, the conclusion about the influence of the manufacturer's risk averse level on its financing strategy selection decision is still valid.

Key words: dual channel; capital constraint; risk averse; prepayment financing

1 引 言

信息技术的快速发展帮助越来越多的制造商在传统零售渠道的基础上, 建立网上直销渠道销售产品^[1]. 早在20世纪初美国就有大约42%的制造商通过网上直接销售产品给顾客^[2]. 然而, 在实际运作中, 随着制造商同时开展线上线下双渠道的业务, 各种人力物力成本的投入, 使得制造企业面临更大的资金压力. 大量

收稿日期: 2018-05-12; 修订日期: 2019-02-18.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71520107001; 71871097)

双渠道制造商企业由于资金短缺问题面临破产风险, 如 OCZ¹, 无人机制造商 Lily²和夏普³等. 为了解决其资金短缺问题, 目前实践中常用的两种融资方式是提前支付融资和传统的银行贷款融资. 提前支付融资指制造商和零售商签订协议, 要求零售商在货物生产前支付部分或全部订单金额. 早于 2005 年, 就有苹果、永乐等公司采用过提前付款融资方式. 而格力、华为和美的等双渠道企业也都采用过提前支付的融资方式^[3,4]. 然而, 现实中, 制造商该选择何种融资方式, 一直没有得到有效解答.

同时, 网络直销渠道的建立使得制造商不仅是供应商还是零售商的直接竞争者, 直销渠道和零售渠道的竞争会加剧制造商和零售商的贸易冲突, 制造商和零售商形成既竞争又合作的关系, 整个供应链决策环境更加复杂. 这使得供应链企业面临着更多的不确定性风险因素. 当企业面对不确定风险因素时, 供应链成员往往表现出风险厌恶行为^[5-8]. 很多企业尤其是中小企业为了规避风险宁愿牺牲部分利益, 特别当存在资金约束时, 更加会加剧供应链中决策者的风险厌恶行为. 其风险厌恶行为对于企业的定价、库存、融资等决策都会产生重要影响^[9,10]. 并且供应链成员的风险厌恶程度的信息一般为私有信息, 考虑制造商与零售商风险厌恶信息的不对称更加符合实际. 因此, 在上述背景下, 制造商如何选择最优的融资方式以及双渠道供应链企业如何制定最优的价格, 是现实企业亟需解决的问题. 如何有效解决制造商的资金短缺问题? 企业的风险厌恶行为和风险厌恶信息不对称等因素, 是否会影响制造商的最优融资方式和企业的最优定价? 以及如何影响? 上述问题的研究不仅是对目前有关双渠道融资研究的深化, 也能够给企业提供现实指导.

与本文相关的文献主要有两个方面: 考虑资金约束的融资决策和考虑企业风险态度的订货/定价决策. 首先, 考虑供应链企业资金约束的融资决策文献, 大多数是在单渠道的背景下进行研究的. 目前讨论的融资方式主要分两类: 内部融资和外部融资. 内部融资是指由供应链内部企业以特定形式提供的融资服务, 包括上游企业要求下游企业提前支付, 或上游企业允许下游企业延期支付等. 现有研究较多考虑的是供应商允许下游企业延期付款的融资方式, 这些文献最早是基于 EOQ 模型来研究延期支付对定价/生产决策的影响. 如 Goyal^[11]给出了存在延期付款时的 EOQ 模型; 随后的一系列文章在此基础上进行了进一步拓展^[12-15]. Tunca 等^[16]分析了零售商买方中介融资和商业贷款融资两种方式, 指出买方中介融资能够显著提高渠道绩效, 同时也能使供应链参与者同时受益. 也有少量的研究考虑上游企业存在资金约束, 比如, Thangam^[17]研究了预付款和交易信用下供应链中易逝品的最优价格折扣和批量订货策略; 王文利^[4]探究了在供应商面临资金约束而制造商采用预付款的内部融资模式时, 探讨供应商和制造商的最优生产和融资决策; 而占济舟等^[18]则考虑了制造商存在资金约束时, 应收账款融资服务和商业信用相结合时供应链的最优决策问题; Tang 等^[19]则研究了两种创新的供应商融资方式: 采购订单融资和买家直接融资, 通过博弈论模型刻画了三方(制造商, 资金约束的供应商和银行)之间的交互作用, 指出当制造商和银行信息对称时, 两种融资方式对所有参与方都有利, 同时分析了在不同情况下, 最优的融资方案及相应的优势. 上述研究都是考虑供应链中单个企业存在资金约束, 而当零售商和供应商都存在资金约束(零售商可以通过短期银行贷款和贸易信贷满足融资需要, 制造商通过短期银行贷款和零售商提前付款获得资金需求)且存在不同信用等级的参与方时, Kouvelis 等^[20]基于上述背景考虑了信用评价对于供应链运作决策和融资决策的影响, 研究结果表明当供应商的信用等级高于某个阈值时, 供应商会提供零利率的贸易信贷而零售商则只采用贸易信贷融资方式, 并且供应商总是受益于与优质的零售商合作.

内部融资和外部融资都有各自的优劣势, 不少学者将两者进行对比研究. 如 Kouvelis 等^[21]考虑零售商和供应商均受短期资金约束时, 供应商会以不高于无风险利率的融资利率向零售商提供交易信用契约, 如果供应商能提供最优结构的交易信用契约, 相比向银行借贷融资, 零售商更偏好于向供应商融资; 钟远光等^[22]考虑零售商面对初始资金不足时, 如何借助不同的融资政策做出最优的订货与定价决策; 而王文利等^[23]则在供应商面临资金约束时, 比较分析了内部预订融资模式与外部信贷融资模式, 并研究了两种融资模式对零售商及供应商最优决策和利润的影响; Deng 等^[24]则考虑了由一个装配商和多个资金约束的异质

¹<http://tech.163.com/13/1128/09/9EOR7S7D000915BD.html>

²http://js.chinaso.com/wdnj-kjjson/detail/20170113/100020003301124148_4261445484679348_1.html

³http://it.southcn.com/9/2012-08/07/content_52375438.htm

零部件供应商组成的供应链,通过比较买方融资和银行融资两种融资方式,探究了买方融资的有效性.

在双渠道供应链下,企业最优决策会受到双渠道供应链结构以及企业之间关系等因素的影响,已有少数学者考虑资金约束的企业融资决策研究是在双渠道背景下展开,如张小娟等^[25]比较分析了当双渠道供应链中的零售商受资金约束时,推迟支付和借贷支付两种模式下供应商与零售商的融资和定价决策;而郭金森等^[26]探究了在双渠道供应链中当资金约束零售商面临制造商贸易信贷契约和提前订货折扣契约时,零售商的契约选择问题,得到了零售商在不同情形下的最优契约选择;肖肖等^[3]则研究了双渠道供应链中制造商由于渠道拓展面临资金约束时,制造商的融资选择和上下游的定价决策问题.

然而上述研究均忽略了决策者的风险态度.而已有的考虑决策者风险态度对企业订货/定价决策影响大多数都将均值-方差作为刻画风险的方式^[7,27-29],但这些研究都假定供应链中企业的资金是充足的.也有一些学者在研究资金约束企业的定价/融资决策问题时,考虑了企业的风险厌恶行为.如金伟等^[30]分析了在零售商存在资金约束时,风险规避的供应商如何通过设计信用契约影响零售商的融资结构.他们通过构建包含供应商、零售商以及银行在内的供应链融资模型,证实了企业的风险偏好会影响最优的信用契约决策;也有学者考虑了一个双渠道供应链由单个风险中性制造商和单个风险厌恶零售商组成,并且零售商存在资金约束时,零售商和制造商的最优运作决策^[8,10].但是他们考虑受资金约束的主体与本文不同,也没有考虑信息不对称情形.

综上可知,尽管已有文献研究了供应链中资金约束企业或决策者有风险偏好企业的相应决策问题,但大多数研究忽略了资金约束和风险偏好对企业决策的综合影响而且仅考虑单一渠道.而目前关于双渠道供应链上游制造商融资决策的研究,都是假设决策者是风险中性并且博弈双方信息对称.而本文考虑了企业风险厌恶行为和不对称等现实因素探究企业定价和融资问题.故本文研究问题主要包含以下两点:1)站在制造商的角度,探究当制造商为风险厌恶而零售商为风险中性且信息对称情形时,不融资以及融资时不同融资模式下的最优定价决策以及制造商融资模式选择决策,同时考虑制造商风险厌恶程度对最优定价和制造商融资决策的影响.2)拓展到制造商和零售商都为风险厌恶者且制造商和零售商的风险厌恶信息不对称情形时,探究不同融资模式下的最优定价和制造商融资选择,并分析企业的风险厌恶行为和非对称信息对最优定价和制造商融资决策的影响.结果显示,制造商进行融资相对于不融资能够获得更高的利润,并且采用单一的融资模式比采用组合融资模式可以获得更高的目标效用.企业的风险厌恶行为和风险厌恶信息不对称对供应链参与者的最优定价决策和制造商的融资决策会产生重要影响.

2 无融资情形下决策

2.1 模型建立

考虑一由单一风险中性零售商和单一风险厌恶制造商构成的双渠道供应链系统.在该系统中,风险厌恶制造商通过传统的零售渠道销售产品的同时也通过自身建立的网络直销渠道销售产品.同时当制造商存在资金约束时,可考虑提前支付和银行贷款两种融资模式.

考虑双渠道中制造商直销渠道需求和零售渠道需求分别为

$$d_m = (1 - s)\tilde{a} - p_m + \theta p_r, \quad (1)$$

$$d_r = s\tilde{a} - p_r + \theta p_m, \quad (2)$$

其中 d_m 和 d_r 分别表示直销渠道需求和零售渠道需求,而 $\tilde{a} = a + \varepsilon$ 为市场需求规模,这里 ε 反应市场需求的随机性, ε 的均值为 0,方差为 σ^2 , s 为双渠道下零售渠道所占市场分额, p_r 和 p_m 分别为零售渠道和直销渠道的产品销售价格, $\theta(0 < \theta < 1)$ 为消费者价格系数,它反映一个渠道的价格对另一个渠道需求的影响.该需求模型被许多国内外学者使用,如 Mukhopadhyay^[31]和 Li^[32]等.同时假设产品的单位生产成本为 c ,制造商的批发价格为 w . 参考文献[33, 34],本文也采用均值-方差的方法来度量制造商的决策效用,即制造商

的目标效用函数 $U(\pi) = E[\pi] - k\sqrt{\text{Var}(\pi)}$, 其中 $\text{Var}(\pi) = E[\pi - E[\pi]]^2$, $k(k \geq 0)$ 用来刻画风险厌恶程度, 反映了制造商对待风险的态度, 易知 k 值越大, 制造商的行为越保守, 即风险厌恶程度越高。

根据前文, 可知零售商期望利润为

$$E[\pi_r] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m). \quad (3)$$

由于风险厌恶制造商采用均值-方差的方法来度量其决策效用, 故制造商的期望利润和方差分别为

$$E[\pi_m] = (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r), \quad (4)$$

$$\text{Var}(\pi_m) = E[(\pi_m - E[\pi_m])^2] = [(w - c)s + (p_m - c)(1 - s)]^2 \sigma^2. \quad (5)$$

基于均值-方差法, 风险规避制造商的目标效用函数为

$$\begin{aligned} U(\pi_m) &= E[\pi_m] - k\sqrt{\text{Var}(\pi_m)} \\ &= (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r) - \\ &\quad k[(w - c)s + (p_m - c)(1 - s)]\sigma. \end{aligned} \quad (6)$$

2.2 最优决策分析

为方便对比, 将首先分析制造商不融资时零售商和制造商的最优决策. 此时, 零售商的期望利润为

$$E[\pi_r] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m). \quad (7)$$

而不融资情形下风险规避制造商的目标效用函数为

$$\begin{aligned} U(\pi_m) &= (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r) - \\ &\quad k[(w - c)s + (p_m - c)(1 - s)]\sigma. \end{aligned} \quad (8)$$

本文考虑制造商为供应链中的领导者, 和零售商进行 Stackelberg 博弈, 故企业决策顺序是制造商首先决策直销价格和批发价格, 而零售商根据制造商的决策设定其零售价格. 采用逆向求解法, 可得当风险厌恶制造商的初始资金 B 在不同的状况下, 供应链双方的均衡定价策略. 下面给出双方的均衡策略.

定理 1 1) 当 $B \geq c(2(a + k\sigma) - (1 - \theta)(as + c\theta + 3c))/4$ 时, 双渠道供应链各主体的最优定价策略分别为

$$\begin{cases} p_r^0 = \frac{2\theta A_1 + (c + c\theta + 3as - 2k\sigma s)(1 - \theta^2)}{4(1 - \theta^2)} \\ p_m^0 = \frac{A_1 + c(1 - \theta^2)}{2(1 - \theta^2)} \\ w^0 = \frac{A_1\theta + (c + as - 2k\sigma s)(1 - \theta^2)}{2(1 - \theta^2)}, \end{cases} \quad (9)$$

2) 当 $B < c(A_3 - (1 - \theta)(as + c\theta + 3c))/4$ 时, 双渠道供应链各主体的最优定价策略分别为

$$\begin{cases} p_r^1 = \frac{(2a + k\sigma s - 2as)c\theta^2 + A_2}{c(1 - \theta^2)(3 + \theta)} + \frac{(1 + 4s)ac + k\sigma(1 - 3s)c - 2B(1 + \theta)^2}{c(1 - \theta^2)(3 + \theta)} \\ p_m^1 = \frac{(2a - k\sigma)cs\theta^2 + (A_3s - k\sigma + 3a)c\theta}{c(1 - \theta^2)(3 + \theta)} + \frac{(3k\sigma - 4a)sc + (5a - k\sigma)c - 4B(1 + \theta)}{c(1 - \theta^2)(3 + \theta)} \\ w^1 = \frac{(a + ks\theta^3\sigma + (1 - 4s)k\sigma)c\theta^2}{c(1 - \theta^2)(3 + \theta)} + \frac{A_2 + (2 - 6s)k\sigma c + 2a(1 + s)c - 4B(1 + \theta)}{c(1 - \theta^2)(3 + \theta)}, \end{cases} \quad (10)$$

其中 $A_1 = (a - k\sigma)(1 - s + \theta s)$; $A_2 = (5a - 2as - k\sigma(1 - s))c\theta$; $A_3 = 2(a + k\sigma)$. 证明见附录.

将式(9)代入式(1)和式(2), 易得制造商初始资金充足即 $B \geq (c(2(a + k\sigma) - (1 - \theta)(as + c\theta + 3c)))/4$

时, 两个渠道实现的期望需求分别为

$$\begin{cases} d_r^0 = (as + 2k\sigma s - c(1 - \theta))/4 \\ d_m^0 = (2(a + k\sigma)(1 - s) - c(2 - \theta - \theta^2) + a\theta s)/4. \end{cases} \quad (11)$$

将式(9)代入式(7)和式(8), 易得当制造商初始资金充足时, 零售商的期望利润和制造商的目标效用为

$$E[\pi_r^0] = \frac{(as + 2k\sigma s - c(1 - \theta))^2}{16}, \quad (12)$$

$$U(\pi_m^0) = \frac{c^2(3 + \theta)(1 - \theta) + (as - 2k\sigma s)^2}{8} + \frac{A_1^2}{4(1 - \theta^2)} + \frac{c(2(a - k\sigma) - as(1 - \theta))}{4}. \quad (13)$$

同样, 将式(10)代入式(1)和式(2), 易得制造商初始资金不足即 $B < (c(A_3 - (1 - \theta)(as + c\theta + 3c)))/4$ 时, 零售商和制造商的期望需求分别为

$$\begin{cases} d_r^1 = (A_4c - ac(1 - 2s) + 2B)/(2c(3 + \theta)) \\ d_m^1 = (-A_4c + ac(1 - 2s) + 2B(2 + \theta))/(2c(3 + \theta)). \end{cases} \quad (14)$$

将式(10)代入式(7)和式(8), 易得零售商的期望利润和制造商的目标效用分别为

$$E[\pi_r^1] = (A_4/2 - ac(1/2 - s) + B)^2 / (c^2(3 + \theta)^2), \quad (15)$$

$$U(\pi_m^1) = U(\pi_m^0) - (c((1 - \theta)A_5 - A_3) + 4B)^2 / (8c^2(1 - \theta)(3 + \theta)), \quad (16)$$

其中 $A_4 = k\sigma(3s + \theta s - 1)$, $A_5 = as + c\theta + 3c$.

定理 1 表明供应链双方在制造商初始资金充足和不充足两种情形下的定价策略是完全不同的. 这意味着, 制造商的初始资金的大小有意义地影响着制造商在双渠道上的定价策略以及零售商的零售价格, 进而影响到制造商的产品在双渠道上的销量以及制造商的目标效用和零售商的期望利润. 比较制造商两种初始资金状况下供应链双方的定价策略和相应的期望需求以及零售商的期望利润和制造商的目标效用, 容易推得下列结论.

推论 1 1) $p_r^0 < p_r^1$, $p_m^0 < p_m^1$, $w^0 < w^1$; 2) $d_r^0 > d_r^1$, $d_m^0 > d_m^1$; 3) $E[\pi_r^0] > E[\pi_r^1]$, $U(\pi_m^0) > U(\pi_m^1)$.

证明略.

由推论 1 可知, 当制造商受到资金约束但不进行融资时, 其由于资金短缺不能提供完全满足两个渠道需要的产品数量, 此时制造商倾向于提高批发价格和自有渠道的直销价格. 受制造商批发价格的影响, 零售商也倾向于提高零售价格. 而从推论 1 的第 2) 点可知, 零售渠道和直销渠道的需求都减少了, 这主要是由于零售价和直销价格的提高造成的. 对于零售商的期望利润和制造商的目标效用, 可以发现两者都有所下降. 零售商的期望利润下降容易被理解, 制造商的目标效用下降是因为, 零售渠道和直销渠道需求的减少造成制造商目标效用下降, 尽管制造商的直销价格和批发价格的提高会增加制造商的目标效用, 但是依然无法弥补需求减少所造成的损失. 这也表明, 制造商资金不足对其自身总是不利的, 而从后文可知, 制造商始终倾向于通过融资获得资金满足生产需要. 接下来将分别考虑两种融资模式下, 制造商和零售商的最优决策及最优利润, 以及制造商的风险态度对融资决策和定价决策的影响.

3 融资情形下的决策

由上面的分析可知, 当制造商的资金不足时, 不采取任何的融资策略而按照已有的资金量进行生产明显是不经济的决策, 也是不符合实际的. 在现实中, 企业会尽可能的筹措资金满足自身的生产需要. 本节考虑两种融资方式, 第一种是制造商给予零售商一定的提前付款折扣 r 以激励零售商提前支付的内部融资; 第

二种是向银行贷款的外部融资. 由于制造商为整个供应链的领导者, 而零售商为跟随者, 故当制造商制定融资决策后, 零售商只能跟随制造商的融资选择. 下面将分别针对这两种方式进行探讨, 以得到关于风险厌恶型制造商对于融资模式的选择决策.

3.1 提前支付融资模式

假设制造商的初始资金为 $B (B \geq 0)$, 生产需要的资金总量为 $\bar{B} = c(d_m + d_r)$, 当 $\bar{B} > B$ 时, 制造商的初始资金无法满足生产需求, 此时制造商需向零售商进行融资要求其提前支付货款, 并给予零售商提前付款折扣 r 进行激励. 假设制造商处于完全竞争的市场, 其提前付款折扣系数值处于一定的范围水平, 由市场决定, 并且具体值在现实中一般是制造商和零售商商定而成, 故和银行贷款利率一样, 本文假设提前付款折扣系数为外生给定, 制造商短缺的资金规模为

$$L = c(d_m + d_r) - B. \quad (17)$$

该融资模式下具体决策顺序为

- 1) 在生产前, 制造商与零售商协议要求其提供融资规模 $L = c(d_m + d_r) - B$;
- 2) 生产实现后, 制造商决定批发价 w 和直销价 p_m , 同时制造商交付 $(1 + r)L/w$ 单位商品给零售商;
- 3) 零售商再以单位价格 w 采购剩余需要的商品 $d_r - ((1 + r)L)/w$ 满足市场需求, 同时决策其零售价 p_r ;
- 4) 销售实现. 此时, 零售商的期望利润为(下文中的上标 a 表示提前支付融资模式)

$$E[\pi_r^a] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m) + rL. \quad (18)$$

风险规避制造商的期望利润和方差分别为

$$E[\pi_m^a] = (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r) + (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) - rL, \quad (19)$$

$$\text{Var}(\pi_m^a) = E[(\pi_m^a - E[\pi_m^a])^2] = ((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - rc)^2 \sigma^2. \quad (20)$$

因此, 风险规避制造商目标效用函数为

$$U(\pi_m^a) = (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r) - rL - k((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - rc)\sigma. \quad (21)$$

既然供应链中的制造商和零售商进行制造商-Stackelberg 博弈, 因此制造商作为主导者首先决策直销价和批发价, 零售商根据制造商的最优定价制定零售价格. 下面采用逆序求解法来确定双方的均衡决策.

1) 零售商最优策略

首先, 对于制造商任意给定的直销渠道的定价和对零售商的批发价格, 由式(18)易知, 零售商的期望利润函数 $E[\pi_r^a]$ 是关于 p_r 的凹函数, 因此令 $\frac{dE[\pi_r^a]}{dp_r} = 0$ 可得使 $E[\pi_r^a]$ 最大化的零售价格为

$$p_r^a = (sa + \theta p_m + w - cr(1 + \theta))/2 - cr(1 + \theta). \quad (22)$$

2) 制造商最优策略

将式(22)代入式(21), 得到制造商的目标效用函数为

$$U(\pi_m^a) = (w - c)((sa + \theta p_m - w + cr(1 + \theta))/2) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m) - rL + (p_m - c)((\theta(sa + \theta p_m + w - cr(1 + \theta)))/2) - k((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - rc)\sigma. \quad (23)$$

由式(23)易得, 制造商目标效用函数 $U(\pi_m^a)$ 是关于 (p_m, w) 的联合凹函数, 这表明 $U(\pi_m^a)$ 存在唯一最

大值点,也就是说该博弈存在唯一的均衡策略.下面的定理2出示了该均衡策略.

定理2 当制造商采取提前支付融资策略时,双渠道供应链各主体的最优定价策略分别为

$$\begin{cases} p_r^a = (2R_1 + (c + as + c\theta + 2rc\theta)(1 - \theta^2)) / (4(1 - \theta^2)) \\ p_m^a = ((a - k\sigma)(1 - s + \theta s) + c(1 - \theta^2)(1 + r)) / (2(1 - \theta^2)) \\ w^a = (R_1 + (1 - \theta^2)(c + 2rc - cr\theta - k\sigma s)) / (2(1 - \theta^2)), \end{cases} \quad (24)$$

其中 $R_1 = (a - k\sigma)(\theta + s - \theta s)$.

将最优定价式(24)代入式(1)和式(2),可以得到提前支付融资模式下零售渠道和直销渠道实现的期望需求分别为

$$\begin{cases} d_r^a = (as + 2k\sigma s - c(1 - \theta)) / 4 \\ d_m^a = ((2(a + k\sigma)(1 - s) + a\theta s) - (c(1 - \theta)(2 + \theta + 2r + 2r\theta))) / 4. \end{cases} \quad (25)$$

将最优定价式(24)代入式(18)和式(21),易得零售商的期望利润和制造商的目标效用分别为

$$\begin{aligned} E[\pi_r^a] &= \frac{(as + 2k\sigma s - c(1 - \theta))^2 - 16Br}{16} + \frac{8c((as + 2k\sigma s)(1 - s + s\theta))}{16} - \\ &\quad \frac{8c(c(1 - \theta^2)(1 + r))}{16}, \quad (26) \\ U(\pi_m^a) &= \frac{(R_1 + R_2)(as - 2k\sigma s - c(1 - \theta))}{8(1 - \theta^2)} + \frac{rc(R_3 - c(1 - \theta) - as(1 - \theta)) + 4Br}{4} + \\ &\quad \frac{R_4(R_3 - 2s(a - k\sigma) + a\theta s)}{8(1 - \theta^2)}, \quad (27) \end{aligned}$$

其中 $R_2 = (2rc - c(1 + r\theta) - k\sigma s)(1 - \theta^2)$, $R_3 = 2(a - k\sigma) - c(2r\theta + 2r + \theta + 2)(1 - \theta)$, $R_4 = A_1 - c(1 - \theta^2)(1 - r)$.

在提前付款融资模式下,制造商的风险厌恶程度会对最优定价决策以及相应的期望需求、零售商的期望利润和制造商的目标效用产生重要影响,推论2将给出具体的研究结果.

推论2 1) $\frac{\partial p_r^a}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial p_m^a}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial w^a}{\partial k} < 0$, 2) $\frac{\partial d_r^a}{\partial k} > 0$, $\frac{\partial d_m^a}{\partial k} > 0$, 3) $\frac{\partial E[\pi_r^a]}{\partial k} > 0$.

如果 $0 < c < \frac{a - 2as(1 - \theta)(1 - s)}{(1 - \theta^2)(sr(1 - \theta) + 1 + r)}$, 当 $0 \leq k < \bar{k}$ 时, $\frac{\partial U(\pi_m^a)}{\partial k} > 0$, 当 $k \geq \bar{k}$ 时, $\frac{\partial U(\pi_m^a)}{\partial k} < 0$;

如果 $c \geq \frac{a - 2as(1 - \theta)(1 - s)}{(1 - \theta^2)(sr(1 - \theta) + 1 + r)}$, $\frac{\partial U(\pi_m^a)}{\partial k} < 0$,

其中 $\bar{k} = \frac{s(1 - \theta)(2a(1 - s) + cr(1 - \theta^2)) + c(1 + r)(1 - \theta^2) - a}{\sigma((\theta^2 + 2\theta - 3)s^2 - 2(1 - \theta)s - 1)}$.

由推论2可知,在提前支付融资模式下,制造商风险厌恶程度与最优定价呈反比,而与期望需求呈正比.该结论表明,风险厌恶程度高的制造商倾向于采取低价策略,从而增大直销渠道的需求,达到其目标效用最大化的目的.同样,零售商也会倾向于制定更低的零售价,从而增加零售渠道期望需求.同时,从推论2也可知,零售商的期望利润与制造商风险厌恶程度呈正比,这表明风险中性零售商与风险厌恶程度高的制造商合作更有利,但是对制造商而言却需要防止自身风险厌恶程度过高,因为当生产成本较小时,随着制造商风险厌恶程度的增加,其目标效用先增加后减小.而当生产成本较大时,随着制造商风险厌恶程度的增加,其目标效用始终减小.

3.2 银行贷款融资模式

在该融资模式下,当制造商存在资金约束时,他将通过向银行贷款来满足资金需求,其贷款金额

为 $L = c(d_m + d_r) - B$, 销售期结束后需要向银行归还的本息为 $(1 + r_b)L$, 其中 r_b 为银行利息率.

此时, 风险中性的零售商期望利润为(下文中的上标 b 表示银行贷款融资模式)

$$E[\pi_r^b] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m). \quad (28)$$

而风险规避制造商的期望利润和方差分别为

$$E[\pi_m^b] = (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) - r_b L + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r), \quad (29)$$

$$\text{Var}(\pi_m^b) = E[(\pi_m^b - E[\pi_m^b])^2] = ((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - r_b c)^2 \sigma^2. \quad (30)$$

风险规避制造商目标效用函数为

$$U(\pi_m^b) = (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r) - r_b L - k((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - r_b c)\sigma. \quad (31)$$

1) 零售商最优策略

对于任意给定的制造商的直销价格和批发价格, 由式(28)易得, 零售商的期望利润函数 $E[\pi_r^b]$ 是关于 p_r 的凹函数, 因此由一阶最优性条件可解得零售商的最优反应函数为

$$p_r^b = (sa + \theta p_m + w)/2. \quad (32)$$

2) 制造商最优策略

观察到零售商对任意给定的 w 和 p_m 的最优反应后, 将式(32)代入式(31)易得制造商的目标效用函数为

$$U(\pi_m^b) = (w - c)\left(\frac{sa + \theta p_m - w}{2}\right) - r_b L + (p_m - c)\left((1 - s)a - p_m + \theta \frac{sa + \theta p_m + w}{2}\right) - k((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - r_b c)\sigma. \quad (33)$$

由式(33)易知制造商目标效用函数 $U(\pi_m^b)$ 是关于 (p_m, w) 的联合凹函数, 因此目标函数(33)存在唯一最大点. 亦即该 Stackelberg 博弈存在唯一均衡解, 定理 3 出示了该均衡策略.

定理 3 当制造商选择银行贷款融资策略时, 双渠道供应链各主体的最优定价策略分别为

$$\begin{cases} p_r^b = \frac{2R_1 + (c(1 + \theta)(1 + r_b) + as)(1 - \theta^2)}{4(1 - \theta^2)} \\ p_m^b = \frac{(a - k\sigma)(1 - s + \theta s) + c(1 - \theta^2)(1 + r_b)}{2(1 - \theta^2)} \\ w^b = \frac{R_1 + (c(1 + r_b) - k\sigma s)(1 - \theta^2)}{2(1 - \theta^2)}. \end{cases} \quad (34)$$

将最优定价式(34)代入式(1)和式(2), 可以得到银行贷款融资决策下零售渠道和直销渠道的期望需求分别为

$$(d_r^b, d_m^b) = \left(\frac{B_1 + 4k\sigma s}{4}, \frac{B_2}{4}\right). \quad (35)$$

将式(34)代入式(28)和式(31), 可得零售商的相关期望利润和制造商的相关目标效用分别为

$$E[\pi_r^b] = (B_1 + 4k\sigma s)^2/16, \quad (36)$$

$$U(\pi_m^b) = \frac{(R_1 - (c(1 - r_b) + k\sigma s)(1 - \theta^2))B_1}{8(1 - \theta^2)} + \frac{B_2 B_3}{8(1 - \theta^2)} - \frac{r_b c(2(a - k\sigma) - B_4) - 4r_b B}{4}, \quad (37)$$

其中 $B_1 = as - 2k\sigma s - c(1 - \theta)(1 + r_b)$, $B_2 = 2(a - k\sigma)(1 - s) - c(2 - \theta - \theta^2)(1 + r_b) + a\theta s$,

$B_3 = A_1 - c(1 - \theta^2)(1 - r_b)$, $B_4 = as(1 - \theta) + c(1 - \theta)(1 + r_b)(3 + \theta)$.

分析在银行贷款融资模式下制造商的风险厌恶程度对于定价和期望需求以及零售商的期望利润和制造商的目标效用的影响,可以得到推论3.

推论3 1) $\frac{\partial p_r^b}{\partial k} < 0, \frac{\partial p_m^b}{\partial k} < 0, \frac{\partial w^b}{\partial k} < 0, 2) \frac{\partial d_r^b}{\partial k} > 0, \frac{\partial d_m^b}{\partial k} > 0, 3) \frac{\partial E[\pi_r^b]}{\partial k} > 0.$

如果 $0 < c < \frac{a - 2as(1 - \theta)(1 - s)}{(1 + r_b)(1 - \theta^2)}$, 当 $0 \leq k < \tilde{k}$ 时, $\frac{\partial U(\pi_m^b)}{\partial k} > 0$, 当 $k \geq \tilde{k}$ 时, $\frac{\partial U(\pi_m^b)}{\partial k} < 0$;

如果 $c \geq \frac{a - 2as(1 - \theta)(1 - s)}{(1 + r_b)(1 - \theta^2)}$, $\frac{\partial U(\pi_m^b)}{\partial k} < 0$, 其中 $\tilde{k} = \frac{2as(1 - \theta)(1 - s) + c(1 + r_b)(1 - \theta^2) - a}{\sigma((\theta^2 + 2\theta - 3)s^2 - 2(1 - \theta)s - 1)}$.

由推论3可知,当制造商存在资金约束且从银行贷款融资时,制造商的风险厌恶程度对供应链企业的定价和期望需求以及零售商的期望利润和制造商的目标效用的影响与在提前支付融资模式下一致.这就是说制造商风险厌恶程度变化所带来的影响并不随其融资模式的变化而改变.同样,在银行贷款融资策略下,零售商也偏好于和风险厌恶程度较高的制造商合作.

3.3 两种融资模式的比较

本小节将对两种融资模式下的最优定价、相应的期望需求和制造商的目标效用进行比较,探究不同融资模式下最优决策的差异以及风险厌恶制造商的融资模式选择.

推论4 1) 当 $r = r_b$ 时, $p_r^a < p_r^b, p_m^a = p_m^b, w^a > w^b, d_r^a > d_r^b, d_m^a < d_m^b$,

2) 当 $r \neq r_b$ 时,

(a) 如果 $0 \leq r < r_b(c + \theta)/2c\theta$, $p_r^a < p_r^b$, 否则 $p_r^a \geq p_r^b$;

(b) 如果 $0 \leq r < r_b$, $p_m^a < p_m^b$, 否则 $p_m^a \geq p_m^b$;

(c) 如果 $0 \leq r < r_b/(2 - \theta)$, $w^a < w^b$, 否则 $w^a \geq w^b$;

(d) $d_r^a \geq d_r^b$;

(e) 如果 $0 \leq r < r_b(2 + \theta)/2(1 + \theta)$, $d_m^a < d_m^b$, 否则 $d_m^a \geq d_m^b$.

根据推论4,首先可知当银行利率与提前支付折扣因子相等时,制造商在提前支付和银行贷款融资模式下制定的直销价格相等.但在提前支付融资模式下制造商制定的批发价格却高于在银行融资模式下的批发价格.使得零售商需要付出更多的订购成本,但是由于在提前支付融资模式下,零售商可以获得提前支付折扣,故零售商在提前支付融资模式下还是倾向于制定更低的零售价格.而由于受零售价格的影响零售渠道的需求增加,直销渠道的需求减小.当提前支付折扣因子和银行贷款利率不相等时,零售渠道在提前支付融资模式下的需求始终不小于其在银行贷款融资模式下的需求,当提前支付折扣因子与银行贷款利率相比相对较小时,提前支付融资模式下的零售价、直销价、批发价和直销渠道的期望需求小于银行贷款融资模式下的零售价、直销价、批发价、和直销渠道的期望需求,但是当提前支付折扣因子与银行贷款利率相比相对较大时,结果恰好相反.

推论5 1) 当 $r = r_b$ 时,

(a) 如果 $0 \leq c \leq \frac{2as}{(1 - \theta)(2 + r)}$, $U(\pi_m^a) \leq U(\pi_m^b)$;

(b) 如果 $\frac{2as}{(1 - \theta)(2 + r)} < c \leq \frac{2as + 4\sigma}{(1 - \theta)(2 + r)}$, 当 $0 \leq k < k^\#$ 时, $U(\pi_m^a) > U(\pi_m^b)$; 而当 $k \geq k^\#$ 时, $U(\pi_m^a) \leq U(\pi_m^b)$;

(c) 如果 $c > \frac{2as + 4\sigma}{(1 - \theta)(2 + r)}$, $U(\pi_m^a) > U(\pi_m^b)$, 其中 $k^\# = \frac{c(1 - \theta)(2 + r) - 2as}{4\sigma}$.

2) 当 $r \neq r_b$ 时,

(a) 如果 $0 \leq r_b < r$, $U(\pi_m^a) > U(\pi_m^b)$;

(b) 如果 $r < r_b < 2r$ 且 $0 < s < \bar{s}$, 当 $0 \leq k < k^*$ 时, $U(\pi_m^a) > U(\pi_m^b)$, 当 $k^* \leq k$ 时, $U(\pi_m^a) < U(\pi_m^b)$; 而如果 $r < r_b < 2r$ 且 $\bar{s} \leq s < 1$, $U(\pi_m^a) < U(\pi_m^b)$;

(c) 如果 $2r \leq r_b$, 当 $0 \leq k < k^*$ 时, $U(\pi_m^a) > U(\pi_m^b)$, 当 $k^* \leq k$ 时, $U(\pi_m^a) < U(\pi_m^b)$,

其中 $\bar{s} = \frac{c^2(\theta-1)((2r(2+r)-r_b(2+r_b))(1+\theta)-2r_b(2+r_b))+(8B-4ac)(r_b-r)}{2ac(2r-r_b)(1-\theta)}$;

$k^* = \frac{c^2(1-\theta)(2r(2+r)(1+\theta)-r_b(3+\theta)(2+r_b))-2ac((2r-r_b)(1-s+\theta s)-r_b)+8B(r-r_b)}{4c(r(1-s+\theta s)-r_b)\sigma}$.

推论 5 表明, 当提前付款折扣因子等于银行利率时, 如果制造商的生产成本较小, 风险厌恶制造商始终选择银行贷款融资模式. 如果制造商的生产成本较高 ($c > (2as + 4\sigma)/((1-\theta)(2+r))$), 风险厌恶制造商将倾向于选择提前支付融资模式, 而如果制造商的生产成本处于中间大小, 那么当风险厌恶程度较低时, 风险厌恶制造商偏向于选择提前支付融资模式, 而当风险厌恶程度较高时, 风险厌恶制造商则偏向于选择银行贷款融资模式. 但是当考虑银行利率和提前付款折扣因子不相等时, 风险厌恶制造商的融资模式选择将会受其风险厌恶程度、零售渠道的市场占比以及提前支付折扣因子和银行贷款利率相对大小的共同影响. 当银行利率小于提前支付折扣因子 ($0 \leq r_b < r$) 时, 选择提前支付融资模式对制造商更有利; 而当银行利率超过提前支付折扣因子的 2 倍 ($2r \leq r_b$) 时, 风险厌恶程度较低的制造商倾向于选择提前支付融资模式, 风险厌恶程度较高的制造商倾向于选择银行贷款融资模式; 当银行利率大于提前支付折扣因子但小于提前支付折扣因子的 2 倍 ($r < r_b < 2r$) 时, 如果零售渠道市场占比较大, 则风险厌恶制造商倾向于选择银行贷款融资模式; 而如果零售渠道市场占比较小, 则提前支付融资模式会给风险厌恶程度较小的制造商带来更大的效用, 银行贷款融资模式会给风险厌恶程度较大的制造商带来更大的效用.

接下来需要探究的问题是制造商采取两种融资模式的组合是否比采取单一融资模式更优? 为了回答该问题, 模型中引入参数 β ($0 \leq \beta \leq 1$), 它表示制造商总融资额中提前支付的融资比例. 这样 βL 为通过提前支付融资模式获得的资金量, $(1-\beta)L$ 为通过银行贷款融资模式获得的资金量 (其中 L 为制造商需融资的总资金量). 可知当 $\beta = 0$ 时, 所有的资金通过银行贷款融资模式进行融资, 而当 $\beta = 1$ 时, 所有的资金通过提前支付融资模式进行融资. 通过模型分析可以得到下面结论.

结论 1 风险厌恶制造商采用单一融资模式比采用组合融资模式可以获得更高的目标效用.

证明见附录.

4 模型拓展

本节将前面的研究扩展到考虑制造商和零售商都是风险厌恶者的情形, 同时也假定制造商和零售商之间的风险厌恶程度信息是非对称的. 为了便于同前面的结果比较, 这里只假定零售商的风险厌恶程度是其私有信息, 制造商不知道零售商风险厌恶程度的确切值, 仅仅知道其分布; 而制造商的风险厌恶程度信息对零售商是公开的. 设零售商的风险厌恶系数为 k_r , 制造商不知道 k_r 的真实值但可以推测出其均匀地分布在区间 $[\underline{k}_r, \bar{k}_r]$ 上.

这样, 零售商的期望利润和方差分别为

$$E[\pi_r] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m), \quad (38)$$

$$\text{Var}(\pi_r) = (p_r - w)^2 s^2 \sigma^2. \quad (39)$$

因此, 基于均值-方差法, 风险规避零售商的目标效用函数为

$$U(\pi_r) = E[\pi_r] - k_r \sqrt{\text{Var}(\pi_r)} = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m) - k_r (p_r - w) s \sigma. \quad (40)$$

而制造商利润的均值和方差以及目标效用函数仍由式(4)~式(6)给出,下文将探究在非对称信息时,不同融资模式下制造商和零售商的最优定价,以及风险厌恶制造商的融资模式选择.

4.1 提前支付融资模式

根据第4节的分析,在提前支付融资模式下,零售商利润的期望和方差分别为(下文用上标 nr 表示拓展情形提前支付融资模式)

$$E[\pi_r^{\text{nr}}] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m) + r(c(a + (\theta - 1)(p_r + p_m)) - B), \quad (41)$$

$$\text{Var}(\pi_r^{\text{nr}}) = ((p_r - w)s - rc)^2 \sigma^2. \quad (42)$$

因此据均值-方差法,在提前支付融资模式下风险厌恶零售商的目标效用函数为

$$\begin{aligned} U(\pi_r^{\text{nr}}) &= E[\pi_r^{\text{nr}}] - k_r \sqrt{\text{Var}(\pi_r^{\text{nr}})} \\ &= (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m) + r(c(a + (\theta - 1)(p_r + p_m)) - B) - k_r((p_r - w)s - rc)\sigma. \end{aligned} \quad (43)$$

根据标准的逆向推演法,首先确定对制造商任意给定的直销价格和批发价格零售商的最优反应函数.对于任意给定的 p_m 和 w ,由式(43)易知零售商的目标效用函数为凹函数,这样由一阶最优性条件可以获得给定直销价和批发价时零售商的最优反应函数为

$$p_r^{\text{nr}}(k_r) = (sa + \theta p_m + w + rc(\theta - 1) - k_r \sigma s) / 2. \quad (44)$$

然后将式(44)代入制造商的目标效用函数,由于制造商不知道零售商确切的风险厌恶程度,只知道其分布,故制造商的期望目标效用函数为

$$\begin{aligned} U(\pi_m^{\text{nr}}) &= \frac{1}{\bar{k}_r - \underline{k}_r} \int_{\underline{k}_r}^{\bar{k}_r} ((w - c)(sa - p_r^{\text{nr}}(k_r) + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r^{\text{nr}}(k_r)) - \\ &\quad r(c(a + (\theta - 1)(p_r^{\text{nr}}(k_r) + p_m)) - B) - k((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - rc)\sigma) dk_r. \end{aligned} \quad (45)$$

由式(45)易知制造商的期望目标效用函数是决策变量 (p_m, w) 的联合凹函数,因此由其一阶最优性条件可以获得制造商的最优直销价和批发价分别为

$$p_m^{\text{nr}*} = (c(r + 1)(\theta^2 - 1) - (a - k\sigma)[s(\theta + 1) - 1]) / (2(\theta^2 - 1)). \quad (46)$$

$$\begin{aligned} w^{\text{nr}*} &= (2(rc\theta + k\sigma s)(1 - \theta^2) + ((4r + 2)c + (\underline{k}_r + \bar{k}_r)\sigma s)(\theta^2 - 1) + \\ &\quad 2\theta(a - k\sigma)(s - 1) - 2as) / (4(\theta^2 - 1)). \end{aligned} \quad (47)$$

将式(46)和式(47)代入式(44),可得零售商的最优零售价为

$$\begin{aligned} p_r^{\text{nr}*} &= (4(\theta(s - 1) - s)(a - k\sigma) + (\theta^2 - 1)(2c(2r\theta + \theta + 1)) + \\ &\quad ((\underline{k}_r + \bar{k}_r) - 4k_r)\sigma s + 2as) / (8(\theta^2 - 1)). \end{aligned} \quad (48)$$

将式(46)~式(48)代入需求函数,可以获得直销渠道和零售渠道的最优期望需求分别为

$$d_r^{\text{nr}*} = ((4(k + k_r) - (\underline{k}_r + \bar{k}_r))\sigma s + 2(sa + c(\theta - 1))) / 8, \quad (49)$$

$$\begin{aligned} d_m^{\text{nr}*} &= (c\theta^2(2r + 1) + sa\theta - 2(k\sigma + a)(s - 1) + c(\theta - 2c - 2)) / 4 + \\ &\quad (s\theta\sigma((\underline{k}_r + \bar{k}_r) - 4k_r)) / 8. \end{aligned} \quad (50)$$

而将式(46)~式(48)代入目标效用函数式(43)和式(45),可以得到风险厌恶制造商和零售商的最优目标效用,下面分析在非对称信息情形下,最优定价决策与制造商风险厌恶程度以及零售商风险厌恶系数上界的

关系.

$$\text{推论 6} \quad \frac{\partial p_r^{nr*}}{\partial k} < 0; \frac{\partial p_m^{nr*}}{\partial k} < 0; \frac{\partial w^{nr*}}{\partial k} < 0; \frac{\partial p_r^{nr*}}{\partial \bar{k}_r} > 0; \frac{\partial p_m^{nr*}}{\partial \bar{k}_r} = 0; \frac{\partial w^{nr*}}{\partial \bar{k}_r} > 0.$$

从推论 6 可以看到, 在提前支付融资模式下, 当制造商和零售商均为风险厌恶时, 双方的最优定价与制造商风险厌恶程度都呈负相关关系, 这与仅有制造商风险厌恶且风险厌恶信息对称情形下的结论相同. 但是零售商风险厌恶系数上界对双渠道定价却有不同影响, 首先是最优直销价与零售商风险厌恶系数上界无关, 这意味着制造商对零售商风险厌恶系数的估计不影响其直销价的制定. 其次是零售渠道的批发价和零售价与零售商风险厌恶系数上界呈正相关, 这意味着制造商对零售商的风险厌恶程度越不确定, 则制造商倾向于制定更高的批发价, 结果导致零售商也倾向于制定更高的零售价. 这可以用来解释在现实中为什么制造商对零售商越不熟悉, 就越倾向于制定更高的批发价.

4.2 银行贷款融资模式

基于第 4 节的分析, 在该融资模式下风险厌恶零售商利润的期望和方差分别为(下文用上标 nb 表示拓展情形银行贷款融资模式)

$$E[\pi_r^{nb}] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m), \quad (51)$$

$$\text{Var}(\pi_r^{nb}) = (p_r - w)^2 s^2 \sigma^2. \quad (52)$$

因此风险厌恶零售商的目标效用函数为

$$U(\pi_r^{nb}) = E[\pi_r^{nb}] - k_r \sqrt{\text{Var}(\pi_r^{nb})} = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m) - k_r (p_r - w) s \sigma. \quad (53)$$

由式(53)易知风险厌恶零售商的目标效用函数为凹函数, 因此对于制造商任意给定的 p_m 和 w , 由一阶最优性条件可以获得零售商的最优反应函数为

$$p_r^{nb}(k_r) = (sa + \theta p_m + w - k_r s \sigma) / 2. \quad (54)$$

将式(54)代入风险厌恶制造商的目标效用函数式(31)可得

$$U(\pi_m^{nb}) = \frac{1}{\bar{k}_r - \underline{k}_r} \int_{\underline{k}_r}^{\bar{k}_r} ((w - c)(sa - p_r^{nb}(k_r) + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r^{nb}(k_r)) - r_b(c(a + (\theta - 1)(p_r^{nb}(k_r) + p_m)) - B) - k[(w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - r_b c] \sigma) dk_r. \quad (55)$$

由式(55)易知, 风险厌恶制造商的期望目标效用函数是关于决策变量(p_m, w)的联合凹函数, 因此由一阶最优性条件可以获得制造商最优的直销价和批发价分别为

$$p_m^{nb*} = (c(r_b + 1)(\theta^2 - 1) - (a - k\sigma)(s(\theta + 1) - 1)) / (2(\theta^2 - 1)), \quad (56)$$

$$w^{nb*} = \frac{1}{4(\theta^2 - 1)} (2\theta(a - k\sigma)(s - 1) - 2as + ((2r_b + 2)c + (\underline{k}_r + \bar{k}_r)\sigma s - 2k\sigma s)(\theta^2 - 1)). \quad (57)$$

将式(56)和式(57)代入式(54), 可得风险厌恶零售商的最优零售价为

$$p_r^{nb*} = \frac{1}{8(\theta^2 - 1)} (4(\theta(s - 1) - s)(a - k\sigma) + (\theta^2 - 1)(2c(r_b + 1)(\theta + 1)) + ((\underline{k}_r + \bar{k}_r) - 4k_r)\sigma s + 2as). \quad (58)$$

于是在银行贷款融资模式下零售渠道和直销渠道的最优期望需求分别为

$$d_r^{nb*} = d_r^{nr*} + (r_b c(\theta - 1)) / 4, \quad (59)$$

$$d_m^{nb*} = (c\theta^2(r_b + 1) + sa\theta - 2[(k\sigma + a)(s - 1)] + c(r_b\theta + \theta - 2c - 2)) / 4 + (s\theta\sigma((\underline{k}_r + \bar{k}_r) - 4k_r)) / 8. \quad (60)$$

将式(56)~式(58)分别代入式(53)和式(55),可以得到银行贷款融资模式下风险厌恶制造商的最优期望目标效用和零售商的最优目标效用. 推论7出示了在银行贷款融资模式下,风险厌恶制造商和零售商的最优定价决策与制造商风险厌恶程度和零售商风险厌恶系数上界的关系.

推论7 $\frac{\partial p_r^{nb*}}{\partial k} < 0; \frac{\partial p_m^{nb*}}{\partial k} < 0; \frac{\partial w^{nb*}}{\partial k} < 0; \frac{\partial p_r^{nb*}}{\partial \bar{k}_r} > 0; \frac{\partial p_m^{nb*}}{\partial \bar{k}_r} = 0; \frac{\partial w^{nb*}}{\partial \bar{k}_r} > 0.$

推论7表明,银行贷款融资模式下,风险厌恶制造商和零售商的最优定价与制造商风险厌恶程度以及零售商风险厌恶系数上界的关系和在提前支付融资模式下的关系相同.

4.3 两种融资模式的比较

本小节将比较两种融资模式下供应链双方的最优定价策略及其相应的目标效用,以便弄清当制造商和零售商都为风险厌恶,且风险厌恶信息不对称时,资金受约束制造商如何进行融资模式选择.为便于对比,假设 $r = r_b$.

推论8 1) 当 $r = r_b$ 时, $p_m^{nr*} = p_m^{nb*}; w^{nr*} > w^{nb*}; p_r^{nr*} < p_r^{nb*}; d_m^{nr*} < d_m^{nb*}; d_r^{nr*} > d_r^{nb*}.$

2) 如果 $0 \leq c < (s(\sigma(\underline{k}_r + \bar{k}_r) - 4k\sigma + 2a)) / ((1 - \theta)(2 + r))$, 当 $0 \leq k < k^n$ 时, $U(\pi_m^{nr*}) > U(\pi_m^{nb*})$; 而当 $k^n \leq k$ 时, $U(\pi_m^{nr*}) < U(\pi_m^{nb*})$; 否则 $U(\pi_m^{nr*}) < U(\pi_m^{nb*})$, 其中 $k^n = (2a + \sigma(\underline{k}_r + \bar{k}_r)) / (4\sigma).$

推论8表明,当零售商和制造商都是风险厌恶且风险厌恶信息不对称时,两种融资模式下直销价相同,但是在提前支付融资模式下,制造商的批发价比在银行贷款融资模式下的批发价更高,而零售商的零售价比在银行贷款融资模式下的零售价更低.结果导致在提前支付融资模式下,直销渠道的需求小于其在银行贷款融资模式下的需求,而零售渠道的需求大于其在银行贷款融资模式下的需求.然而对于风险厌恶制造商的融资模式选择决策来说,推论8则表明,如果提前支付折扣因子恰好等于银行贷款利率,那么当零售商和制造商都是风险厌恶且风险厌恶信息不对称时,风险厌恶制造商的融资模式选择决策只依赖于制造商的生产成本和风险厌恶程度.当生产成本比较大时,制造商将偏向于选择银行贷款融资模式;而当生产成本较小时,风险厌恶程度较高的制造商将偏向于选择银行贷款融资模式,风险厌恶程度较低的制造商将偏向于选择提前支付融资模式.这与推论5中的相应结论是不同的,这意味着零售商也风险厌恶且其风险厌恶信息不对称会有意义地影响到风险厌恶制造商的融资模式选择决策.当 $r \neq r_b$ 时,由于解析解的复杂性,我们无法通过分析的方法进行比较,我们将在第六节通过数值方法进行比较分析.

5 数值实验

本节将观察当制造商为风险厌恶而零售商为风险中性时,在不融资、提前支付融资和银行贷款融资三种模式下,制造商风险厌恶程度、零售渠道市场占比以及提前付款折扣因子等参数对制造商和零售商的最优价格及其相应的期望需求和效用的影响.假设提前支付折扣因子 r 和银行利率 r_b 不相等.具体模型参数设置为 $a = 60, \theta = 0.5, c = 10, B = 200, \sigma = 10, r = 0.2, r_b = 0.4$. 首先观察零售渠道占有的市场比例 s 和制造商的风险厌恶程度 k 与制造商目标效用和零售商期望利润的关系,进而观察他们对风险厌恶制造商融资模式选择的影响.令 $\text{dism} = U(\pi_m^a) - U(\pi_m^b)$ 表示提前支付和银行贷款融资模式下制造商目标效用的差值,当 dism 为正(负)时,制造商倾向于选择提前支付(银行贷款)融资模式,令 $\text{disr} = E[\pi_r^a] - E[\pi_r^b]$ 表示两种融资模式下零售商期望利润的差值,数值实验的结果见表1.

根据表1可知,1) 风险厌恶制造商受资金约束但采取不融资策略时目标效用始终最低.这表明制造商始终倾向于进行融资以获得更大的效用;2) 风险厌恶制造商融资模式的选择不受零售渠道市场占比 s 的影响,而只受到制造商风险厌恶程度的影响.即风险厌恶程度较低的制造商倾向于选择提前支付融资模式,而风险厌恶程度较高的制造商则更愿意选择银行贷款融资模式,这与推论5的结论是一致的;3) 零售商获得的期望利润不但随着零售渠道市场占比的增加而增加,也随着制造商风险厌恶程度的增加而增加,前者是

容易理解的, 而后者却意味着上游供应商越风险厌恶对下游零售商越有利, 4) 当零售渠道市场占比较小时, 零售商在提前支付融资模式下比在银行贷款融资模式下可获得更高的期望利润; 而当零售渠道市场占比较大时, 只有当制造商风险厌恶程度相对较高时, 零售商在提前支付融资模式下才可以获得更高的期望利润.

表 1 制造商的目标效用和零售商的期望利润对比
Table 1 Comparison on the manufacturer's utility and retailer's expected profit

s	k	$U(\pi_m^1)$	$U(\pi_m^a)$	$U(\pi_m^b)$	dism	$E[\pi_r^1]$	$E[\pi_r^a]$	$E[\pi_r^b]$	disr
0.3	0	638.86	649.13	641.88	7.25	5.22	12.56	7.56	5.00
	0.2	577.94	598.77	593.82	4.95	5.29	16.30	9.30	7.00
	0.4	517.03	550.70	548.05	2.65	5.36	20.22	11.22	9.00
	0.6	456.12	504.92	504.57	0.35	5.42	24.32	13.32	11.00
	0.8	395.21	461.42	463.37	-1.95	5.49	28.60	15.60	13.00
	1	334.30	420.21	424.46	-4.25	5.56	33.06	18.06	15.00
0.5	0	542.86	550.13	542.88	7.25	32.65	35.06	33.06	2.00
	0.2	488.68	502.88	498.13	4.75	35.15	43.06	39.06	4.00
	0.4	434.71	458.13	455.88	2.25	37.73	51.56	45.56	6.00
	0.6	380.96	415.88	416.13	-0.25	40.41	60.56	52.56	8.00
	0.8	327.43	376.13	378.88	-2.75	43.18	70.06	60.06	10.00
	1	274.11	338.88	344.13	-5.25	46.05	80.06	68.06	12.00
0.7	0	501.71	511.13	503.88	7.25	83.59	75.56	76.56	-1.00
	0.2	448.06	460.77	456.22	4.55	91.34	90.30	89.30	1.00
	0.4	395.20	413.50	411.65	1.85	99.43	106.02	103.02	3.00
	0.6	343.15	369.32	370.17	-0.85	107.86	122.72	117.72	5.00
	0.8	291.89	328.22	331.77	-3.55	116.64	140.40	133.40	7.00
	1	241.44	290.21	296.46	-6.25	125.76	159.06	150.06	9.00
0.8	0	501.71	514.13	506.88	7.25	117.88	102.56	105.06	-2.50
	0.2	445.99	459.89	455.44	4.45	129.31	121.60	122.10	-0.50
	0.4	391.50	409.17	407.52	1.65	141.27	141.92	140.42	1.50
	0.6	338.24	361.97	363.12	-1.15	153.76	163.52	160.02	3.50
	0.8	286.22	318.29	322.24	-3.95	166.78	186.40	180.90	5.50
	1	235.43	278.13	284.87	-6.75	180.33	210.56	203.06	7.50

其次, 观察制造商风险厌恶程度以及提前付款折扣因子与提前支付融资模式下企业定价决策和相应的双渠道期望需求的关系, 以及与提前支付和银行贷款融资模式下制造商目标效用的关系, 进而分析上述两种因素对制造商最优融资模式选择的影响. 为此, 令 $s = 0.3$, 并让 r 在区间 $[0, 0.8]$ 内以 0.2 为步长变化, 让 k 在 $[0, 1]$ 区间内以 0.3 为步长变化, 其他参数取值与前面一致. 数值实验的结果见表 2.

从表 2 可以看出, 1) 当制造商的风险厌恶程度较低时, 选择提前支付融资模式始终对制造商更有利. 而当制造商的风险厌恶程度较高时, 如果提前付款折扣因子较低, 制造商则会倾向于选择银行贷款融资模式; 如果提前支付折扣因子较高时, 制造商则倾向于选择提前支付融资模式; 2) 当制造商风险厌恶程度较小时, 随着提前付款折扣因子的增大, 提前支付融资模式下风险厌恶制造商的目标效用先减少后增加, 这与肖肖等^[3]的结论相同; 当制造商风险厌恶程度较高时, 制造商向零售商提供更高的提前付款折扣反而对制造商有利. 这主要是由于制造商制定了更高的批发价和直销价但零售渠道的期望需求不变, 所以尽管提供给零售商更高的提前支付折扣, 制造商仍可以通过提高批发价以及直销价带来更多的好处. 这表明, 制造商给予零售商更高的提前付款折扣反而对自身更有利, 同时零售商也可以获得更高的利润, 实现双赢.

下面分析制造商给予的提前付款折扣因子 r 的变化对零售商期望利润的影响, 以及制造商风险厌恶程度变化对双渠道定价与相应的期望需求的影响. 为此, 首先令零售渠道市场占比 $s = 0.3$, 制造商风险厌恶

程度 $k = 0.6$, 其它参数值保持前面给定的值不变, 而让折扣因子 r 以 0.05 为步长从 0 变到 0.5, 来观察 r 变化对零售商期望利润的影响, 其结果出示在图 1 中. 由图 1 可以看出, 制造商给予零售商的提前付款折扣因子越大, 零售商的期望利润也越大. 而且零售商在提前支付融资模式下比在银行贷款融资模式下可以获得更高的利润. 这主要是因为提前支付融资模式下, 零售商可以获得一部分折扣收益.

表 2 提前付款折扣因子与制造商风险厌恶程度对制造商和零售商最优决策的影响

Table 2 The effect of prepayment discount factor and manufacturer's risk aversion on manufacturer and retailer's optimal decision

k	r	d_r^a	d_m^a	p_r^a	p_m^a	w^a	$U(\pi_m^a)$	$U(\pi_r^b)$	dism
0	0	3.25	20.13	34.25	39.00	31.00	651.88	641.88	10.00
	0.2	3.52	19.38	34.75	40.00	32.50	649.13	641.88	7.25
	0.4	3.25	18.63	35.25	41.00	34.00	647.88	641.88	6.00
	0.6	3.25	17.88	35.75	42.00	35.50	648.13	641.88	6.25
	0.8	3.25	17.13	36.25	43.00	37.00	649.88	641.88	8.00
0.3	0	3.70	21.18	32.95	37.30	29.25	574.66	570.65	4.00
	0.2	3.70	20.43	33.45	38.30	30.75	574.45	570.65	3.80
	0.4	3.70	19.68	33.95	39.30	32.25	575.75	570.65	5.10
	0.6	3.70	18.93	34.45	40.30	33.75	578.55	570.65	7.90
	0.8	3.70	18.18	34.95	41.30	35.25	582.85	570.65	12.20
0.6	0	4.15	22.23	31.65	35.60	27.50	502.57	504.57	-2.00
	0.2	4.15	21.48	32.15	36.60	29.00	504.92	504.57	0.35
	0.4	4.15	20.73	32.65	37.60	30.50	508.77	504.57	4.20
	0.6	4.15	19.98	33.15	38.60	32.00	514.12	504.57	9.55
	0.8	4.15	19.23	33.65	39.60	33.50	520.97	504.57	16.40
0.9	0	4.60	23.28	30.35	33.90	25.75	435.63	443.63	-8.00
	0.2	4.60	22.53	30.85	34.90	27.25	440.53	443.63	-3.10
	0.4	4.60	21.78	31.35	35.90	28.75	446.93	443.63	3.30
	0.6	4.60	21.03	31.85	36.90	30.25	454.83	443.63	11.20
	0.8	4.60	20.28	32.35	37.90	31.75	464.23	443.63	20.60

图 2、图 3 和图 4 分别描绘了制造商风险厌恶程度对渠道价格、批发价格和渠道需求的影响.

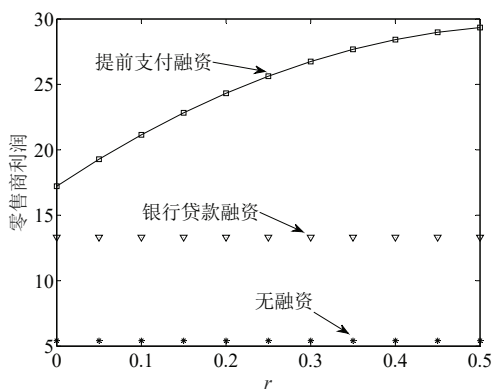


图 1 提前付款折扣因子对零售商期望利润的影响

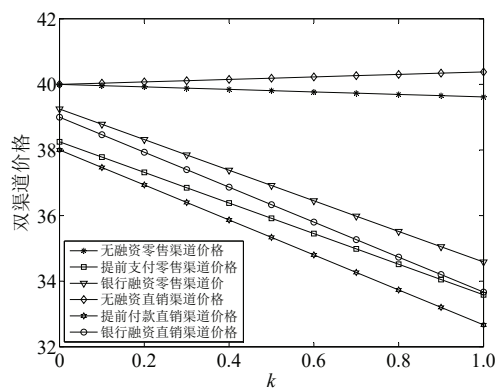


图 2 制造商风险厌恶程度对渠道价格的影响

Fig. 1 The effect of prepayment discount factor on retailer's expected profit

Fig. 2 The effect of manufacturer's risk aversion on channel's prices

由图 2~图 4 易观察出, 在不融资情形下, 批发价格和零售价格与制造商风险厌恶程度 k 呈反比, 而随着 k 的增加, 制造商直销价不断增大, 两个渠道的期望需求也不断增加. 而在提前支付和银行贷款融资模式

下, 当制造商风险厌恶程度增加时, 批发价格、直销价格和零售价格均不断减小, 而两个渠道期望需求不断增加。

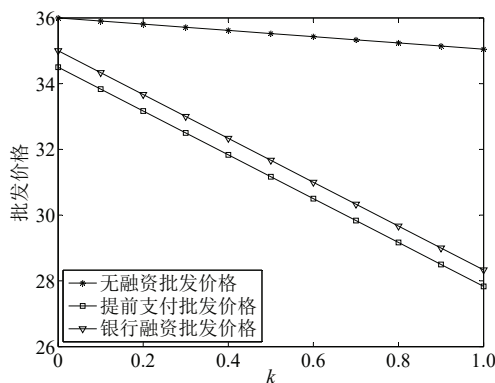


图3 制造商风险厌恶程度对批发价格的影响

Fig. 3 The effect of manufacturer's risk aversion on wholesale price

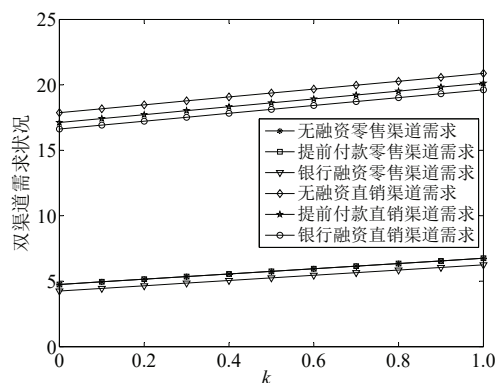


图4 制造商风险厌恶程度对渠道需求的影响

Fig. 4 The effect of manufacturer's risk aversion on demand

最后, 分析当制造商和零售商都为风险厌恶且风险厌恶信息不对称时, 制造商的风险厌恶程度和零售商风险厌恶系数上界对制造商融资模式选择决策的影响. 为此, 令 $\bar{k}_r = 0$, k 以 0.2 为步长从 0.2 变化到 0.8, $\bar{k}_r$ 以 0.2 为步长从 0 变化到 1, 并记 $\text{dis1} = U(\pi_m^{\text{nr}}) - U(\pi_m^{\text{nb}})$, 实验结果见表 3。

表3 拓展情形下参数 k 和 $\bar{k}_r$ 对制造商目标效用的影响

Table 3 The impact of parameters k and $\bar{k}_r$ on the manufacturer's utility under extent situation

k	$\bar{k}_r$	$U(\pi_m^{\text{nr}})$	$U(\pi_m^{\text{nb}})$	dis1	k	$\bar{k}_r$	$U(\pi_m^{\text{nr}})$	$U(\pi_m^{\text{nb}})$	dis1
0.2	0.0	544.10	539.25	4.85	0.6	0.0	455.09	455.04	0.05
	0.2	545.86	540.81	5.05		0.2	456.53	456.28	0.25
	0.4	547.66	542.41	5.25		0.4	458.01	457.56	0.45
	0.6	549.50	544.05	5.45		0.6	459.53	458.88	0.65
	0.8	551.38	545.73	5.65		0.8	461.09	460.24	0.85
	1.0	553.30	547.45	5.85		1.0	462.69	461.64	1.05
0.4	0.0	498.42	495.97	2.45	0.8	0.0	414.10	416.45	-2.35
	0.2	500.02	497.37	2.65		0.2	415.37	417.53	-2.15
	0.4	501.66	498.81	2.85		0.4	416.70	418.65	-1.95
	0.6	503.34	500.29	3.05		0.6	418.06	419.81	-1.75
	0.8	505.06	501.81	3.25		0.8	419.46	421.01	-1.55
	1.0	506.82	503.37	3.45		1.0	420.90	422.25	-1.35

从表 3 可以看到, 在风险厌恶信息不对称情形下, 风险厌恶制造商在两种融资模式下的目标效用与制造商风险厌恶程度呈负相关, 但却与零售商风险厌恶系数上界呈正相关. 而制造商的融资模式选择决策却不受零售商风险厌恶系数上界的影响, 但会受到制造商风险厌恶程度的影响, 即当制造商风险厌恶程度较大时, 制造商倾向于选择银行贷款融资模式. 而当制造商风险厌恶程度较小时, 制造商倾向于选择提前支付融资模式, 这与零售商为风险中性且信息对称情形下的结论相同。

6 结束语

本文针对由单一制造商和单一零售商组成的双渠道供应链, 探讨了企业存在风险厌恶行为和信息不对称背景下制造商和零售商最优定价策略以及制造商融资模式选择策略问题. 针对制造商资金不足, 考虑其有三种不同的模式选择: 不融资、提前支付融资和银行贷款融资, 基于制造商-Stackelberg 博弈框架, 分别构建了三种模式下供应链双方的定价决策模型, 通过求解获得了零售商和制造商最优定价策略. 而通过对比

不同模式下制造商最优目标效用得到了制造商的最优融资策略,可知其选择融资来增加产量比选择不融资会更有利,同时考虑了组合融资方式并构建了相应的模型,发现选择单一融资模式比选择两种模式的组合更有利.根据模型求得的最优解析解分析了供应链成员风险厌恶程度和风险厌恶信息不对称对最优定价策略和制造商融资模式选择策略的影响,得到了不同因素与最优策略的关系,帮助企业在不同情形下做出最优的策略.需要指出的是,对于企业的融资困境,仅仅只有本文研究的两种融资模式是远远不够的,探究更好的融资模式或者研究实际使用的其他融资模式也是后续值得研究的问题.同时,本文的相关理论和分析基于一些假设下得到的,后续将进一步放宽假设.

参考文献:

- [1] Giri B C, Chakraborty A, Maiti T. Pricing and return product collection decisions in a closed-loop supply chain with dual-channel in both forward and reverse logistics. *Journal of Manufacturing Systems*, 2017, 42: 104–123.
- [2] Chiang W Y K, Chhajed D, Hess J D. Direct marketing, indirect profits: A strategic analysis of dual-channel supply-chain design. *Management Science*, 2003, 49(1): 1–20.
- [3] 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)
- [4] 王文利, 骆建文. 基于价格折扣的供应链预付款融资策略研究. *管理科学学报*, 2014, 17(11): 20–32.
Wang W L, Luo J W. Advance payment financing strategies of supply chains based on price discount. *Journal of Management Science in China*, 2014, 17(11): 20–32. (in Chinese)
- [5] Agrawal V, Seshadri S. Impact of uncertainty and risk aversion on price and order quantity in the newsvendor problem. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2002, 2(4): 410–423.
- [6] Xiao T, Yang D. Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 2017, 114(1): 187–200.
- [7] 简惠云, 许民利. 风险规避下基于 Stackelberg 博弈的供应链回购契约. *系统工程学报*, 2017, 32(6): 829–842.
Jian H Y, Xu M L. Supply chain buyback contract based on Stackelberg game with the assumption of risk-aversion. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(6): 829–842. (in Chinese)
- [8] 陈卫华, 李 凯, 冯 俏. 考虑资金约束和风险态度的供应链定价策略研究. *软科学*, 2015, 29(9): 43–48.
Chen W H, Li K, Feng Q. Research on the supply chain pricing strategy based on risk attitude and capital constraint. *Soft Science*, 2015, 29(9): 43–48. (in Chinese)
- [9] 王 虹, 周 晶. 竞争和风险规避对双渠道供应链决策的影响. *管理科学*, 2010, 23(1): 10–17.
Wang H, Zhou J. Effect of competition and risk aversion on dual channel supply chain. *Journal of Management Science*, 2010, 23(1): 10–17. (in Chinese)
- [10] 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)
- [11] Goyal S K. Economic order quantity under conditions of permissible delay in payments. *Journal of the Operational Research Society*, 1985, 36(4): 335–338.
- [12] Chand S, Ward J. A note on “Economic order quantity under conditions of permissible delay in payments”. *Journal of the Operational Research Society*, 1987, 38(1): 83–84.
- [13] Aggarwal S P, Jaggi C K. Ordering policies of deteriorating items under permissible delay in payments. *Journal of the Operational Research Society*, 1995, 46(5): 658–662.
- [14] Chung K J. A theorem on the determination of economic order quantity under conditions of permissible delay in payments. *Computers & Operations Research*, 1998, 25(1): 49–52.
- [15] Chung K J, Huang T S. The optimal retailer’s ordering policies for deteriorating items with limited storage capacity under trade credit financing. *International Journal of Production Economics*, 2007, 106(1): 127–145.
- [16] Tunca T I, Zhu W. Buyer intermediation in supplier finance. *Management Science*, 2018, 64(12): 5631–5650.
- [17] Thangam A. Optimal price discounting and lot-sizing policies for perishable items in a supply chain under advance payment scheme and two-echelon trade credits. *International Journal of Production Economics*, 2012, 139(2): 459–472.

- [18] 占济舟, 张福利, 赵佳宝. 供应链应收账款融资和商业信用联合决策研究. 系统工程学报, 2014, 29(3): 384–432.
Zhan J Z, Zhang F L, Zhao J B. Research on decision-making with supply chain accounts receivable financing combined trade credit. Journal of Systems Engineering, 2014, 29(3): 384–432. (in Chinese)
- [19] Tang C S, Yang S A, Wu J. Sourcing from suppliers with financial constraints and performance risk. Manufacturing & Service Operations Management, 2018, 20(1): 70–84.
- [20] Kouvelis P, Zhao W. Who should finance the supply chain: Impact of credit ratings on supply chain decisions. Manufacturing & Service Operations Management, 2018, 20(1): 19–35.
- [21] Kouvelis P, Zhao W. Financing the newsvendor: Supplier vs. bank, and the structure of optimal trade credit contracts. Operations Research, 2012, 60(3): 566–580.
- [22] 钟远光, 周永务, 李柏勋, 等. 供应链融资模式下零售商的订货与定价研究. 管理科学学报, 2011, 14(6): 57–67.
Zhong Y G, Zhou Y W, Li B X, et al. The retailer's optimal ordering and pricing policies with supply chain financing. Journal of Management Science in China, 2011, 14(6): 57–67. (in Chinese)
- [23] 王文利, 骆建文. 零售商提前支付与贷款担保下的供应商融资策略. 管理工程学报, 2013, 27(1): 178–184.
Wang W L, Luo J W. Strategies for financing suppliers based on retailers' prepayment and loan guarantee. Journal of Engineering and Engineering Management, 2013, 27(1): 178–184. (in Chinese)
- [24] Deng S, Gu C, Cai G, et al. Financing multiple heterogeneous suppliers in assembly systems. Manufacturing & Service Operations Management, 2018, 20(1): 53–69.
- [25] 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)
- [26] 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)
- [27] Gang X, Wang S, Lai K K. Quality investment and price decision in a risk-averse supply chain. European Journal of Operational Research, 2011, 214(2): 403–410.
- [28] Wu J, Li J, Wang S, et al. Mean-variance analysis of the newsvendor model with stockout cost. Omega: International Journal of Management Science, 2009, 37(3): 724–730.
- [29] Li C, Zhou Y, Lu Y, et al. Cooperative game analysis of a supply chain with one risk-neutral supplier and two risk-averse retailers. Journal of Industrial Engineering & Management, 2014, 7(4): 816–830.
- [30] 金 伟, 骆建文. 考虑风险规避的资金约束供应链最优信用契约设计. 中国管理科学, 2018, 26(1): 35–46.
Jin W, Luo J W. Optimal credit contract design for a capital-constrained supply chain incorporating into risk aversion. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(1): 35–46. (in Chinese)
- [31] Mukhopadhyay S K, Zhu X, Yue X. Optimal contract design for mixed channels under information asymmetry. Production & Operations Management, 2008, 17(6): 641–650.
- [32] 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.
- [33] Choi T M. Mean-variance analysis for supply chain management models. Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong, 2002.
- [34] Xiao T J, Yang D Q. Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertainty. International Journal of Production Economics, 2008, 114 (1): 187–200.

作者简介:

周永务(1964—), 男, 安徽庐江人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 库存控制与优化, 物流与供应链管理, 运筹与优化. Email: zyw.666@hotmail.com;

张 雄(1993—), 男, 江西宜春人, 博士生, 研究方向: 物流与供应链, 供应链金融. E-mail: zx_scut@163.com;

李 璐(1990—), 女, 河南南阳人, 硕士, 研究方向: 物流与供应链, 供应链金融. Email: 374103087@qq.com.

附 录

定理 1 证明

证明 由式(3)易得 $\frac{\partial E[\pi_r]}{\partial p_r} = sa - 2p_r + \theta p_m + w$, $\frac{\partial^2 E[\pi_r]}{\partial p_r^2} = -2 < 0$, 可知风险中性零售商期望利润 $E[\pi_r]$ 是关于 p_r 的凹函数. 因此令 $\frac{\partial E[\pi_r]}{\partial p_r} = 0$, 可得任意给定直销价和批发价情况下零售商最优反应函数 $p_r = \frac{sa + \theta p_m + w}{2}$, 将其代入风险厌恶制造商目标效用函数式(7)中, 易知风险厌恶制造商目标效用函数 $U(\pi_m)$ 是关于 (p_m, w) 的联合凹函数, 通过一阶最优性条件, 可得最优直销价和批发价分别为

$$(p_m^0, w^0) = \left(\frac{(a - k\sigma)(1 - s + \theta s) + c(1 - \theta^2)}{2(1 - \theta^2)}, \frac{(a - k\sigma)(1 - s + \theta s)\theta + (c + as - 2k\sigma s)(1 - \theta^2)}{2(1 - \theta^2)} \right). \quad (61)$$

将最优定价 p_m^0 和 w^0 代入到零售商最优反应函数 p_r , 可得最优零售价为

$$p_r^0 = \frac{2\theta(a - k\sigma)(1 - s + \theta s) + (c + c\theta + 3as - 2k\sigma s)(1 - \theta^2)}{4(1 - \theta^2)}. \quad (62)$$

将制造商和零售商的最优定价代入到式(1)和式(2), 可得直销渠道和零售渠道最优期望需求, 具体表达式出示于式(11). 由于制造商需要生产 $d_r^0 + d_m^0$ 单位商品, 易知制造商需要的资金量为

$$c(d_r^0 + d_m^0) = \frac{c(2(a + k\sigma) - (1 - \theta)(as + c\theta + 3c))}{4},$$

故当制造商的初始资金量 $B \geq \frac{c(2(a + k\sigma) - (1 - \theta)(as + c\theta + 3c))}{4}$ 时, 风险厌恶制造商的生产资金量充足, 则制造商和零售商的最优定价决策分别为 p_m^0, w^0 和 p_r^0 , 具体表达式出示于式(9).

当 $B < \frac{c(2(a + k\sigma) - (1 - \theta)(as + c\theta + 3c))}{4}$ 时, 此时制造商的初始资金无法满足生产需要, 并且假设制造商不进行融资, 该情形下的求解思路如下: 令 $\frac{\partial E[\pi_r]}{\partial p_r} = 0$ 易得任意给定直销价和批发价时零售商的最优反应函数 $p_r = \frac{sa + \theta p_m + w}{2}$, 由于制造商受到资金约束, 此时 $c(dr + dm) = B$. 将 $p_r = \frac{sa + \theta p_m + w}{2}$ 代入到 $c(dr + dm) = B$ 易得 $p_m = \frac{(2B/c) - (sa + w)\theta + a(s - 2) + w}{\theta^2 + \theta - 2}$, 将其代入到风险厌恶制造商的目标效用函数式(8), 易得仅含有决策变量 w 的制造商目标效用函数, 通过对其求关于 w 的二阶导数, 可得 $\frac{\partial^2 U(\pi_m)}{\partial w^2} = \frac{-2\theta^2 - 8\theta - 6}{(\theta + 2)^2} < 0$, 可知制造商目标函数是关于 w 的凹函数. 因此令 $\frac{\partial U(\pi_m)}{\partial w} = 0$ 可得制造商的最优批发价, 将最优批发价代入 $p_r = \frac{sa + \theta p_m + w}{2}$ 和 $p_m = \frac{(2B/c) - (sa + w)\theta + a(s - 2) + w}{\theta^2 + \theta - 2}$ 可得最优零售价和直销价, 具体表达式出示于式(10). 证毕.

结论1的证明

证明 引入 β 后, 零售商的期望利润函数为(令上标“c”表示该情形)

$$E[\pi_r^c] = (p_r - w)(sa - p_r + \theta p_m) + r\beta L, \quad (63)$$

而风险规避制造商的目标效用函数为

$$U(\pi_m^c) = (w - c)(sa - p_r + \theta p_m) + (p_m - c)((1 - s)a - p_m + \theta p_r) - r\beta L - r_b(1 - \beta)L - k((w - c)s + (p_m - c)(1 - s) - r\beta c - r_b(1 - \beta)c)\sigma. \quad (64)$$

利用逆向求解法, 容易获得制造商和零售商最优定价, 将最优定价代入式(64) 易得风险规避制造商的最优目标效用. 对风险规避制造商最优目标效用关于 β 进行求导, 易得风险规避制造商最优目标效用关于 β 的二阶偏导数为

$$\frac{\partial^2 U(\pi_m^c)}{\partial \beta^2} = \frac{c^2(4rr_b\theta^2 - 2r^2\theta^2 - r_b^2\theta^2 - 2r_b^2\theta + 2r^2 - 4rr_b + 3r_b^2)}{4}.$$

为了证明 $\frac{\partial^2 U(\pi_m^c)}{\partial \beta^2} \geq 0$, 令 $Y = 4rr_b\theta^2 - 2r^2\theta^2 - r_b^2\theta^2 - 2r_b^2\theta + 2r^2 - 4rr_b + 3r_b^2$, 易得 $\frac{\partial^2 Y}{\partial r^2} = 4(1 - \theta^2) \geq 0$, 这表明 Y 是关于 r 的凸函数, 因此令 $\frac{\partial Y}{\partial r} = 0$ 可知 Y 的最小值在 $r = r_b$ 处取得. 将 $r = r_b$ 代入 Y 中可得 $Y = r^2(1 - \theta)^2 \geq 0$, 因此证得 $\frac{\partial^2 U(\pi_m^c)}{\partial \beta^2} \geq 0$ 恒成立. 这说明风险规避制造商的最优目标效用是关于 β 的凸函数, 而根据前文定义知 $0 \leq \beta \leq 1$, 因此风险规避制造商的最优目标效用的最大值只能在 $\beta = 0$ 或 $\beta = 1$ 处取得. 而 $\beta = 0(\beta = 1)$ 代表制造商全部通过银行贷款(提前支付)融资模式获取资金, 故风险规避制造商采取单一的融资模式比采用两种融资模式的组合更优. 证毕.