

DOI 编码: 10.3969/j.issn.1672-884x.2016.03.015

风险规避下基于 Stackelberg 博弈与 Nash 讨价还价博弈的供应链契约比较

简惠云 许民利
(中南大学商学院)

摘要: 以批发价契约与回购契约为例,分析与比较风险规避型供应链分别采取 Stackelberg 博弈和 Nash 讨价还价博弈时的最优化决策,探讨供应链主导方如何根据合作伙伴的风险规避水平选择契约与博弈机制。研究表明,当零售商与供应商风险规避水平相同时,供应链的最优选择是采用 Nash 讨价还价博弈的批发价契约或者回购契约,二者等价;当零售商与供应商风险规避水平比较接近时,采用 Nash 讨价还价博弈下的回购契约要优于相同博弈机制下的批发价契约;当零售商与供应商风险规避水平相差较大时,供应商不会选择 Nash 讨价还价博弈下的任一契约,而是选择 Stackelberg 博弈下的回购契约。与风险中性假设下的结论相比,风险规避下的研究结论更符合供应链管理实践。

关键词: 批发价契约; 回购契约; 风险规避; Stackelberg 博弈; Nash 讨价还价博弈
中图法分类号: C93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-884X(2016)03-0447-07

Comparison of Supply Chain Contracts Based on Stackelberg Game and Nash bargaining Model with the Assumption of Risk-Aversion

JIAN Huiyun XU Minli

(Central South University, Changsha, China)

Abstract: The study analyzes and compares the optimal decisions under the wholesale price contract and the buyback contract when the risk-averse partners take Stackelberg game and Nash bargaining model. It aims to explore the supply chain leader's choice of contract and game mechanism according to the risk-averse levels of partners. The results show that, ①when the retailer and supplier have the same level of risk-aversion, the best choice is the wholesale contract or buyback contract based on Nash bargaining model, both contracts are equivalent; ②when the retailer's risk-averse level is close to the supplier's, the buyback contract based on Nash bargaining model is better than the wholesale price contract with the same game mechanism; ③when the difference of risk-averse level between the supplier and the retailer is large, the supplier will not choose any contract under the cooperation game, but choose the buyback contract under the Stackelberg game. The conclusion of this study is more consistent with the practice of supply chain management than that of risk-neutral hypothesis.

Key words: wholesale price contract; buyback contract; risk-aversion; Stackelberg game; Nash bargaining model

多年来,供应链契约一直是供应链研究中的热点,产生了大量的研究成果^[1~3]。早期的供应链契约研究,大多以人的风险中性假设为前提。然而,现实中人们决策时很少是风险中性的。实际上,由于市场需求等外部环境的不确

定性,供应链合作伙伴常常会因为害怕风险而选择规避风险。同时,供应链成员之间往往通过对价格、数量及配送等交易条款的协商达成某种契约关系,协商的过程也就是双方博弈的过程,博弈机制不同,契约参数值也不同,供应

收稿日期: 2015-09-05

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(14BGL196);湖南省自然科学基金资助项目(2015JJ2177)

链运行绩效也不一样。因此,风险规避下,研究、比较供应链在不同契约、不同博弈机制下的决策问题具有理论和现实意义。

近年来,也有较多文献探讨风险规避下的供应链决策问题。CHIU等^[4]考虑了零售商的风险规避行为,利用MV方法设计了柔性增量返利契约来协调供应链。CHOI等^[5]在MV框架下分析了基于回购契约的供应链协调和风险控制问题。叶飞等^[6]用CVaR度量农户的风险收益,研究订单型农业供应链的契约协调机制。HSIEH等^[7]研究了具有竞争关系零售商的风险规避水平对制造商退货策略的影响。WU等^[8]利用CVaR工具研究了风险规避的制造商与其上游供应商之间的期权契约。代建生等^[9]在收益共享契约下考察了风险中性供应商和风险规避销售商联合促销的供应链协调问题。

上述风险规避下的文献大多数只考虑零售商单方面的风险规避行为,而假设供应商为风险中性,而且研究主要集中在供应链优化与协调上。但是,已有实证研究表明,供应商在不确定决策下也很少表现为风险中性。如FISHER等^[10]在对某滑雪服装生产企业的库存决策研究时发现,经理人最终确定的生产量要小于风险中性下的最优值。KATOK等^[11]的供应链契约实验研究也表明,供应商设置的价格参数系统地偏离风险中性时的理论值。目前,已有少量文献考虑了供应商的风险规避行为。如在供应商、零售商均为风险规避假设下,高文军等^[12]、闻卉等^[13]研究了供应链优化与协调问题。

以供应链系统收益最大化为目标设计的协调契约虽然满足从方的激励相容约束,但不一定满足主方与从方的参与约束,此时需要用到合作博弈理论中的相关方法来分享合作剩余,如在风险中性下,HUA等^[14]、叶飞等^[15]分别设计了基于Nash讨价还价博弈的批发价契约与回购契约。MA等^[16]分析了风险规避零售商与风险中性制造商组成的供应链的合作博弈问题。但是在供应链成员均为风险规避下,很少有文献涉及供应链的合作博弈问题。

在供应链分散决策下,Stackelberg博弈则是典型的非合作博弈机制,如在风险中性假设下,WU^[17]以双寡头竞争的供应链为背景,分别在集中控制与Stackelberg博弈下分析了回购策略对零售价及订货量等的影响。CHEN等^[18]基于Stackelberg博弈研究了制造商主导的双渠道供应链的最优定价策略。但是,现有

文献缺乏对风险规避供应链合作伙伴在Stackelberg博弈机制下的决策研究。

风险中性下的文献表明,基于Nash讨价还价博弈的批发价契约与回购契约均可使订货量及供应链收益达到最优水平^[14,15],而Stackelberg博弈只能达到局部最优。那么风险规避下,Nash讨价还价博弈是否一定比Stackelberg博弈创造更多价值?在何种博弈机制下,“风险共担”的回购契约一定优于简单批发价契约?现有文献缺乏对此类问题的研究。基于此,本研究考虑供应商与零售商的风险规避行为,以批发价契约与回购契约为例,分析、比较供应链伙伴分别采取Stackelberg博弈和Nash讨价还价博弈时的最优决策,探讨供应链主导方如何根据合作伙伴的风险规避水平选择契约与博弈机制,并与风险中性下的博弈均衡结果进行比较。

1 问题描述及基本条件风险值(CVaR)模型

考虑由单个供应商与单个零售商组成、由供应商主导的单周期产品供应链,市场需求 X 为一随机变量,取值区间为 $[0, u_h]$, $f(\cdot)$ 和 $F(\cdot)$ 分别为 X 的密度函数和分布函数,产品生产成本 c 及市场售价 p 是外生给定的^[9],残值为 v ,在一个销售周期内无补货机会,不考虑缺货成本。供应商与零售商之间可实行批发价契约或者回购契约, w 为批发价格, b 为供应商对销售季节末未售完产品的回购价格,并满足 $v < b \leq w$ 。

由于市场的不确定性,假设供应商与零售商在生产与订货决策时均表现为风险规避。由于CVaR能体现潜在风险、具有良好的计算特性,并满足一致性风险测度公理^[19],故本研究选择CVaR度量风险,并作为供应链成员的决策准则。设供应商、零售商的风险规避水平分别为 $\alpha, \beta, 0 < \beta \leq \alpha \leq 1$,其他情况可作类似探讨。

模型符号约定如下:SW为基于Stackelberg博弈的批发价契约模型;SB为基于Stackelberg博弈的回购契约模型;NW为基于Nash讨价还价博弈的批发价契约模型;NB为基于Nash讨价还价博弈的回购契约模型。

文中,用相应模型符号的小写作为变量下标,以示区分不同模型中的决策变量以及CVaR值,上标“*”代表最优决策时的值,其他符号随文标注。

1.1 零售商的条件风险值模型及最优决策

在给定价格下,零售商的订货量为 q ,其利

润 π_r 为一个随机变量。令 $Z = \pi_r$ 。Z 的分布函数为： $G(z) = P\{Z \leq z\}$ ，其中 z 为目标利润。给定任意概率水平 $\beta \in (0, 1]$ ，利润 Z 的风险价值为： $VaR_\beta(Z) = \inf\{z | G(z) \geq \beta\}$ ， VaR_β 也称为 β 分位数利润。零售商的条件风险值 $CVaR_\beta \pi_r$ 定义为^[19,20]

$$CVaR_\beta \pi_r = E(Z | Z \leq VaR_\beta) = \frac{1}{\beta} \int_{Z \leq VaR_\beta} z g(z) dz \quad (1)$$

条件风险值度量了比 VaR_β 还小的利润平均值，忽略收益高于 VaR_β 的部分，而低于 VaR_β 的收益正是风险规避决策者所要控制的风险部分。风险规避水平 β 越小，决策者的风险规避程度越高。文献[20]提出了一种通过建立随机利润分布函数的方法求解报童 $CVaR_\beta \pi_r$ 及最优订货量 q^* 。对零售商来说，回购契约与批发价契约相比，只不过产品残值由 v 变为 b ($b \geq v$)，故由文献[20]，把报童决策相关公式中的 v 换成 b ，可得回购契约下零售商的条件风险值及最优决策。两种契约下零售商的 $CVaR_\beta \pi_r$ 及 q^* 可统一写成：

$$CVaR_\beta \pi_r = (p-w)q - \frac{p-t}{\beta} \int_0^q (q-x)f(x)dx, \beta \in (0, 1]; \quad (2)$$

$$q^* = F^{-1}\left(\frac{p-w}{p-t}\beta\right), \quad (3)$$

式中， $t=v$ 或 b ，当 $t=v$ 时为批发价契约， $t=b$ 时为回购契约。从式(3)知，风险规避水平 β 越小，最优订货量也越小。当 $\beta=1$ 时，式(2)、式(3)转化为风险中性时的决策情形，故风险中性只是风险规避的一种特例。

1.2 供应商的条件风险值模型

批发价契约下，一旦批发价格 w 与产品订货量 q 确定，供应商的收益就是确定的，供应商不需要承担市场风险。由于 $CVaR$ 满足一致性风险测度公理^[21]，故供应商的条件风险值与其确定性收益 π_m 相等，

$$CVaR_\alpha \pi_m = \pi_m = (w-c)q \quad (4)$$

回购契约下，供应商需要与零售商共同承担市场不确定性风险。参照文献[20]对报童 $CVaR$ 的求解方法，可得供应商的条件风险值

$$CVaR_\alpha \pi_m = (w-c)q - \frac{b-v}{\alpha} \int_0^q (q-x)f(x)dx, q \leq F^{-1}(\alpha) \quad (5)$$

具体推导过程略。

契约机制、供应链合作伙伴的博弈形式及双方的风险规避水平均会影响供应商与零售商的定价与订货决策。由于均匀分布的逆函数可以显式表达，进而可得到博弈均衡解的解析表

达式，便于分析最优决策的一些特点，故下文以需求 X 服从均匀分布为例进行探讨。

2 基于 Stackelberg 博弈与 Nash 讨价还价博弈的供应链决策模型

2.1 基于 Stackelberg 博弈的批发价契约模型 (SW 模型, 基准契约)

批发价契约是一种典型的、完全分散的供应链运作模式，因此在设计其他供应链契约时，常将其作为比较标杆。本文中，我们也以 Stackelberg 博弈的批发价契约作为基准契约。

已知订货量 q^* 满足式(3)的情况下，按照 Stackelberg 博弈次序，供应商的最优定价决策需要求解如下规划模型：

$$\begin{aligned} \text{Max}_w \pi_{m,sw}(w, q^*) &= (w-c)q^*, \\ \text{s. t. } q^* &= F^{-1}\left(\beta \frac{p-w}{p-v}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

对模型(6)求解极值，易得定理 1。

定理 1 当需求 X 服从 $[0, u_h]$ 间的均匀分布时，基于 Stackelberg 博弈的批发价契约中，供应商的最优定价 $w_{sw}^* = 0.5(p+c)$ 。

由 w_{sw}^* 可得最优订货量 q_{sw}^* 。在需求服从均匀分布时，供应商和零售商在最优决策下的收益分别为： $Y_0 = \pi_{m,sw}^* = \frac{(p-c)^2}{4(p-v)} \beta u_h$ ， $Z_0 = CVaR_\beta \pi_{r,sw}^* = \frac{(p-c)^2}{8(p-v)} \beta u_h$ 。Y₀ 与 Z₀ 的值作为后文 Nash 讨价还价博弈模型中的保留收益。

2.2 基于 Stackelberg 博弈的回购契约模型 (SB 模型)

基于 Stackelberg 博弈的回购契约下，供应商的最优定价决策需要求解如下规划模型：

$$\begin{aligned} \text{Max}_b CVaR_\alpha \pi_{m,sb} &= (w-c)q - \\ &\frac{1}{\alpha}(b-v) \int_0^q (q-x)f(x)dx, \\ \text{s. t. } \begin{cases} q = F^{-1}\left(\beta \frac{p-w}{p-b}\right); \\ w \geq b \geq v. \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

对该规划模型求解极值，得以下定理。

定理 2 当需求 X 服从 $[0, u_h]$ 间的均匀分布时，基于 Stackelberg 博弈的回购契约下，令阈值 $\beta_l = \frac{2\alpha(w-c)}{p+w-2v}$ ，若批发价格 $w \geq w_{sw}^*$ ，有：

(1) 当 $\beta > \beta_l$ 时，存在唯一确定的最优回购价 b_{sb}^* 、最优订货量 q_{sb}^* ，分别满足：

$$b_{sb}^* = \frac{2\alpha p(w-c) - \beta(p-w)(p-2v)}{2\alpha(w-c) + \beta(p-w)}; \quad (8)$$

$$F(q_{sb}^*) = \frac{\beta(p-w) + 2\alpha(w-c)}{2(p-v)}. \quad (9)$$

(2) 当 $\beta \leq \beta_l$ 时，最优回购价 $b_{sb}^* \equiv w$ ，即供应

商对未售完的产品实行全价回购,此时,零售商不再管理库存,供应商确定库存水平,满足式(10),即

$$F(q_{sb}^*) = \alpha \frac{\omega - c}{\omega - v} \tag{10}$$

证明略^①。

定理 2 中, ω_{sw}^* 为基于 Stackelberg 博弈的批发价契约下的最优定价。一般来说,回购契约下的 ω 值不可能比批发价契约下的值还低,故回购契约下 $\omega \geq \omega_{sw}^*$ 在本文中作为隐含条件,认为总是成立的。

式(8)、(9)中,令 $\alpha = \beta = 1$,即得风险中性下的最优回购价及订货量,用反证法易证 $v < b^* < \omega$ 恒成立,表明全价回购都不是供应商的最佳选择,这一点与风险规避下的结论不同。实际上,全价回购模式与电子商务环境下的代销直供模式比较吻合。网络营销环境下,由于电商对产品销售市场的掌控不如传统零售商,加上产品更新换代频繁等原因,他们在订货产品时,其规避风险的行为就会比较强烈,而供应商为了提高销量,对零售商实行代销、直供。在代销模式下,零售商在供应链中起到的是代理人的作用,通过广告促销等营销手段吸引顾客,获得订单,并将订单转交给供应商,零售商不再承担库存风险,但供应商需对库存统筹安排,并承担全部市场风险^[22]。这也说明了供应链成员风险规避假设下的研究结论更能解释现实经济活动现象。

2.3 基于 Nash 讨价还价博弈的批发价契约模型(NW 模型)

如果供应商与零售商通过 Nash 协商谈判来确定批发价与订货量,博弈均衡应满足供应链合作伙伴的收益不少于各自最低要求,各自收益的最低要求是供应商与零售商协商谈判的起点。根据 Nash 讨价还价模型,供应商与零售商的合作博弈问题可以写成如下形式:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{q, \omega} (CVaR_{\beta} \pi_{r, nw} - Z_0)(\pi_{m, nw} - Y_0), \\ \text{s. t. } & \begin{cases} CVaR_{\beta} \pi_{r, nw} - Z_0 \geq 0; \\ \pi_{m, nw} - Y_0 \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \tag{11}$$

式中, Z_0, Y_0 分别为零售商和供应商的谈判起点,本文选择基准契约下的保留收益为谈判起点。文献[16]研究了谈判起点为 0 的合作博弈问题,在 Z_0, Y_0 不为 0 时,同样用求解条件极值的方法可得模型(11)的最优解。

定理 3 基于 Nash 讨价还价博弈的批发价契约下,存在均衡的订货量 q_{nw}^* 与批发价格 ω_{nw}^* ,分别满足式(12)与式(13),且 q_{nw}^* 恰好使供应链系统条件风险值取得极大值。

$$F(q_{nw}^*) = \beta \frac{p - c}{p - v}; \tag{12}$$

$$\omega_{nw}^* = \frac{Y_0 - Z_0}{2q_{nw}^*} + \frac{p + c}{2} - \frac{p - v}{2\beta q_{nw}^*} \int_0^{q_{nw}^*} (q_{nw}^* - x) f(x) dx. \tag{13}$$

供应链系统条件风险值为 $CVaR_{\beta} \Pi_{nw} = (p - c)q_{nw} - \frac{p - v}{\beta} \int_0^{q_{nw}} (q_{nw} - x) f(x) dx$, $CVaR_{\beta} \Pi_{nw}$ 只与订货量 q_{nw} 有关,而与批发价 ω_{nw} 无关, ω_{nw} 只会影响到系统收益在供应商、零售商之间的分配。把 q_{nw}^*, ω_{nw}^* 代入表达式,可得最优决策下的供应链系统收益。

2.4 基于 Nash 讨价还价博弈的回购契约模型(NB 模型)

类似地,回购契约下供应商与零售商的 Nash 讨价还价博弈问题如下:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{q, b} (CVaR_{\beta} \pi_{r, nb} - Z_0)(CVaR_{\alpha} \pi_{m, nb} - Y_0), \\ \text{s. t. } & \begin{cases} CVaR_{\beta} \pi_{r, nb} - Z_0 \geq 0; \\ CVaR_{\alpha} \pi_{m, nb} - Y_0 \geq 0; \\ b_{nb} \leq \omega, \end{cases} \end{aligned} \tag{14}$$

式中 Z_0 及 Y_0 的含义如前所述,同样选择基准契约下的保留收益为谈判起点。供应链合作伙伴通过 Nash 协商谈判来确定回购价与订购量,在满足各自的风险价值不少于各自收益的最低要求下,也满足契约参数的约束条件。

定理 4 若由式(15)、式(16)确定的 K-T 点 (q_{nb}^*, b_{nb}^*) 满足 $b_{nb}^* \leq \omega$ 约束,则基于回购契约的合作博弈存在 Nash 解, K-T 点即为博弈均衡点。

$$F(q_{nb}^*) = \frac{\beta(p - \omega) + \alpha(\omega - c)}{p - v}; \tag{15}$$

$$b_{nb}^* = \frac{p + v}{2} +$$

$$\frac{\alpha(\omega - c)q_{nb}^* + \beta Z_0 - \beta(p - \omega)q_{nb}^* - \alpha Y_0}{2 \int_0^{q_{nb}^*} F(x) dx}. \tag{16}$$

证明略。

Matlab 数值模拟表明,当零售商的风险规避水平较小时,在合理的参数取值范围内,满足式(16)的回购价均有可能出现 $b_{nb}^* > \omega$ 的情况。因此,只有当 $b_{nb}^* \leq \omega$ 时,求得的极值点 q_{nb}^*, b_{nb}^* 才是模型(14)的均衡解,否则不存在均衡点。基于合作博弈的回购契约下,供应链系统的条件风险值为

$$\begin{aligned} CVaR_{\alpha, \beta} \Pi_{nb} = & (p - c)q - \frac{p - b}{\beta} \int_0^q (q - x) f(x) dx - \\ & \frac{b - v}{\alpha} \int_0^q (q - x) f(x) dx. \end{aligned} \tag{17}$$

^① 相关证明因篇幅的原因省略,需要者可直接与作者联系。

从式(17)可看出,当 $\alpha = \beta$ 时,供应链系统收益与回购价 b 无关, b 的取值只会影响到系统收益内部的分配。但当 $\alpha \neq \beta$ 时,供应链系统的条件风险值不仅与订货量 q 有关,还与系统内部契约参数 b 有关, b 不仅影响到系统收益在供应商、零售商之间的分配,还会影响到系统总收益。这一点与风险中性不同。由定理 4 可得以下结论。

推论 1 基于 Nash 讨价还价博弈的回购契约下,回购价格是零售商风险规避水平 β 的单调递减函数。

由定理 4 及推论 1 知,基于合作博弈的回购契约下,当零售商越害怕风险,极值点 b_{nb}^* 越有可能出现高于批发价 w 的情况,这意味着供应商与零售商越有可能无法通过 Nash 讨价还价机制达成可行的契约方案。

3 风险规避下供应链决策模型的比较

根据以上分析,下面对不同契约、不同博弈机制下的最优决策进行比较。

由定理 1、定理 2,易得以下结论。

推论 2 Stackelberg 博弈机制下,供应链若实行回购契约,则相比于批发价契约,订货量以及供应链契约双方的条件风险值都是严格增加的。

推论 2 说明,当零售商与供应商均有风险规避行为时,在 Stackelberg 博弈机制下,供应链实行回购契约总是优于批发价契约。

由定理 3 和定理 4,可得以下结论。

推论 3 Nash 讨价还价博弈机制下,若回购契约存在博弈均衡,则相比于批发价契约,有:①当 $\beta = \alpha$ 时,两种契约下的订货量、供应链系统条件风险值相同;②当 $\beta < \alpha$ 时,回购契约下的订货量、供应链系统条件风险值增加。证明略。

推论 3 说明,在 Nash 讨价还价博弈机制下,当供应商与零售商的风险规避水平相同时,从订货量与供应链系统收益来看,供应链实行批发价契约与回购契约等价。但当合作伙伴的风险规避水平不一致时,只要存在博弈均衡,供应链实行回购契约总是优于批发价契约。

从推论 3 知,当供应商与零售商均为风险中性($\beta = \alpha = 1$)时,基于 Nash 讨价还价博弈的批发价契约与回购契约完全等价,这也是已有文献的研究结论。很明显,在 Nash 讨价还价博弈机制下,风险中性假设下的研究结论体现不出回购契约“风险共担”的特点。

当供应链实行批发价契约时,若分别采用 Stackelberg 博弈与 Nash 讨价还价博弈机制确定契约参数,由定理 1、定理 3,可得以下结论:

推论 4 批发价契约下,相比于 Stackelberg 博弈,供、需双方若采用 Nash 讨价还价博弈,则订货量以及供应链契约双方的条件风险值增加,而批发价格减小,即 $q_{nw}^* > q_{sw}^*, \omega_{nw}^* < \omega_{sw}^*, CVaR_{\alpha} \Pi_{m_{nw}} > CVaR_{\alpha} \Pi_{m_{sw}}, CVaR_{\beta} \pi_{r_{nw}} > CVaR_{\beta} \pi_{r_{sw}}$ 。

推论 4 表明,批发价契约下,无论从供应链合作双方还是从供应链系统的角度来看,相比于 Stackelberg 博弈, Nash 讨价还价博弈都是一个占优的博弈机制。

由定理 2 与定理 4,易得以下结论:

推论 5 回购契约下,相比于 Stackelberg 博弈,当供应链合作伙伴采用 Nash 讨价还价博弈且存在博弈均衡时,若零售商的风险规避水平满足 $\beta > \beta_i$,则订货量及系统收益增加。

推论 5 说明,回购契约下,只有当零售商的风险规避水平较高,高于阈值 β_i 时, Nash 讨价还价博弈才会比供应商主导的 Stackelberg 博弈创造更多的价值。而当 $\beta \leq \beta_i$ 时,由于零售商极度害怕风险,即使 Nash 谈判模型有可行解,零售商的订货量也非常小,此时,供应商采用 Stackelberg 博弈下的全价回购策略是其最优选择。

由定理 2 及定理 3,可得以下结论。

推论 6 设阈值 $\beta_h = \frac{2\alpha(w-c)}{p+w-2c}$, w 为回购契约中的批发价格,则基于合作博弈的批发价契约与基于 Stackelberg 博弈的回购契约进行比较,有:

(1) 当 $\beta > \beta_h$ 时,基于合作博弈的批发价契约下的订货量更大,即 $q_{nw}^* > q_{sb}^*$;

(2) 当 $\beta = \beta_h$ 时,两种契约下的订货量相等,即 $q_{nw}^* = q_{sb}^*$;

(3) 当 $\beta < \beta_h$ 时,基于 Stackelberg 博弈的回购契约下的订货量更大,即 $q_{sb}^* > q_{nw}^*$ 。

推论 6 说明,基于 Nash 讨价还价博弈的批发价契约不一定比基于 Stackelberg 博弈的回购契约更优,这取决于供应链合作双方的风险规避水平差异。

由推论 6 知,当供应商与零售商均为风险中性($\beta = \alpha = 1$)时,对供应链系统来说,基于合作博弈的批发价契约总是优于 Stackelberg 博弈的回购契约,而且当参照点选择合适时,合作博弈对供应链契约双方也是最优的博弈机制。

显然,风险中性下的结论并不完全适用于风险规避决策者构成的供应链,也体现不出回购契约“风险共担”的特点。

4 数值分析

设置系统参数 $p = 12, c = 3, v = 0, X \sim U[0, 300]$, 供应商的风险规避水平 $\alpha = 0.8$, 回购契约中 $w = 8$ 。当供应链在批发价契约与回购契约下分别采用 Stackelberg 博弈与 Nash 讨价还价博弈时,对订货量、供应商与零售商的条件风险值等进行比较(见表 1)。

表 1 风险规避供应链中不同契约、不同博弈机制下的最优定价、订货决策及风险收益

	β	Stackelberg 博弈 ($w_{sw}^* = 7.5$)				Nash 讨价还价博弈 ($w_{nw}^* = 5.81$)					
		q_{sw}^*	π_m	$C_{\beta\pi_r}$	CI	q_{nw}^*	$C_a\pi_m$	$C_{\beta\pi_r}$	CI		
批发价契约	0.80	90	405.0	202.5	607.5	180	506.2	303.8	810.0		
	0.75	84	379.7	189.8	569.5	169	474.6	284.7	759.3		
	0.70	79	354.4	177.2	531.6	158	443.0	265.8	708.8		
	0.65	73	329.1	164.5	493.6	146	411.4	246.8	658.2		
	0.57	64	288.6	144.3	432.9	128	360.7	216.4	577.1		
	0.50	56	253.1	126.6	379.7	112	316.4	189.9	506.3		
	0.40	45	202.5	101.2	303.7	90	253.2	151.8	405.0		
回购契约	β	Stackelberg 博弈					Nash 讨价还价合作博弈				
		b_{sb}	q_{sb}	$C_a\pi_m$	$C_{\beta\pi_r}$	CI	b_{nb}	q_{nb}	$C_a\pi_m$	$C_{\beta\pi_r}$	CI
	0.80	5.14	140	490.0	280.0	770.0	5.83	180	506.2	303.8	810.0
	0.75	5.45	138	472.7	275.0	747.7	6.13	175	483.7	300.7	784.4
	0.70	5.78	135	455.6	270.0	725.6	6.46	170	460.9	298.9	759.8
	0.65	6.11	132	438.9	265.0	703.9	6.82	165	438.0	298.6	736.6
	0.57	6.68	128	412.8	257.0	669.8	7.48	157	401.0	302.1	703.1
	0.50	7.20	125	390.6	250.0	640.6	—	—	—	—	—
	0.40	8.0	150	375.0	240.0	615.0	—	—	—	—	—

注:① CVaR 简写为 C。② CI 为供应链系统条件风险值。③ “—”表示不存在博弈均衡解。

表 1 中,SB 模型全价回购时的风险规避水平阈值 $\beta_l = 0.4$, 而 NW 模型比 SB 模型的订货量更大时的风险规避水平阈值 $\beta_h = 0.57$ 。另外,仅当 $\beta > 0.51$ 时,NB 模型有可行解。

从表 1 知,在 Stackelberg 博弈机制下,与批发价契约比较,供应链采取回购契约时,订货量以及契约双方的收益均有较大程度的增加。当 $\beta \leq 0.4$ 时,由于零售商极度害怕风险,订货量非常小,此时,供应商的最优选择是实行全价回购,供应商承担全部市场风险,同时也获得了供应链大部分收益,而零售商不再管理库存,也不再承担风险,因此获得的收益也较小,这完全符合收益与风险对等的经济法则。

在 Nash 讨价还价博弈机制下,当 $\beta = \alpha$ 时,两种契约下的订货量、供应商与零售商的条件风险值均相同,此时回购契约与批发价契约等价。但当零售商与供应商的风险规避水平不一致时,回购契约要优于批发价契约,且当供应链

合作伙伴的风险规避水平差异越大时,这两种契约下的订货量及系统收益差距越明显,此时,回购契约也就越能体现“风险共担”的优越性。但是,当零售商过度害怕风险时($\beta \leq 0.51$),基于合作博弈的回购契约不存在博弈均衡解,说明供应商与零售商不能通过 Nash 谈判的方式达成契约。

基于 Nash 讨价还价博弈的批发价契约与基于 Stackelberg 博弈的回购契约相比,从表 1 可看出,当 $\beta = \alpha$ 时,前者要优于后者;当 $0.57 < \beta < \alpha$ 时,虽然前者订货量更大,但是供应链系统的收益不一定更大,这主要是由于批发价契约中,系统 CVaR 值随 β 减小而下降得更快;当 $\beta < 0.57$ 时,基于合作博弈的批发价契约不仅订货量更小,系统 CVaR 值也更小。

综合上面的分析知,当零售商与供应商风险规避水平相同时,供应链的最优选择是采用基于 Nash 讨价还价博弈的批发价契约或者回购契约,此时,两种契约完全等价;当零售商与供应商的风险规避水平相差不大时(表 1 中, $\beta > 0.51$),基于 Nash 讨价还价博弈的回购契约要优于相同博弈机制下的批发价契约,也优于 Stackelberg 博弈下的回购契约;当零售商与供应商的风险规避水平相差较大时(表 1 中, $\beta \leq 0.51 < \beta_h$),供应商不会选择 Nash 协商谈判下的任一契约,而是选择 Stackelberg 博弈下的回购契约。总之,契约与博弈机制的选择需要考虑合作双方的风险规避水平及其相对差异。同时,相对批发价契约,回购契约在风险规避供应链中更好地体现了其“风险共担”的特点。

5 结束语

在供应链成员均为风险规避假设下,本研究以批发价契约和回购契约为例,分别建立了基于 Stackelberg 博弈和 Nash 讨价还价博弈的供应链决策模型,分析、比较了这几种模型的最优定价、订货决策以及在供应链系统收益上的差别。主要结论有:①在 Nash 讨价还价博弈机制下,仅当供应商与零售商的风险规避水平相同时,批发价契约与回购契约才等价,当二者的风险规避水平不一致时,如果回购契约存在博弈均衡,则回购契约总是优于批发价契约。②批发价契约下,无论从供应链合作双方还是从供应链系统的角度来看,相比于 Stackelberg 博弈,Nash 讨价还价博弈都是一个占优的博弈机制。但在回购契约下,仅当供应链合作伙伴间的风险规避水平相差不大时该结论才成立。

③ Nash 讨价还价博弈下的批发价契约并不一定比 Stackelberg 博弈的回购契约更优,这取决于供应链合作双方的风险规避水平差异。

研究表明,供应链选择简单的批发价契约还是“风险共担”的回购契约,契约参数的确定是采用局部最优的 Stackelberg 博弈还是 Nash 讨价还价博弈,除了考虑供应链系统内外部条件外,还需考虑合作双方的风险规避水平及其相对差异。同时,回购契约在供应链成员风险规避时真正地体现了其“风险共担”的优点,与风险中性假设下的结论相比,风险规避下的研究结论更符合供应链管理实践。

参 考 文 献

[1] CACHON G P. Supply Chain Coordination with Contracts [C]//GRAVES S, KOK T. Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management. Amsterdam: North-Holland, 2003: 227~339

[2] HEZARKHANI B, KUBIAK W. Coordinating Contracts in SCM: A Review of Methods and Literature [J]. Decision Making in Manufacturing and Services, 2010, 4(1-2): 5~28

[3] GOVINDAN K, POPIUC M N, DIABAT A. Overview of Coordination Contracts within Forward and Reverse Supply Chains [J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 47(5): 319~334

[4] CHIU C H, CHOI T M, LI X. Supply Chain Coordination with Risk Sensitive Retailer Under Target Sales Rebate[J]. Automatica, 2011, 47(8): 1 617~1 625

[5] CHOI T M, LI D, YAN H M. Mean-Variance Analysis of A Single Supplier and Retailer Supply Chain under A Returns Policy[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 184(1): 356~376

[6] 叶飞, 林强, 李怡娜. 基于 CVaR 的“公司+农户”型订单农业供应链协调契约机制[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(3): 450~460

[7] HSIEH C C, LU Y T. Manufacturer's Return Policy in a Two-Stage Supply Chain with Two Risk-Averse Retailers and Random Demand [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(1): 514~523

[8] WU J, WANG S Y, CHAO X L, et al. Impact of Risk Aversion on Optimal Decisions in Supply Contracts[J]. International Journal of Production Economics, 2010, 128 (2): 569~576

[9] 代建生, 孟卫东. 风险规避下具有促销效应的收益共享契约[J]. 管理科学学报, 2014, 17(5): 25~34

[10] FISHER M, RAMAN A. Reducing the Cost of Demand Uncertainty through Accurate Response to Early Sales [J]. Operations Research, 1996, 44

(1): 87~99

[11] KATOK E, WU D. Contracting in Supply Chains: a Laboratory Investigation [J]. Management Science, 2009, 55(12): 1953~1968.

[12] 高文军, 陈菊红. 基于 CVaR 的闭环供应链优化与协调决策研究[J]. 控制与决策, 2011, 26(4): 489~494

[13] 闻卉, 曹晓刚, 黎继子. 基于 CVaR 的供应链回购策略优化与协调研究[J]. 系统工程学报, 2013, 28(2): 211~217

[14] HUA Z S, LI S J, LIANG L. Impact of Demand Uncertainty on Supply Chain Cooperation of Single-Period Products [J]. International Journal of Production Economics, 2006, 100(2): 268~284

[15] 叶飞, 李怡娜. 基于 Stackelberg 模型与 Nash 协商模型的供应链回购契约机制研究[J]. 管理工程学报, 2007, 21(3): 39~43

[16] MA L J, LIU F M, LI S J, et al. Channel Bargaining with Risk-Averse Retailer [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 139 (1): 155~167

[17] WU D. Coordination of Competing Supply Chains with Newsvendor and Buyback Contract [J]. International Journal of Production Economics, 2013, 144(1): 1~13

[18] CHEN J, ZHANG H, SUN Y. Implementing Coordination Contracts in A Manufacturer Stackelberg Dual-Channel Supply Chain [J]. Omega: The International Journal of Management Science, 2012, 40(5): 571~583

[19] ROCKAFELLAR R T, URYASEV S. Optimization of Conditional Value-at-Risk [J]. Journal of risk, 2000, 2(3): 21~42

[20] 简惠云, 许民利. “报童问题”中风险偏好下的条件风险值及其优化研究[J]. 控制与决策, 2013, 28(10): 1446~1453

[21] ROCKAFELLAR R T, URYASEV S. Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions [J]. Journal of Banking & Finance, 2002, 26 (7): 1 443~1 471

[22] GAN X, SETHI S P, ZHOU J. Commitment ~ Penalty Contracts in Drop ~ Shipping Supply Chains with Asymmetric Demand Information [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 204(3): 449~462

(编辑 刘继宁)

通讯作者: 简惠云 (1971~), 女, 湖南桃源人。中南大学 (长沙市 410083) 商学院讲师, 博士。研究方向为供应链管理, 行为运作管理。E-mail: jianhuiyun@163.com