Operations Research and Fuzziology 运筹与模糊学, 2019, 9(4), 271-278
Published Online November 2019 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/orf
https://doi.org/10.12677/orf.2019.94031

Supply Chain Coordination with a Loss-Averse Retailer Based on Option Contract

Xueyun Zhao

Shiyuan College of Nanning Normal University, Nanning Guangxi
Email: 624498151@qq.com

Received: Oct. 14th, 2019; accepted: Oct. 29th, 2019; published: Nov. 5th, 2019

Abstract

By using the modeling method of piecewise linear utility function evaluation, we studied the coordination problem of a two-stage supply chain composed of a risk-averse retailer and a risk-neutral supplier under the option contract. It is found that the method of separate evaluation has a better theoretical analytic solution, and when the contract parameters meet certain conditions, the option contract can effectively coordinate the supply chain. Finally, the theoretical results are verified by numerical examples.

Keywords

Loss Averse, Option Contract, Supply Chain Coordination

期权契约下风险规避零售商参与的供应链协调问题

赵雪云

南宁师范大学师园学院，广西 南宁
Email: 624498151@qq.com

收稿日期：2019年10月14日；录用日期：2019年10月29日；发布日期：2019年10月5日

摘 要

本文运用分段线性效用函数分别评价的建模方法，研究了由一个风险规避零售商和一个风险中性供应商

文章引用: 赵雪云. 期权契约下风险规避零售商参与的供应链协调问题[J]. 运筹与模糊学, 2019, 9(4): 271-278.
DOI: 10.12677/orf.2019.94031

组成的二级供应链在期权契约下的协调问题。研究发现，采用分别评价的方法具有更好的理论解析解；且契约参数满足一定条件时，期权契约可以有效的协调供应链。最后通过数值例子对理论结果进行了验证。

关键词

风险规避，供应链协调，期权契约

1. 引言

行为运作管理是把非理性行为问题集成到传统经营管理领域的一门新兴边缘学科[1]，目前，行为运作的研究已逐渐成为运作管理领域的一个新的热点，研究行为因素对供应链的影响是一个十分有意义的课题[2]。风险规避作为一种非理性的行为被广泛的应用到经济管理决策中，且相关理论与实证的研究表明，决策者的决策行为受风险态度的影响。因此，在供应链的研究中，考虑决策者的风险偏好特性，更贴近于供应链管理的实际情况[3]。

Schweitzer 等[4]根据 Kahneman [5]提出的前景理论，最早将损失规避行为引入到报童模型中，随后损失规避这一行为在供应链的研究中受到关注。张芳慧[6]等证明了批发价格契约不能协调零售商为损失厌恶的供应链；胡支军[7]等基于收益共享契约，研究了零售商具有损失厌恶行为的供应链协调问题，研究发现零售商的最优订购量随其损失厌恶程度的增加而减少；Vipin [8]等研究了紧急订购契约下由损失规避零售商参与的供应链的协调问题；刘咏梅[9]等将数量弹性契约引入到损失规避零售商参与的供应链中，研究发现调整契约参数可以实现供应链协调；刘云志[10]等建立了损失规避与促销行为的 VMI 的供应链协调模型；孙浩[11]等对价格影响需求下零售商具有损失规避行为的闭环供应链进行研究；Deng [12]等对零售商的损失规避程度不对称的情形进行研究，研究发现，损失规避程度的不对称降低了产品的生产量；王勇[13]等研究了信息不对称下由风险中性供应商和损失规避零售商组成的二级供应链的决策问题，并用数值算例说明信息共享可以有效提高供应链成员的期望效用；林志炳[14]等则对零售商和供应商均是损失厌恶的供应链进行研究，研究发现零售商的最优订购量随损失厌恶程度的增加而减少；Chen [15]将期权契约引入到由风险规避零售商和风险中性的供应链中。

上述文献中的研究，均采用效用函数整体评价的建模方法，难以求出模型的解析解。Becker-Peth [16]等则采用效用函数分别评价的方法，研究了损失规避零售商的订购问题； 在此基础上，顾波军[17]等将收益共享契约引入到零售商具有损失规避行为的供应链中，研究发现采用效用函数分别评价的方法，使理论结果具有更好的解析特征。 本文基于多重心理账户，采用效用函数分别进行评价的方法，研究期权契约下零售商具有损失规避行为的供应链，并用数值例子来说明模型的可行性。

2. 问题描述与基本假设

本文考虑由一个风险规避零售商和一个风险中性供应商组成的二级供应链在期权契约下的协调问题。在销售季节前，供应商首先公布产品的期权购买价格 w_o 和期权的执行价格 w_e；零售商根据对市场需求的预测以及供应商提供的价格信息来确定期权的购买量 Q；供应商根据零售商的订单安排生产。在销售季

节末，零售商获得完全市场需求信息，并确定期权的最终执行量；在零售商执行期权后剩余的产品拥有一定残值 v。

本文将风险规避效用函数定义为

$$U(x)=\begin{cases}x, & x\ge 0;\\ \lambda x, & x<0,\end{cases} \tag{1}$$

其中：$\lambda>1$，为损失规避的程度，x 为所关注的经济指标，如利润，收益，成本，超订成本，缺货损失等。

本文其它相关变量与符号如下：

x	零售商面对的市场实际需求量，假设 x 为连续随机变量，其概率密度函数和分布函数分别为 $f(x)$ 和 $F(x)$，均值为 μ；
p	单位产品的销售价格；
c	单位产品的生产成本；
w	单位产品的批发价格；
g	单位产品的缺货损失；

本文建立的模型，对参数的假设条件如下：

1) 不失一般性，$p>w>c>v$；

2) $w_o+w_e<p$，期权契约下，确保零售商能够盈利。

3. 集中决策模型

在集中决策下，将零售商和供应商看作同一个经济实体，并认为供应链是风险中性的,决策者以供应链系统期望利润最大化为目标进行决策。

供应链系统的期望利润函数为：

$$\Pi(Q)=pE\min(x,Q)+vE(Q-x)^{+}-gE(x-Q)^{+}-cQ, \tag{2}$$

其中，第一项为销售收入，第二项为剩余产品的残值，第三项为缺货风险费，第四项为生产成本费。

定理 1 [18] 在集中决策下，存在唯一的最优订购量 Q_c 使 $\Pi(Q)$ 达到最大，且 Q_c 满足：

$$Q_c=F^{-1}\left(\frac{p+g-c}{p+g-v}\right), \tag{3}$$

4. 分散决策模型

在分散决策模式下，零售商作为独立的经济利益主体，且具有风险规避行为，关注的是效用的大小，会以自身期望效用最大化为目标来确定订购量。

4.1. 批发价格契约

批发价契约分散模式下，风险规避零售商的效用和期望效用分别为：

$$U\pi_r^0=\begin{cases}(p-w)x-\lambda(w-v)(Q-x), & x\le Q;\\ (p-w)Q-\lambda g(x-Q), & x>Q,\end{cases} \tag{4}$$

$$EU\pi_r^0=(p-w+\lambda g)Q-\{p-w+\lambda(w-v+g)\}\int_0^Q F(x)\mathrm{d}x-\lambda\mu g, \tag{5}$$

供应商的期望利润为

$$\Pi_s^0 = (w-c)Q . \tag{6}$$

定理 2 在批发价分散模式下，对于给定的 λ，存在唯一的 Q_w^* 使 $EU\pi_r^0$ 最大，且满足：

$$Q_w^* = F^{-1}\left\{\frac{p-w+\lambda g}{p-w+\lambda(w-v+g)}\right\}. \tag{7}$$

证明：对(5)式分别关于 Q 求一阶导数和二阶导数得：

$$\frac{\mathrm{d}EU\pi_r^0}{\mathrm{d}Q} = (p-w+\lambda g_r) - \{p-w+\lambda(w-v+g_r)\}F(Q), \tag{8}$$

$$\frac{\mathrm{d}^2 EU\pi_r^0}{\mathrm{d}Q^2} = -\{p-w+\lambda(w-v+g_r)\}f(Q), \tag{9}$$

显然，$\mathrm{d}^2EU\pi_r^0/\mathrm{d}Q^2 < 0$，即 $\mathrm{d}EU\pi_r^0/\mathrm{d}Q$ 是关于 Q 的减函数。又

$$\lim_{Q\to 0}\frac{\mathrm{d}EU\pi_r^0}{\mathrm{d}Q} = p-w+\lambda g_r > 0,\quad \lim_{Q\to\infty}\frac{\mathrm{d}EU\pi_r^0}{\mathrm{d}Q} = -\lambda(w-v) < 0,$$

由零点存在定理知，存在 Q_w^*，使得 $\mathrm{d}EU\pi_r^0/\mathrm{d}Q = 0$，且满足(7)式。

由 $\mathrm{d}^2EU\pi_r^0/\mathrm{d}Q^2 < 0$ 可知：Q_w^* 为 $EU\pi_r^0$ 的唯一最大值点。

零售商在考虑契约时会与批发价契约进行比较，若契约下零售商的期望效用低于批发价契约的期望效用，则零售商不接受契约，因此，本文定义批发价契约下损失规避零售商的最大期望效用为零售商的保留效用，记作 $EU\pi_r^* = EU\pi_r^0(Q_w^*)$。

由于零售商在供应链中占主导地位，供应商按照零售商的订单组织生产，故将批发价下供应商的期望利润定义为他的保留利润，记作 $\Pi_s^* = \Pi_s^0(Q_w^*)$。

4.2. 期权契约

在期权契约下，零售商根据供应商提供的价格情况以及市场环境来确定期权购买量；销售季节末，零售商根据实际需求来执行期权，供应商按订单生产，且具有完全供货能力。

期权契约分散模式下，风险规避零售商的效用和期望效用分别为：

$$U\pi_r = \begin{cases}(p-w_e-w_o)x - \lambda w_o(Q-x) & x \le Q\\ (p-w_e-w_o)Q - \lambda g(x-Q) & x > Q\end{cases} \tag{10}$$

$$EU\pi_r = (p-w_e-w_o+\lambda g)Q - \{p-w_e-w_o+\lambda(w_o+g)\}\int_0^Q F(x)\mathrm{d}x - \lambda\mu g \tag{11}$$

定理 3 对于给定的 $\lambda(\lambda>1)$，在期权契约下，存在唯一的最优订购量 Q_o^* 使 $EU\pi_r$ 最大，且满足:

$$Q_o^* = F^{-1}\left\{\frac{p-w_e-w_o+\lambda g}{p-w_e-w_o+\lambda(w_o+g)}\right\} \tag{12}$$

证明：对 $EU\pi_r$ 关于 Q 求一阶导数得：

$$\frac{\mathrm{d}EU\pi_r}{\mathrm{d}Q} = p-w_e-w_o+\lambda g - \{p-w_e-w_o+\lambda(w_o+g)\}F(Q) \tag{13}$$

由假设条件(2)

$$\lim_{Q\to 0}\frac{\mathrm{d}EU\pi_r}{\mathrm{d}Q}=p-w_e-w_o+\lambda g>0,\quad \lim_{Q\to +\infty}\frac{\mathrm{d}EU\pi_r}{\mathrm{d}Q}=-\lambda w_o<0,$$

则存在 Q_o^*，使得 $\mathrm{d}EU\pi_r/\mathrm{d}Q=0$，且 Q_o^* 满足(12)式。

又

$$\frac{\mathrm{d}^2EU\pi_r}{\mathrm{d}Q^2}=-\left\{p-w_e-w_o+\lambda\left(w_o+g\right)\right\}f\left(Q\right), \tag{14}$$

由假设条件(2)得：$\mathrm{d}^2EU\pi_r/\mathrm{d}Q^2<0$，即 $EU\pi_r$ 为 Q 的严格凹函数，且在 Q_o^* 处达到最大。

期权契约下，风险中性供应商的期望利润函数可以表示为：

$$\Pi_s\left(Q\right)=w_eE\min\left(x,Q\right)+w_0Q+vE\left(Q-x\right)^+-cQ, \tag{15}$$

即

$$\Pi_s\left(Q\right)=\left(w_e+w_0-c\right)Q-\left(w_e-v\right)\int_0^Q F\left(x\right)\mathrm{d}x. \tag{16}$$

5. 基于期权契约的供应链协调

定义 1 对于一个风险规避的零售商和风险中性的供应商组成的供应链，通过契约实现协调是指在契约下：

1) 零售商的期望效用和供应链系统的期望利润同时达到最大；
2) 零售商的期望效用不低于自己的保留效用；
3) 供应商的期望利润不低于自己的保留利润。

定理 4 对于给定的风险规避程度 λ，若契约参数 $\left(w_e,w_o\right)$ 满足

$$w_e=p-w_o+\lambda\left(w_o+g\right)-\frac{\lambda w_o\left(p+g-v\right)}{c-v}, \tag{17}$$

时，供应链系统的期望利润以及风险规避零售商的期望效用同时达到最大

证明：对于给定的 λ，令 $Q_o^*=Q_c$，得

$$F^{-1}\left\{\frac{p-w_e-w_o+\lambda g}{p-w_e-w_o+\lambda\left(w_o+g\right)}\right\}=F^{-1}\left(\frac{p+g-c}{p+g-v}\right),$$

整理即得(17)式。

当 $\lambda=1$ 时，供应链模型变为零售商和供应商均为风险中性的期权契约模型，即传统的期权契约模型，此时

$$w_e=p+g-\frac{w_o\left(p+g-v\right)}{c-v},$$

与 Wang [19]得出的协调条件一致。

定理 4 表明，当契约参数 $\left(w_e,w_o\right)$ 满足定理条件时，在零售商的期望效用达到最大的基础上，供应链系统的期望利润也可以达到最大。此外，由定义 1 可知，要使期权契约能够协调供应链，还应满足

$$\begin{cases}U\pi_r\left(Q_o^*\right)\ge EU\pi_r^* \\ \Pi_s\left(Q_o^*\right)\ge \Pi_s^*\end{cases} \tag{18}$$

定理 5 对于给定的风险规避程度 λ，若契约参数 $\left(w_e,w_o\right)$ 满足(17)式，且 $w_{\min}\le w_o\le w_{\max}$ 时，供应链可以实现协调。其中

$$w_{\min}=\frac{EU\pi_r^*+\lambda\mu g}{\dfrac{\lambda(p+g-c)}{c-v}Q_c-\dfrac{\lambda(p+g-v)}{c-v}\int_0^{Q_c}F(x)\mathrm{d}x},\quad w_{\max}=\frac{(p-c+\lambda g)Q_c-(p+\lambda g-v)\int_0^{Q_c}F(x)\mathrm{d}x-\Pi_s^*}{\dfrac{\lambda(p+g-c)}{c-v}Q_c-\dfrac{\lambda(p+g-v)+(c-v)}{c-v}\int_0^{Q_c}F(x)\mathrm{d}x}。$$

证明：当契约参数(w_e,w_o)满足(17)式时，$Q_o^*=Q_c$，零售商和供应链系统的期望效用都会达到最大，由$EU\pi_r(Q_o^*)\ge EU\pi_r^*$得

$$w_o\ge\frac{EU\pi_r^*+\lambda\mu g}{\dfrac{\lambda(p+g-c)}{c-v}Q_c-\dfrac{\lambda(p+g-v)}{c-v}\int_0^{Q_c}F(x)\mathrm{d}x},$$

即$w_o\ge w_{\min}$。由$E\pi_s(Q_o^*)\ge\Pi_s^*$得

$$w_o\le\frac{(p-c+\lambda g)Q_c-(p+\lambda g-v)\int_0^{Q_c}F(x)\mathrm{d}x-\Pi_s^*}{\dfrac{\lambda(p+g-c)}{c-v}Q_c-\dfrac{\lambda(p+g-v)+(c-v)}{c-v}\int_0^{Q_c}F(x)\mathrm{d}x},$$

即$w_o\le w_{\max}$。

故当$w_{\min}\le w_o\le w_{\max}$时，零售商的期望效用均大于它的保留效用，供应商的期望利润大于它的保留利润。由定义1可知，此时供应链实现协调。

6. 数值算例

为了阐述以上理论结果，下面结合数值例子进行分析验证，模型中参数取值如$p=14$，$w=8$，$c=4$，$g=0.5$，$v=0.5$，并假设市场需求x服从$[0,200]$的均匀分布。

取$\lambda=1.5$，当$w_o=1.2$时，由(17)可得：$w_e=8.1500$，此时满足假设(2)，由(3)式和(12)式可得：$Q_o^*=Q_c=150.0000$，从图1中可以看出，风险规避零售商的期望效用和供应链系统的期望利润在$Q=150.0000$均达到最大，由此验证了定理4的有效性。

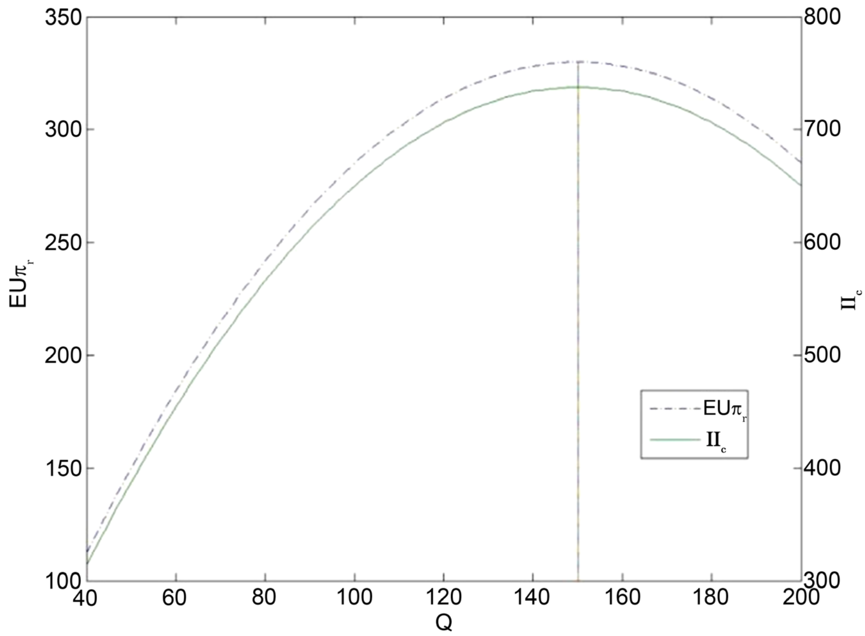

Figure 1. Risk averse retailer's expected utility and supply chain system's expected profit curve
图1. 风险规避零售商的期望效用和供应链系统的期望利润曲线

给定 w_o， w_e 由(17)式给出。假设风险规避程度 $\lambda = 1.5$，则 $EU\pi_r^* = 178.1250$， $\Pi_s^* = 300.0000$，由定理 5 可知， $w_{\min} = 0.7500$， $w_{\max} = 1.3974$，以 $w_o = 0.3618$ 为起点，0.1294 为间隔讨论 w_o，对 w_e 以及零售商、供应商期望效用的影响，由此可得表 1。

Table 1. The influence of w_o on w_e, retailer's expected utility and supplier's expected profit
表 1. w_o 对 w_e、零售商期望效用、供应商期望利润的影响

w_o	w_e	$EU\pi_r$	Π_s	$EU\pi_r - EU\pi_r^*$	$\Pi_s - \Pi_s^*$
0.3618	12.7601	47.1075	678.6544	−131.0175	378.6544
0.4912	12.0484	90.7800	631.3425	−87.3450	331.3425
0.6206	11.3367	134.4525	584.0306	−43.6725	284.0306
0.7500	**10.6250**	**178.1250**	**536.7184**	**0**	**236.7187**
0.8794	9.9133	221.7975	489.4069	43.6725	189.4069
1.0088	9.2016	265.4700	442.0950	87.3450	142.0950
1.1382	8.4899	309.1425	394.7831	131.0175	94.7831
1.2676	7.7782	352.8150	347.4712	174.6900	47.4712
1.3970	**7.0665**	**396.4875**	**300.1594**	**218.3625**	**0.1594**
1.5264	6.3548	440.1600	252.8475	262.0350	−47.1525
1.6558	5.6431	483.8325	205.5356	305.7075	−94.4644

由表 1 可知， w_e 随 w_o 的增加而减少， $EU\pi_r$ 随 w_o 的增加而增加， Π_s 随 w_o 的增加而减少，且 w_o 在 $[0.7500, 1.3970]$ 内取值时，有 $EU\pi_r \ge EU\pi_r^*$ 且 $\Pi_s > \Pi_s^*$，且契约参数满足(17)式。此时，供应链实现了协调，由此验证了定理 5。

由图 2 可知，当 $\lambda > 1$ 时，随着零售商风险规避程度的增加，零售商的期望效用会增加，而供应商的期望利润会减少。

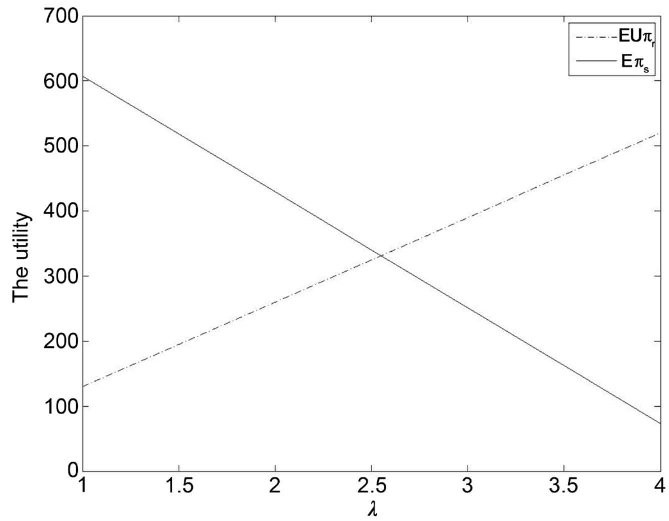

Figure 2. The influence of λ on $EU\pi_r$ and Π_s
图 2. λ 对 $EU\pi_r$， Π_s 的影响

7. 小结

对于一个由风险规避零售商和风险中性供应商组成的二级供应链，采用效用函数分别评价的建模方法，研究了期权契约下供应链的协调问题。研究表明：1) 理论部分具有解析解；2) 期权契约能够协调供应链；3) 当供应链协调时，随着期权购买价格的增大，零售商的期望效用逐渐增大，供应商的期望效用逐渐减少；4) 随着风险规避程度的增加，零售商的期望效用会增加，供应商的期望效用会降低。

基金项目

广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY1142)。

参考文献

[1] Bendoly, E., Donohue, K. and Schultz, K.L. (2006) Behavior in Operations Management: Assessing Recent Findings and Revisiting Old Assumptions. *Journal of Operations Management*, **24**, 737-752. https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.10.001

[2] 张鹏, 张杰, 马俊. 行为供应链决策模型研究文献综述[J]. 科技管理研究, 2014(21): 205-209.

[3] 张守京, 宋栓军, 胥光申. 风险规避零售商参与的价格时变供应链协调[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(5): 1375-1381.

[4] Schweitzer, M.E. and Cachon, G.P. (2000) Decision Bias in the Newsvendor Problem with a Known Demand Distribution: Experimental Evidence. *Management Science*, **46**, 404-420. https://doi.org/10.1287/mnsc.46.3.404.12070

[5] Kahneman, D. and Tvsersky, A. (1979) Prospect Theory: An Analysis of Decision-Making under Risk. *Econometrica*, **47**, 263-291. https://doi.org/10.2307/1914185

[6] 张芳慧, 胡支军. 零售商为损失厌恶的供应链优化与协调问题[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2009, 26(4): 10-15.

[7] 胡支军, 王永利. 收益共享合同下具有损失厌恶型零售商的供应链协调问题[J]. 统计与决策, 2010(19): 60-62.

[8] Vipin, B. and Amit, R.K. (2017) Loss Aversion and Rationality in the Newsvendor Problem under Recourse Option. *European Journal of Operational Research*, **261**, 563-571. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.02.012

[9] 刘咏梅, 成尚汶, 谢虎. 具有损失厌恶偏好零售商的供应链弹性数量契约[J]. 控制与决策, 2012, 27(7): 975-982.

[10] 刘云志, 樊治平. 考虑损失规避与促销行为的VMI供应链协调契约模型[J]. 工业工程与管理, 2016, 21(2): 22-31.

[11] 孙浩, 吴亚婷, 达庆利. 需求价格敏感下具有损失厌恶零售商的闭环供应链定价与协调[J]. 控制与决策, 2014(10): 1885-1892.

[12] Deng, X., Xie, J. and Xiong, H. (2013) Manufacturer-Retailer Contracting with Asymmetric Information on Retailer's Degree of Loss Aversion. *International Journal of Production Economics*, **142**, 372-380. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.12.013

[13] 王勇, 朱龙涛. 信息不对称下具有损失规避者参与的供应链决策与协调[J]. 工业工程, 2012, 15(6): 50-56.

[14] 林志炳, 蔡晨, 许保光. 损失厌恶下的供应链收益共享契约研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(8): 33-41.

[15] Chen, X., Hao, G. and Li, L. (2014) Channel Coordination with a Loss-Averse Retailer and Option Contracts. *International Journal of Production Economics*, **150**, 52-57. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.12.004

[16] Becker-Peth, M., Katok, E. and Thonemann, U.W. (2013) Designing Buyback Contracts for Irrational But Predictable Newsvendors. *Management Science*, **59**, 1800-1816. https://doi.org/10.1287/mnsc.1120.1662

[17] 顾波军, 张祥. 风险中性供应商与损失规避零售商基于收益共享契约的供应链协调[J]. 系统管理学报, 2016(1): 67-74.

[18] 庞庆华. 供应链收益共享契约的协调机制与优化策略[M]. 北京: 经济科学出版社, 2012.

[19] Wang, X., Wang, X. and Su, Y. (2013) Wholesale-Price Contract of Supply Chain with Information Gathering. *Applied Mathematical Modelling*, **37**, 3848-3860. https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.07.007