

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2022.0001.014

考虑 3PL 企业融资服务的三级供应链最优策略

沈 丽¹, 李莉英²

(1. 重庆工程学院 通识学院, 重庆 400900; 2. 重庆交通大学 数学与统计学院, 重庆 400074)

摘 要:针对一个由供应商、第三方物流(3PL)企业和受资金约束且具有损失规避行为的零售商组成的三级供应链,提出了由 3PL 企业提供融资服务的供应链决策模式;假设在零售商具有有限责任能力且供应商为融资服务提供信用保证的情况下,求解得出风险中性和风险规避零售商的最优订购决策、3PL 企业的最优贷款利率决策以及供应商的最优批发价格决策;通过数值算例分析得出单位运输费用、零售商的初始资金和损失规避程度对供应链成员最优决策的影响。

关键词:损失规避;资金约束;3PL 融资服务;信用保证

中图分类号:C931;F274

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2022)01-0101-10

0 引 言

中小企业对经济发达国家或发展中国家的经济发展起着重要的推动作用。在实践中,中小企业资金缺乏是阻碍其发展的突出问题,资金短缺会导致供应链成员自身和整体的正常运营出现问题。供应链融资是解决中小企业资金约束问题的一种有效途径。根据资金的来源,可以将供应链融资主要分为两大类:贸易信用融资模型和银行融资模型。贸易信用融资模型是指企业凭借它的信用向供应链中的上游或下游成员做提前支付或延迟支付贷款。银行融资模型是指企业向银行借款以维持运营。

近年来,越来越多的第三方物流(3PL)企业为企业提供各种各样的服务(例如采购、运输、仓储等),并且在供应链的运营管理中占据着越来越重

要的作用^[1-2]。随着竞争的加剧,3PL 企业也在探索新的服务形式。一些大型的国际物流公司多年来一直提供融资服务^[3],例如,UBS、MSK 等公司。在中国,顺丰快递也为使用其物流服务的客户提供类似的金融服务^[4]。3PL 企业提供的融资服务成为供应链中众多资金缺乏的中小企业青睐的一种新的融资方式,并且 3PL 企业融资服务有其独特的优点:一方面,3PL 企业可以利用其本身作为融资提供者的地位,协调物流、资金流和信息流,有利于其对货物的监管,降低融资风险^[3];另一方面,为了提高利润和市场竞争地位,3PL 企业可以通过采取可变运输费用策略来刺激零售商接受其融资服务^[5]。因此,3PL 企业作为服务的组织者,可以为供应链企业创造额外价值^[6]。近年来,越来越多的学者开始关注在 3PL 融资服务下的供应链运营管理这个重要的研究课题。然而,在现有的供应链融资模式的相

收稿日期:2020-12-12;修回日期:2021-01-07.

基金项目:重庆市研究生导师团队建设项目(JDDSTD201802).

作者简介:沈丽(1995—),女,重庆石柱人,硕士研究生,从事物流与供应链管理研究.

通讯作者:李莉英(1975—),女,四川自贡人,副教授,博士,从事物流与供应链管理研究.

关研究中,3PL 融资服务的作用往往研究较少甚至被忽视^[6-7]。

与本文研究紧密相关的文献主要有两类:一是有关资金约束供应链和 3PL 融资模型方面的研究;二是有关供应链成员具有损失规避偏好性的文献。

近年来,资金约束供应链的融资问题成为学者们的研究热点。Xu 和 Birge^[8]研究了资金约束生产商在资金结构的影响下如何进行库存决策。Zhou 和 Groenevelt^[9]比较了零售商受到资金约束的供应链中预付款融资模式和银行融资模式,并且得出:就提高供应链效益而言,银行融资模式优于预付款融资模式。Kouvelis 和 Zhao^[10]得出:给定一个合适的贸易信用合同,相比银行融资模式,零售商更喜欢预付款模式。Yan 等^[11]对于零售商受资金约束的供应链系统设计了一个信用保证模式,此模式是银行融资模式和贸易信用融资模式的一种混合。并且,他们指出信用保证是解决中小企业融资难题的有效方式。Lin 和 Xiao^[12]分析了资金约束是如何影响供应链成员在两种不同订货合同下的最优策略。史立刚、彭红军和丛静^[13]研究了受到资金约束的农户在银行融资模式和有价格折扣的预付款模式下的生产决策和企业的收购价格决策,并且比较了供应链内外部的融资方式。上述文章没有考虑运输费用对供应链融资策略的影响。Chen 和 Cai^[3]研究了在银行融资模式和 3PL 服务融资模型下,零售商的订货策略和贷方的融资策略,并且比较了这两种模式下的最优运营策略。黄帅和樊治平^[14]假设零售商是资金约束且损失规避的,并且分析了在 3PL 融资模式下零售商的运营和协调策略。同年,Huang 等^[15]在 3PL 融资模型下,研究了运输费用对资金约束供应链的影响,并且也比较了供应链成员在资金充足和资金约束供应链两种模式下的最优策略和收益。文献[3, 14, 15]都考虑了 3PL 融资模式,仅有文献[14]在考虑 3PL 融资模式的情况下还考虑了零售商的风险偏好对融资决策的影响,但是此文献考虑的是二级供应链。

近年来,越来越多的学者开始关注供应链成员对风险态度的改变对供应链运营和决策的影响。例如, Schweitzer 和 Cachon^[16]详细刻画了损失规避型

效用函数并且给出了其性质。Wang 和 Webster^[17]研究了损失规避和风险中性两种条件下的报童模型,得出当缺货成本存在时,相比风险中性零售商,损失规避零售商订购的产品数量更多。Chen 等^[18]调查了一个由零售商和供应商组成的二级供应链,并且损失规避零售商通过期权合约来确定采购量。马立军等^[19]分析了采用提前支付策略下损失规避零售商的最优订货策略。马超等^[20]通过管理采购库存风险来刺激损失规避零售商扩大产品订购量,并且他们也讨论了风险分散契约在不确定需求下的可行性和协调性。上述文献都假定供应链成员没有受到资金约束的影响。近年来,也有少数文献同时考虑了某个供应链成员受到资金约束且具有损失规避偏好。例如,Li 等^[21]考虑了银行是损失规避的,供应商受到资金约束且制造商用投资来转移下游顾客破产风险。金伟和骆建文^[21]研究了当零售商受到资金约束时,具有损失规避行为的供应商如何通过设计信用契约影响零售商的融资结构以及供应商的风险规避程度对最优信用决策的影响。Yan 等^[22]假设零售商受到资金约束,并且比较分析了损失规避的零售商在供应链投资和供应链融资两种方案下的订购决策以及供应商的定价决策。上述文献中,仅有文献[22]同时分析了零售商受到资金约束且损失规避的情况。

从以上文献来看,在资金约束供应链中考虑 3PL 融资服务的文献很少。同时考虑供应链成员的损失规避特性和 3PL 融资服务的模型只有文献[16]。而本文考虑了一个由供应商、3PL 企业和零售商组成的三级供应链。在这个供应链中,零售商受到资金约束且厌恶损失,3PL 企业向零售商提供融资服务,且供应商提供信用保证。与黄帅和樊治平^[16]相比,不同的地方在于:考虑供应商提供信用保证;考虑零售商是有限责任能力的;考虑的是由供应商、3PL 企业和零售商组成的三级供应链。

1 模型描述

本文考虑了一个由供应商、3PL 企业和零售商组成的三级供应链。在这个供应链中,零售商受到

资金约束且具有损失规避行为。供应商与3PL企业均为风险中性。在此供应链中,3PL企业不仅为零售商提供运输服务,同时还为零售商提供贷款融资服务。为了减少零售商破产给3PL企业造成的违约风险,供应商为这种融资服务提供信用保证。本文中,供应商、3PL企业以及零售商是Stackelberg博弈关系。其中,供应商作为领导者,3PL企业作为次领导者,零售商作为跟随者。

为了分析和描述模型,变量假设如下:

c : 供应商的单位产品生产成本;

v : 3PL企业的单位运输成本;

t : 3PL企业的单位运输费用;

p : 零售商的单位零售价格, p 单位化为1;

X : 随机需求, $X \geq 0$;

λ : 供应商的信用保证系数, $0 \leq \lambda \leq 1$;

b : 零售商的初始资金;

μ : 零售商的损失规避系数, $\mu \geq 1$;

q_i : $i=1, 2, \dots$, 分别表示风险中性和损失规避下零售商的订货量;

w : 供应商的单位批发价格;

r : 3PL企业借款给零售商的贷款利率。

假设市场需求 X 是不确定的非负随机变量,并且其概率密度函数为 $f(x)$, 其概率分布函数为 $F(x)$ 。此外, $F(x)$ 是可导、严格单调递增的,且在 $[0, +\infty)$ 范围内绝对连续。此外,假设概率分布函数满足广义失效率递增(IGFR)的性质,即 $h(x) = f(x)/\bar{F}(x)$, $H(x) = xh(x)$ 都是单增函数,其中 $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ 。许多分布满足失效率递增的性质,如正态分布、指数分布、均匀分布等^[22]。

假设零售商是具有有限责任能力的。当市场需求达到后,若他的销售收入无法偿还3PL企业的贷款,则零售商宣布破产。此时,零售商用其全部销售收入偿还借款。

零售商的损失规避效用可用如下形式的函数刻画^[17]:

$$u(\pi^R) = \begin{cases} \pi^R - \pi_0, & \text{若 } \pi^R \geq \pi_0 \\ \mu(\pi^R - \pi_0), & \text{若 } \pi^R < \pi_0 \end{cases} \quad (1)$$

假设零售商具有损失规避的风险偏好,其中 π_0 代表零售商的参考利润水平。为了不失一般性,假

设 $\pi_0 = 0$ 。 $\mu \geq 1$ 表示零售商的风险规避程度并且 μ 越大,零售商风险规避程度越高。此外,当 $\mu = 1$ 时,零售商为风险中性。

不失一般性,假定零售价格 p 标准化为1。另外 $w > c > 0, t > v > 0, (w+t)(1+r) < 1$ 。并且,用 $c_r = w+t$ 表示零售商的单位总成本。

此外,供应商、3PL企业以及零售商具有对称信息。

2 零售商的最优订货策略

在供应商、3PL企业和零售商构成的Stackelberg博弈中,供应商是领导者,3PL企业是次领导者,零售商是跟随者。本节分析在风险中性和损失规避下零售商的最优订货策略。博弈的顺序为:供应商首先确定最优批发价格;其次,3PL企业确定最优利率;最后,零售商确定最优订货数量。本文是采用逆向归纳法求解该博弈。给定3PL企业的融资利率 r 和供应商的批发价格 w ,零售商决定最优的订购量 q 。由需求的不确定性可知,关于零售商的破产和损失规避存在两个需求临界值。记 $\hat{x}_{1i} = (c_r q_i - b)(1+r)$ ($i=1, 2$), 则 \hat{x}_{1i} 表示无破产风险的最小需求量。记 $\hat{x}_{2i} = (c_r q_i - b)(1+r) + b$ ($i=1, 2$), 则 \hat{x}_{2i} 表示零售商损失规避的最小需求量,当实现需求 $x < \hat{x}_{2i}$ 时,零售商的利润为负。注意到, $\hat{x}_{2i} = \hat{x}_{1i} + b$ 。

2.1 风险中性零售商的订货策略

风险中性零售商的利润函数为

$$\pi^R(q_1) = E\{[p_{\min}(q_1, X) - (c_r q_1 - b)(1+r)]^+ - b\} \quad (2)$$

其中, $p_{\min}(q_1, X)$ 表示零售商所获得的销售收入, $(c_r q_1 - b)(1+r)$ 为零售商在销售完商品后向3PL企业偿还的本金和利息。由于零售商具有有限责任能力,故当销售收入不足以向3PL企业偿还贷款本息和时,零售商破产。此时,零售商只损失初始资金。

命题1 风险中性零售商的最优订购量 q_1^* 满足:

$$\bar{F}(q_1^*) = (1+r)c_r \bar{F}(\hat{x}_{11}) \quad (3)$$

其中, $c_r = w+t, \hat{x}_{11} = (c_r q_1^* - b)(1+r)$ 。

命题 1 表明,风险中性零售商的订货量与利率相关,同时受到批发价、运输成本和破产风险的影响。不同于只关注债权人的财务状况的融资,此模型将财务与运营作为一个整体,揭示了二者之间不可分割的关系。

证明 首先对式(2)关于 q_1 求一阶和二阶偏导数,有

$$\frac{d\pi^R(q_1)}{dq_1} = \bar{F}(q_1) - \bar{F}(\hat{x}_{11})c_r(1+r)$$

$$\frac{d^2\pi^R(q_1)}{dq_1^2} = -f(q_1) + (1+r)^2c_r^2f(\hat{x}_{11})$$

因为 $0 < \hat{x}_{11} < q_1$ 且 $f(x)$ 为单调递增函数,则 $f(q_1) > f(\hat{x}_{11})$ 。又因为 $c_r(1+r) < 1$, 则 $c_r^2(1+r)^2 < 1$ 。因此, $-f(q_1) + (1+r)^2c_r^2f(\hat{x}_{11}) < 0$, 即 $\frac{d^2\pi^R(q_1)}{dq_1^2} < 0$ 。由此可见, $\pi^R(q_1)$ 是关于 q_1 的严格凹函数, q_1^* 是唯一的最优解。令 $\frac{d\pi^R(q_1)}{dq_1} = 0$, 可得到最优解满足式(3)。

2.2 损失规避下零售商的订货策略

本节考虑零售商是损失规避(即 $\mu > 1$)的情况。与零售商风险中性情况类似,将式(2)代入式(1),得到损失规避下零售商的效用函数为

$$u(\pi^R) = \int_0^{q_2} \bar{F}(x) dx - \mu b + (\mu - 1) \int_0^{\hat{x}_{22}} \bar{F}(x) dx - \mu \int_0^{\hat{x}_{12}} \bar{F}(x) dx \quad (4)$$

命题 2 损失规避零售商的最优订购量 q_2^* 满足:

$$q_2^* = F^{-1} \{ c_r(1+r) [\mu \bar{F}(\hat{x}_{12}) + (1-\mu) \bar{F}(\hat{x}_{22})] \} \quad (5)$$

其中, $\hat{x}_{12} = (c_r q_2^* - b)(1+r)$, $\hat{x}_{22} = (c_r q_2^* - b)(1+r) + b$ 。

命题 2 表明,当零售商具有损失规避特性时,其最优订购量除了受到批发价、运输价格、利率等因素的影响,还受到损失规避程度的影响。此外, $c_r(1+r)$

$r) [\mu \bar{F}(\hat{x}_{12}) + (1-\mu) \bar{F}(\hat{x}_{22})]$ 可看成零售商的边际成本,它受到需求不确定性的影响。这个表达式也表明,当订货量增加时,订零售商的边际成本反而减少。并且,当订货量增加时,零售商的破产风险也增加。

证明 首先对式(4)求一阶和二阶偏导数,得到

$$\frac{du(\pi^R)}{dq_2} = \bar{F}(q_2) + (\mu-1)c_r(1+r)\bar{F}(\hat{x}_{22}) - \mu c_r(1+r)\bar{F}(\hat{x}_{12})$$

$$\frac{d^2u(\pi^R)}{dq_2^2} = -f(q_2) - c_r^2(1+r)^2 [(1-\mu)f(\hat{x}_{22}) - \mu f(\hat{x}_{12})]$$

将 $h(x) = f(x)/\bar{F}(x)$ 和 $H(x) = xh(x)$ 代入,得到

$$\frac{d^2u(\pi^R)}{dq_2^2} = c_r^2(1+r)^2(\mu-1)\bar{F}(\hat{x}_{22}) [h(\hat{x}_{12}) - h(\hat{x}_{22})] - \bar{F}(q_2) [h(q_2) - c_r(1+r)h(\hat{x}_{12})]$$

由于 $\hat{x}_{12} < \hat{x}_{22} < q_2$, $h(x)$ 是一个单调递增函数,从而得到 $h(\hat{x}_{12}) < h(\hat{x}_{22}) < h(q_2)$ 。又由于 $c_r(1+r) < 1$, 因此有二阶导数 $d^2u(\pi^R)/d(q_2^*)^2 < 0$ 。由一阶条件 $du(\pi^R)/dq_2 = 0$, 得到 q_2^* 满足式(5)。

- 推论 1**
- (1) q_2^* 关于 r 单调递减, 即 $dq_2^*/dr < 0$;
 - (2) q_2^* 关于 μ 单调递减, 即 $dq_2^*/d\mu < 0$;
 - (3) q_2^* 关于 w 单调递减, 即 $dq_2^*/dw < 0$;
 - (4) q_2^* 关于 t 单调递减, 即 $dq_2^*/dt < 0$ 。

推论 1(1) 表明,当 3PL 企业的贷款利率减少时,零售商的成本减少,此时订购量就会增加;推论 1(2) 表明,当零售商损失规避程度增加时,即零售商越厌恶风险时,他为了避免因为订购量太大而带来的高风险高损失时会减少其订购量;推论 1(3) 表明,当供应商的批发价降低时,零售商会增加订货量;推论 1(4) 表明,当单位运输费用增加时,单位产品成本增加,零售商会减少订货量。

证明 (1) 首先将 q_2^* 对 r 求一阶偏导数,得到

$$\frac{dq_2^*}{dr} = \frac{c_r [(1-\mu) \bar{F}(\hat{x}_{22}) + \mu \bar{F}(\hat{x}_{12})] - c_r \hat{x}_{12} [(1-\mu) f(\hat{x}_{22}) + \mu f(\hat{x}_{12})]}{c_r^2 (1+r)^2 [(1-\mu) f(\hat{x}_{22}) + \mu f(\hat{x}_{12})] - f(q_2^*)} \quad (6)$$

根据命题 1 的证明可知,式(6)中的分母小于 0,只

需判断分子的正负。将 $h(x) = f(x)/\bar{F}(x)$ 和

$H(x) = xh(x)$ 带入式(6)分子,得到

$$c_r \mu \overline{F}(\hat{x}_{12}) [1 - \hat{x}_{12} h(\hat{x}_{12})] - c_r (\mu - 1) \overline{F}(\hat{x}_{22}) [1 - \hat{x}_{12} h(\hat{x}_{22})]$$

由于 $\hat{x}_{12} < \hat{x}_{22}$, 且 $h(x)$ 为单调递增函数, 从而有 $1 - \hat{x}_{12} h(\hat{x}_{12}) > 1 - \hat{x}_{12} h(\hat{x}_{22})$, 进一步得到:

$$\overline{F}(\hat{x}_{12}) [1 - \hat{x}_{12} h(\hat{x}_{12})] > \overline{F}(\hat{x}_{22}) [1 - \hat{x}_{12} h(\hat{x}_{22})]$$

$$\frac{dq_2^*}{dw} = \frac{(1+r) [(1-\mu)\overline{F}(\hat{x}_{22}) + \mu\overline{F}(\hat{x}_{12})] - c_r (1+r)^2 q_2^* [(1-\mu)f(\hat{x}_{22}) + \mu f(\hat{x}_{12})]}{c_r^2 (1+r)^2 [(1-\mu)f(\hat{x}_{22}) + \mu f(\hat{x}_{12})] - f(q_2^*)} \quad (7)$$

同样由命题 1 可知, 式(7)分母小于零。类似地, 将 $h(x) = f(x)/\overline{F}(x)$ 和 $H(x) = xh(x)$ 代入式(7)分子得到 $(1+r)\mu\overline{F}(\hat{x}_{12}) [1 - c_r(1+r)q_2^* h(\hat{x}_{12})] - (1+r)(\mu - 1)\overline{F}(\hat{x}_{22}) [1 - c_r(1+r)q_2^* h(\hat{x}_{22})]$, 由 $\mu > 1$ 且 $F(x)$ 与 $h(x)$ 为单调递增函数, 从而有 $\overline{F}(\hat{x}_{22}) < \overline{F}(\hat{x}_{12})$, $h(\hat{x}_{22}) > h(\hat{x}_{12})$ 。又因为

$$1 - c_r(1+r)q_2^* h(\hat{x}_{12}) > 1 - c_r(1+r)q_2^* h(\hat{x}_{22})$$

因此有

$$(1+r)\mu\overline{F}(\hat{x}_{12}) [1 - c_r(1+r)q_2^* h(\hat{x}_{12})] > (1+r)(\mu - 1)\overline{F}(\hat{x}_{22}) [1 - c_r(1+r)q_2^* h(\hat{x}_{22})]$$

从而得出分子大于零。综上所述, $dq_2^*/dw < 0$ 。

(4) 证明与证 $dq_2^*/dt < 0$ 类似, 故证明过程省略。

$$r^* = \begin{cases} \frac{[(1-\lambda)F(\hat{x}_{12}) - 1](c_r q_2^* - b) + [(1-\lambda)c_r F(\hat{x}_{12}) - (t-v)]\Omega_r}{c_r \Omega_r [1 - (1-\lambda)F(\hat{x}_{12})]}, & 0 \leq b < \tilde{b} \\ 0 & b \geq \tilde{b} \end{cases}$$

其中,

$$\Omega_r = \frac{dq_2^*}{dr} = \frac{c_r [(1-\mu)\overline{F}(\hat{x}_{12}) + \mu\overline{F}(\hat{x}_{22})] - c_r \hat{x}_{12} [(1-\mu)f(\hat{x}_{12}) + \mu f(\hat{x}_{22})]}{c_r^2 (1+r)^2 [(1-\mu)f(\hat{x}_{12}) + \mu f(\hat{x}_{22})] - f(q_2^*)}$$

$$\tilde{b} = c_r q_2^* + \frac{\Omega_r [(1-\lambda)c_r F(\hat{x}_{12}) - (t-v)]}{(1-\lambda)F(\hat{x}_{12}) - 1}$$

从命题 3 可以看出, 零售商的初始资金和供应商的信用保证系数对 3PL 企业的最优融资利率都

因此, 可以得出分子大于零。综上所述, $dq_2^*/dr < 0$ 。

(2) 将 q_2^* 对 μ 求一阶偏导数, 得到

$$\frac{dq_2^*}{d\mu} = \frac{c_r (1+r) [\overline{F}(\hat{x}_{12}) - \overline{F}(\hat{x}_{22})]}{c_r^2 (1+r)^2 [(1-\mu)f(\hat{x}_{22}) + \mu f(\hat{x}_{12})] - f(q_2^*)}$$

由 $\overline{F}(\hat{x}_{12}) > \overline{F}(\hat{x}_{22})$ 可知, $dq_2^*/d\mu < 0$ 。

(3) 将 q_2^* 对 w 求一阶偏导数, 得到

3 信用保证下 3PL 企业的融资策略

信用保证指担保机构在融资活动中为债务人提供信用担保, 保障债务履行的法律措施和手段^[23]。本文的信用保证指在销售季节之前, 零售商以利率 r 向 3PL 企业贷款来支付供应商的货款。在销售季节末, 如果零售商实现的销售收益不足以偿还货款, 则零售商破产。此时, 供应商承担 λ 倍的损失, 剩余损失由 3PL 企业承担。零售商的贷款金额为 $c_r q_2^* - b$, 3PL 企业获得贷款的利息收益为 $(c_r q_2^* - b)r$, 运输收益 $(t-v)q_2^*$ 。因此, 在供应商信用保证下, 3PL 企业的利润函数为

$$\pi^L(r) = (c_r q_2^* - b)r + (t-v)q_2^* - (1-\lambda)\hat{x}_{12}F(\hat{x}_{12}) + (1-\lambda)\int_0^{\hat{x}_{12}} xf(x)dx \quad (8)$$

命题 3 在供应商信用保证下, 3PL 企业的最优贷款利率 r^* 满足

有很大影响。从理论上推导它们的相关关系较为复杂, 将在数值算例中去分析。

证明 对式(8)求一阶偏导数,得到

$$\frac{d\pi^L}{dr} = [1 - (1-\lambda)F(\hat{x}_{12})](c_r q_2^* - b) + [(t-v) -$$

$$(1-\lambda)c_r F(\hat{x}_{12})] \frac{dq_2^*}{dr} + rc_r \frac{dq_2^*}{dr} [1 - (1-\lambda)F(\hat{x}_{12})]$$

由一阶条件 $d\pi^L/dr=0$, 可得

$$r^* = \frac{[(1-\lambda)F(\hat{x}_{12})-1](c_r q_2^* - b) + [(1-\lambda)c_r F(\hat{x}_{12}) - (t-v)]\Omega_r}{c_r \Omega_r [1 - (1-\lambda)F(\hat{x}_{12})]}$$

又因为 r^* 是非负的, 即 $r^* \geq 0$ 。在 r^* 分母中, 由 $\Omega_r < 0$ 以及 $1 - (1-\lambda)F(\hat{x}_{12}) < 0$, 可知 r^* 的分母小于 0。此时, 要使 $r^* > 0$, 只需分子大于 0。由分子大于 0, 可得 b 需满足

$$0 \leq b < c_r q_2^* + \frac{\Omega_r [(1-\lambda)c_r F(\hat{x}_{12}) - (t-v)]}{(1-\lambda)F(\hat{x}_{12}) - 1}$$

4 信用保证下供应商的最优决策

在销售季节之前, 供应商(作为博弈领导者)首先决定批发价格 w , 他获得的销售收入为 $(w-c)q_2^*$ 。在销售季节末, 如果零售商破产, 根据信用保证协议, 供应商承担破产损失的 λ 倍。因此, 在信用保

证下, 供应商的利润函数为

$$\pi^C(w) = (w-c)q_2^* - \lambda E[(c_r q_2^* - b)(1+r) - p_{\min}(q_2^*, X)]^+ \quad (9)$$

式(7)又可以进一步表示为

$$\pi^C(w) = (w-c)q_2^* - \lambda \hat{x}_{12} F(\hat{x}_{12}) + \lambda \int_0^{\hat{x}_{12}} x f(x) dx \quad (10)$$

命题 4 供应商的最优批发价 w^* 满足

$$w^* = \frac{c\Omega_w - q_2^* + \lambda(1+r)(q_2^* + t\Omega_w)F(\hat{x}_{12})}{\Omega_w(1-\lambda(1+r)F(\hat{x}_{12}))} \quad (11)$$

其中

$$\Omega_w = \frac{dq_2^*}{dw} = \frac{(1+r)[(1-\mu)\bar{F}(\hat{x}_{22}) + \mu\bar{F}(\hat{x}_{12})] - c_r(1+r)^2 q_2^* [(1-\mu)f(\hat{x}_{22}) + \mu f(\hat{x}_{12})]}{c_r^2(1+r)^2 [(1-\mu)f(\hat{x}_{22}) + \mu f(\hat{x}_{12})] - f(q_2^*)}$$

命题 4 表明, 供应商的批发定价策略比传统供应链背景复杂得多。在传统供应链背景下, 批发价格仅依赖运作参数, 如订购量和生产成本。而在这里, 供应商定价决策时还需考虑零售商的破产风险, 3PL 企业的运输价格和贷款利率以及供应商本身的信用保证系数。很明显, 当信用保证系数增大时, 供应商将抬高批发价格, 以减少损失。

证明 对式(10)关于 w 求一阶导数, 得到

$$\frac{d\pi(w)}{dw} = q_2^* + (w-c)\frac{dq_2^*}{dw} - \lambda(1+r) \left[q_2^* + c_r \frac{dq_2^*}{dw} \right] F(\hat{x}_{12}) = 0$$

由一阶条件 $d\pi(w)/dw=0$, 得到供应商的最优批发价满足式(11)。

5 算例分析

假设随机需求 X 在 $[0, 100]$ 服从均匀分布。此外, 假设单位零售价格 $p=1$, 单位生产成本 $c=0.4$,

初始资金 $b=5$, 3PL 企业单位运输成本 $v=0.1$, 单位运输费用 $t=0.15$ 。

首先分析 3PL 企业的单位运输费用对于零售商分别处于风险中性和损失规避两种情况下供应链成员最优决策的影响。对于损失规避情况, 这里取 $\mu=1.2$ 进行分析。从图 1 可以看出, 无论零售商是风险中性还是损失规避的, 零售商的订货量都随着单位运输费用的增加而减少。这是自然的, 因为 3PL 企业的单位运输费用增加, 就代表零售商的成本会增加, 自然订货量会减少。从图 2 可以看出, 无论零售商是风险中性还是损失规避的, 3PL 企业的借款利率都随着单位运输费用的增加而减少。若单位运输费用增加, 意味着零售商的成本增加, 此时为了吸引零售商增加订货量, 势必会降低借款利率。从图 3 可以看出, 不论零售商是风险中性还是损失规避, 供应商的批发价随着单位运输费用的增加而增加。当单位运输费用增加时, 零售商的订货量会减少, 进而导致供应商批发价的增加。另外, 从

图 1—图 3 还可以看出,当零售商具有损失规避特性时,零售商的最优订购量、3PL 企业的最优利率和供应商的最优批发价都低于零售商是风险中性时的情况。

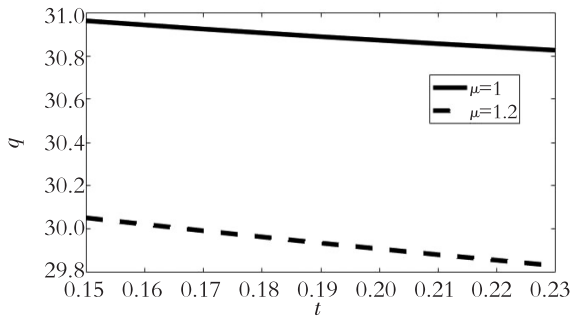


图 1 单位运输费用对订购量的影响
Fig. 1 The impact of unit transportation cost on the order quantity

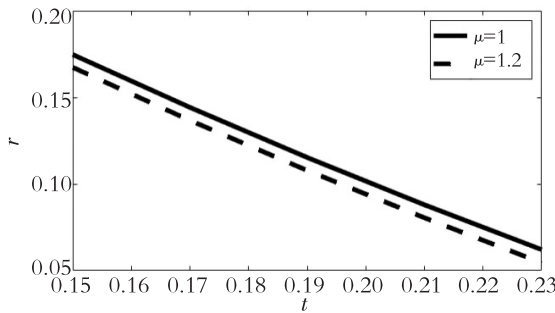


图 2 单位运输费用对贷款利率的影响
Fig. 2 The impact of unit transportation cost on the loan interest rate

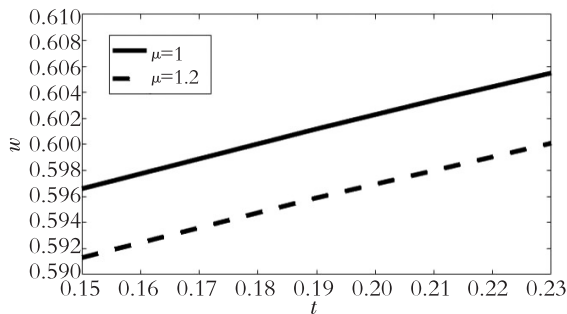


图 3 单位运输费用对批发价格的影响
Fig. 3 The impact of unit transportation cost on the wholesale price

下面分析零售商的初始资金对于订货量、批发价以及借款利率的影响。从图 4—图 6 可以看出,零售商分别处于风险中性和损失规避这两种情况时,零售商的订货量、供应商的批发价、3PL 企业的

借款利率都随着初始资金的增加而减少。当零售商拥有的初始资金增加时,订货量反而减少,此时的零售商偏好尽可能不贷款或者少贷款。为了刺激零售商多贷款,3PL 企业会降低借款利率。此外,为了吸引零售商并且促使其增加订货量,供应商会降低批发价格。

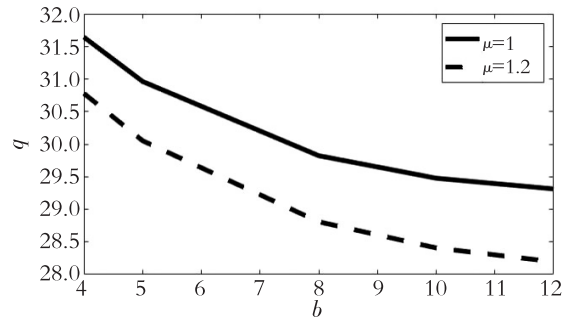


图 4 初始资金对订购量的影响
Fig. 4 The impact of initial capital on the order quantity

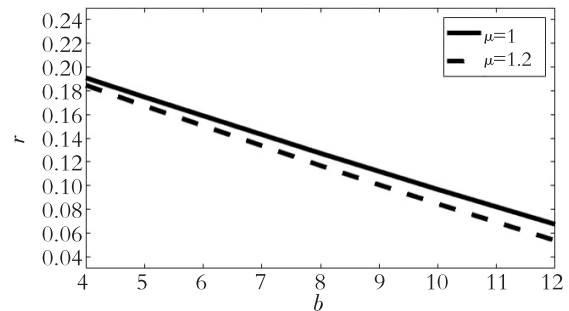


图 5 初始资金对贷款利率的影响
Fig. 5 The impact of initial capital on the loan interest rate

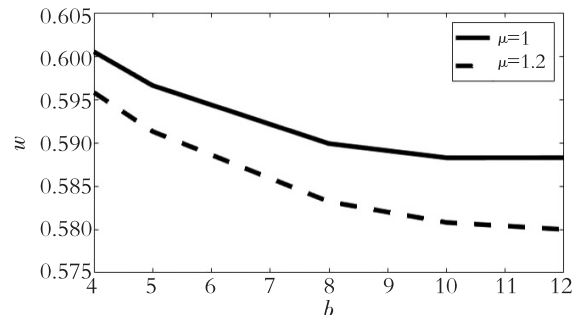


图 6 初始资金对批发价格的影响
Fig. 6 The impact of initial capital on the wholesale price

接下来分析供应商的信用保证系数对于零售商、供应商以及 3PL 企业的最优决策和利润的影

响。从图 7 可以看出,当零售商是风险中性时,其订货量随着信用保证系数的增加而增加;而当零售商是损失规避时,其订货量随着信用保证系数的增加而降低。从图 8 可以看出,3PL 企业的借款利率随着供应商信用保证系数的增大而减少。这是因为供应商信用保证系数越高,则 3PL 企业承担的损失比例就越小,从而他会降低借款利率。从图 9 可以看出,当信用保证系数增加时,供应商的批发价也随之增加。因为随着供应商信用保证系数的增加,他承担的风险也越高,此时供应商必然会提高批发价格以减少损失风险。此外,图 7—图 10 中信用保证系数都是处于 0 到 0.5 之间,是因为一旦供应商的信用保证系数超过 0.5,则会出现利率为负值的情况。此时,信用保证协议失效。此外,从图 10 可以看出,供应商的利润随着信用保证系数增加而增加;零售商和 3PL 企业的利润随着信用保证系数的增加而减少。并且,供应链的总利润随着信用保证系数的增加有着轻微的减少。

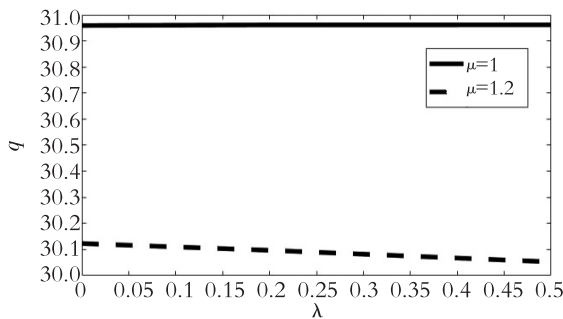


图 7 信用保证系数对订购量的影响
Fig. 7 The impact of the credit guarantee coefficient on the order quantity

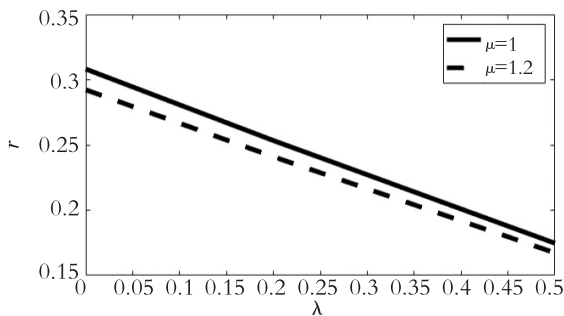


图 8 信用保证系数对贷款利率的影响
Fig. 8 The impact of the credit guarantee coefficient on the loan interest rate

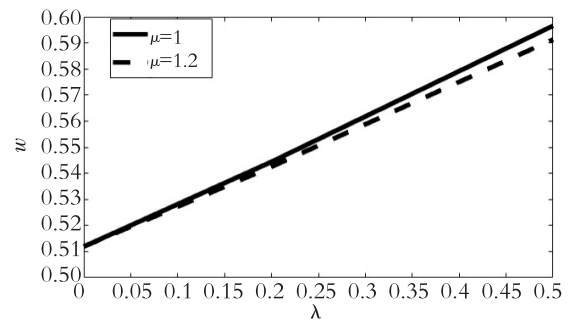


图 9 信用保证系数对批发价格的影响
Fig. 9 The impact of the credit guarantee coefficient on the wholesale price

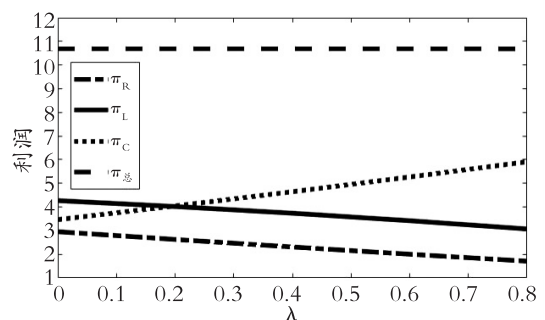


图 10 当 $\mu=1.2$ 时,信用保证系数对供应链各方利润的影响

Fig. 10 When $\mu=1.2$, the impact of the credit guarantee coefficient on the profits of all parties in the supply chain

6 结束语

学术界在研究供应链融资时,一般很少研究 3PL 企业融资对供应链运作决策的影响。本文考虑了由一个资金充足的供应商、3PL 企业和受资金约束的零售商组成的三级供应链。在这个供应链中,零售商具有损失规避行为且面对随机需求,供应商和 3PL 企业均为风险中性。3PL 企业向零售商提供贷款融资服务,且供应商向其提供信用保证。首先在分散决策模式下,求解得出风险中性和风险规避两种情况下零售商的最优订货策略、3PL 企业的最优贷款利率决策和供应商的最优批发价格决策。研究发现,在损失规避条件下,零售商的订购量、3PL 企业的贷款利率以及供应商的批发价格都是随着单位运输费用和初始资金的增加而减少;零售商的订购量、3PL 企业的贷款利率都随着信用保证系数的增加而减少,而供应商的批发价格随着信用保证系

数的增加而增加。另外,从各方利润来看,供应商提供信用保证更有利于他自身。研究为3PL企业和供应商共同参与融资服务提供了一个决策参考。

在今后的研究中,可以从以下两方面进行扩展。一方面,供应链各方都是信息对称的,然而现实生活中,总有一方企业拥有的市场信息多于或少于另一方。因此,以市场信息不对称为研究前提,对损失规避零售商和3PL企业融资服务的三级供应链的决策问题值得进一步的研究。另一方面,只考虑了损失规避零售商,而没有考虑供应商和3PL企业的风险态度。因此,进一步考虑供应链各方的风险态度的供应链的决策问题是很有价值的。

参考文献(References):

- [1] 王勇,胡飞飞,言小明. 考虑3PL决策的三级供应链定价和订购决策[J]. 系统工程学报,2014,29(3):353—361.
WANG Yong, HU Fei-fei, YAN Xiao-ming. Pricing and order decisions of three-echelon supply chain considering the decisions of the 3PL [J]. Journal of Systems Engineering,2014,29(3):353—361.
- [2] LAMBERT D, KNEMEYER M, GARDNER J. Building successful logistics partner-ships[J]. Journal of Business Logistics,1999,20(1):161—181.
- [3] CHEN X, CAI. Joint logistics and financial services by a 3PL firm[J]. European Journal of Operational Research, 2011,214(3):579—587.
- [4] ZHOU W, LIN T, CAI G G. Guarantor financing in a four-party supply chain game with leadership influence [J]. Social Science Electronic Publishing.
- [5] ZHOU Y W, CAO B, ZHONG Y G, et al. Optimal advertising/ordering policy and finance mode selection for a capital-constrained retailer with stochastic demand[J]. The Journal of the Operational Research Society, 2017, 68(12):1—13.
- [6] CHEN X, CAI G G, SONG J S. The cash flow advantages of 3PLs as supply chain orchestrators [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2019, 21(2):1—17.
- [7] KOUVELIS P, ZHAO W H. Supply chain contract design under financial constraints and bankruptcy costs [J]. Management Science, 2016, 62(8):2341—2357.
- [8] XU X, BIRGE J R. Joint production and financing decisions: modeling and analysis [EB/OL]. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=652562.
- [9] ZHOU J, GROENEVELT H. Impacts of financial collaboration in a three-party supply chain [D]. Rochester: The Simon School University of Rochester, 2009.
- [10] KOUVELIS P, ZHAO W H. Financing the newsvendor: supplier vs bank, and the structure of optimal trade credit contracts[J]. Operations Research,2012, 60(3):566—580.
- [11] YAN N, SUN B W, ZHANG H, et al. A partial credit guarantee contract in a capital-constrained supply chain: financing equilibrium and coordinating strategy [J]. International Journal of Production Economics, 2016,173(c):122—133.
- [12] LIN Q, XIAO Y. Retailer credit guarantee in a supply chain with capital constraint under push & pull contract [J]. Computers & Industrial Engineering, 2018,125:245—257.
- [13] 史立刚,彭红军,丛静. 资金约束下订单农业供应链内外部融资策略研究[J]. 运筹与管理,2020,29(4):62—69.
SHI Li-gang, PENG Hong-jun, CONG Jing. Internal and external financing strategies of contract-farming supply chain under capital constraint [J]. Operations Research and Management Science,2020,29(4):62—69.
- [14] 黄帅,樊治平. 3PL企业融资服务模式下考虑损失规避零售商的供应链运营和协调策略[J]. 中国管理科学,2019,27(11):149—157.
HUANG Shuai, FAN Zhi-ping. The operational and coordination strategies of supply chain with a loss-averse retailer under 3PL firm financing service [J]. Chinese Journal of Management Science, 2019, 27(11):149—157.
- [15] HUANG S, FAN Z P, WANG X H. The impact of transportation fee on the performance of capital-constrained supply chain under 3PL financing service [J]. Computers & Industrial Engineering, 2019(130):358—369.
- [16] SCHWEITZER M E, CACHON P G. Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: experimental evidence[J]. Management Science, 2000, 46(3):404—420.

- [17] WANG C X, WEBSTER S. The loss-averse newsvendor problem[J]. *Omega*, 2006, 37(1):93—105.
- [18] CHEN X, HAO G, LI L. Channel coordination with a loss-averse retailer and option contracts[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 150(4): 52—57.
- [19] 马利军,葛羊亮,薛巍立,等. 不确定环境下损失厌恶零售商的提前支付决策[J]. *系统工程理论与实践*, 2015,35(2):315—323.
MA Li-jun, GE Yang-liang, XUE Wei-li, et al. Analysis of advanced payment strategy for the loss-averse retailer under uncertainties [J]. *Systems Engineering-theory & Practice*, 2015, 35(2):315—323.
- [20] 马超,钟婷,王建,等. 损失规避下具有零售商努力效应的风险分散契约[J]. *管理工程学报*, 2020, 34(1): 242—250.
MA Chao, ZHONG Ting, WANG Jian, et al. Study of risk diversification contract based on retailer effort and loss-averse retailer[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2020, 34(1):242—250.
- [21] LI Y, ZHEN X, CAI X. Trade credit insurance, capital constraint, and the behavior of manufacturers and banks [J]. *Annals of Operations Research*, 2016, 240(2): 395—414.
- [22] YAN N, HE X L, LIU Y. Financing the capital-constrained supply chain with loss aversion: supplier finance vs. supplier investment [J]. *The International Journal of Management Science*, 2019, 88(c): 162—178.
- [23] 曹凤岐. 建立和健全中小企业信用担保体系[J]. *金融研究*, 2001(5):41—48.
CAO Feng-qi. Establish and improve the credit guarantee system for SME[J]. *Journal of Financing Research*, 2001(5):41—48.

The Optimal Strategy of Three-level Supply Chain Considering 3PL Firm's Financing Services

SHEN Li¹, LI Li-ying²

- (1. School of General Education, Chongqing Institute Engineering, Chongqing 400900, China;
2. School of Mathematics and Statistics, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: A supply chain decision-making model in which third-party logistics (3PL) firm provides financing services is proposed aiming at a three-level supply chain composed of a supplier, a 3PL firm and a retailer who is subject to capital constraints and has loss aversion behavior. Under assumptions that the retailer has limited liability capabilities and that the supplier provides a credit guarantee for the 3PL's financing, the risk-neutral and risk-averse retailer's optimal ordering quantity, the 3PL firm's optimal loan interest rate, and the supplier's optimal wholesale price are obtained. Through the analysis of numerical examples, the impact of unit transportation cost, retailer's initial capital and loss aversion degree on the optimal decision of supply chain members are obtained.

Key words: loss aversion; capital constraint; 3PL financing service; credit guarantee

责任编辑:罗姗姗

引用本文/Cite this paper:

沈丽,李莉英. 考虑3PL企业融资服务的三级供应链最优策略[J]. *重庆工商大学学报(自然科学版)*, 2022, 39(1):101—110.
SHEN Li, LI Li-ying. The Optimal Strategy of Three-level Supply Chain Considering 3PL Firm's Financing Services[J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 2022, 39(1):101—110.