

Supply Chain Coordination with Inventory Level Dependent Demand and Inventory Risk Averse Retailer

Yujin Zhong, Jiangtao Mo*, Ping Sun

College of Mathematics and Information Science, Guangxi University, Nanning Guangxi
Email: 1252576921@qq.com, *mjt@gxu.edu.cn

Received: Jan. 30th, 2019; accepted: Feb. 13th, 2019; published: Feb. 20th, 2019

Abstract

The coordination issue of supply chain composed of a supplier and a retailer is discussed, in which the demand of the product is stochastic and affected by the inventory level, that is, when the inventory level is high, the demand increases, and when the inventory level is low, the demand decreases. Taking the probability of surplus products exceeding the predetermined value as the retailer's inventory risk measurement, the retailer's ordering strategy is analyzed and the way to achieve supply chain coordination by the rebate and penalty contract is explored. The results show that the rebate and penalty contract can coordinate the supply chain with certain conditions. Numerical analysis shows that with the increase of demand elasticity parameter, the optimal order quantity and the supply chain overall profit increase. However, with the increase of inventory risk averse, the optimal order quantity may decrease, then the supply chain overall profit decreases and the supply chain fails to coordinate.

Keywords

Inventory Level Dependent Demand, Inventory Risk Averse, The Rebate and Penalty Contract, Supply Chain Coordination

需求依赖库存水平且零售商为库存风险厌恶的供应链协调

钟玉金, 莫降涛*, 孙平

广西大学数学与信息科学学院, 广西 南宁
Email: 1252576921@qq.com, *mjt@gxu.edu.cn

*通讯作者。

收稿日期：2019年1月30日；录用日期：2019年2月13日；发布日期：2019年2月20日

摘要

本文研究一个供应商和一个零售商组成的供应链协调问题，其中，产品的需求是随机的，并且受库存水平的影响，即当库存水平较高时，需求增加，当库存水平较低时，需求减少。以剩余产品超过预定值的概率作为零售商的库存风险度量，分析了零售商的订购策略，探讨了用回馈和惩罚契约实现供应链协调的途径。研究表明：一定条件下，回馈与惩罚契约能够协调供应链。数值分析表明：随着需求弹性参数的增大，零售商的最优订购量和供应链的整体利润均增大。但是，随着库存风险厌恶程度的增大，最优订购量可能会减少，导致供应链的整体利润降低，供应链不协调。

关键词

需求依赖库存水平，库存风险厌恶，回馈与惩罚契约，供应链协调

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在生产中存在着许多不确定因素，比如需求不确定、供应不确定和信息不对称等，使得企业面临着巨大的风险，平衡风险和收益成为供应链协调的重要课题。在现有的研究中，一般假设供应链成员是风险中性的。然而，决策者的风险态度不都是一样的。决策者的风险态度直接影响决策结果。因此，结合供应链决策者的风险态度研究供应链协调，具有重要的理论和现实意义。

近十年，成员为风险厌恶或损失厌恶的供应链协调问题逐渐成为研究热点。Gan 等[1]研究了一个风险中性供应商和下行风险厌恶零售商组成的供应链协调问题，发现回购契约和收益共享契约都不能实现供应链协调，然后设计一种风险共享契约来实现供应链协调；Zhang 等[2]研究了零售商为损失厌恶的供应链协调问题，发现回购契约和目标回馈契约都可以实现供应链协调；Shi 等[3]研究了回购契约和价格折扣契约对损失厌恶零售商参与的供应链的协调作用，研究发现回购契约和价格折扣契约不仅可以实现供应链协调，还可以实现成员利润的任意分配；Hu 等[4]研究了零售商为损失厌恶的三级供应链协调问题，发现收益共享契约能够实现帕累托改进；Hsieh [5]将 CVaR 方法运用到供应链中，研究了不确定需求下一个制造商和两个风险厌恶零售商组成的供应链回购策略；Chiu 等[6]引入均值方差方法，研究了风险厌恶零售商参与的目标回馈契约协调问题，发现目标回馈契约可以实现供应链协调；Xu 等[7]也运用均值方差方法，研究了制造商和零售商均是风险厌恶的双渠道供应链协调问题，提出了基于双向收益共享契约的协调方法；李建斌等[8]采用 CVaR 方法，研究了零售商是风险厌恶的回馈与惩罚契约设计问题，结果表明：通过选择合适的契约参数，可以实现供应链协调；霍良安等[9]在突发事件下，提出了用基于订货量与实际回收量的回馈与惩罚契约来协调风险厌恶闭环供应链的方法，结果表明：突发事件造成产品的价格与成本同时发生扰动时，回馈与惩罚契约可以实现闭环供应链协调。魏光兴等[10]研究了零售商为库存风险厌恶的供应链协调问题，研究发现部分回购契约能够协调供应链。值得指出的是，在上述研究中，决策者的风险偏好都是用效用函数表示，并将其作为决策的目标函数。

在实际生产中, 产品的需求除了受随机因素(如: 天气、自然灾害等)等影响外, 还受其他因素影响, 例如: 超市销售的蔬菜和水果, 其需求除随机因素影响外, 还受库存水平影响, 因为库存较高时, 被认为比较新鲜, 会激发顾客的消费欲望。近年来, 一些学者对需求受库存水平影响的供应链协调问题进行了研究。Devangan 等[11]假设随机需求函数由两部分组成, 一部分描述了库存水平的影响, 另一部分是外生因素引起的随机性影响, 即 $D = \alpha + \beta q + \varepsilon$, 其中, q 是库存水平, ε 是随机变量, 探讨了用回购契约实现供应链协调的途径; Wang 等[12]假设市场随机需求服从均匀分布, 且均匀分布区间端点与订购量相关, 并考虑了库存损耗, 研究了需求受库存水平影响的供应链协调问题, 发现回购契约可以实现供应链协调; Parthasarathi 等[13]考虑价格影响因素, 研究了需求受库存水平和价格影响的供应链协调问题, 结果表明: 当批发价在一定范围内时, 回购契约能够协调供应链; 随后, Parthasarathi 等[14]又进一步研究了两个零售商价格竞争下需求受库存水平和价格影响的供应链协调问题, 建立了回购和数量折扣联合契约模型, 发现联合契约能实现供应链协调。上述文献均假设库存水平对需求起正面刺激作用, 即库存越大, 需求越大。

本文研究一类零售商是库存风险厌恶的供应链协调问题。与已有文献相比, 本文有两个值得注意的地方。第一, 本文假设产品的需求受两个方面因素的影响, 一部分是基本需求, 由市场调查或历史数据分析获得, 另一部分是由库存水平决定的变动需求, 当库存水平较高时, 能刺激顾客的消费欲望, 需求增加。相反, 当库存水平较低时, 会导致一些顾客取消原来的购买计划, 需求减少。第二, 本文假设零售商是库存风险厌恶的, 用剩余产品超过预定值的概率表示风险值, 并作为决策模型的约束条件, 而不是像大多数文献一样, 用效用函数表示风险偏好, 当作决策模型的目标函数。本文的目的是研究需求受库存水平影响和零售商的库存风险厌恶对供应链成员决策的影响。为此, 首先建立集中式供应链基准模型和分散式供应链模型, 分析库存风险厌恶零售商的最优订购策略, 然后探讨用回馈和惩罚契约实现供应链协调的途径, 给出实现供应链协调契约参数必须满足的条件。最后, 分析主要参数对零售商的订购策略和供应链利润的影响。

2. 问题描述

本文研究一个风险中性供应商和一个库存风险厌恶零售商组成的二级供应链协调问题。供应商以单位成本 c 生产产品, 零售商以单位价格 w 向供应商订购产品, 并以单位价格 p 销售给顾客。销售季节结束后, 剩余产品的残值为 h 。一般地, 假设 $p > w > c > h$ 。

假设产品的需求是随机的, 并且受库存水平的影响。根据历史数据或市场调查, 产品的需求量为随机变量 x , 其密度函数和分布函数分别为 $f(x)$ 和 $F(x)$, 且 $f(x)$ 和 $F(x)$ 均连续、可微和可逆。称这一部分需求量为基本需求量。在销售过程中, 零售商将产品全部陈列在货架上, 产品的数量将对顾客消费欲望产生影响。称这一部分需求量为变动需求量。例如蔬菜、水果等产品, 当产品的数量较多时, 会被认为是比较新鲜的, 使一些顾客临时决定购买此产品, 产品的实际需求量将大于基本需求量。相反, 当产品的数量较少时, 会导致一些顾客取消原来的购买计划, 产品的实际需求量小于基本的需求量。采用类似 Devangan 等[11]的方法, 用订购量 q 表示库存水平, 则受库存水平影响的产品的实际需求量表示为:

$$D(q, x) = x + \alpha(q - x - u), \quad (1)$$

其中: x 是基本的需求量, q 是订购量, α ($0 \leq \alpha \leq 1$) 是需求弹性参数, u 是给定非负常数。当 $q \geq x + u$ 时, $D(q, x) \geq x$, 即库存水平较高时, 实际需求大于基本需求; 当 $q < x + u$ 时, $D(q, x) < x$, 即库存水平较低时, 实际需求小于基本需求。显然, 库存水平影响需求的形式明显不同于 Devangan 等[11]。但是, $\alpha = 0$ 时, 产品的需求不受库存水平影响, 实际需求就是 x , 很多学者已经对这类供应链协调问题进行了相关研究。

假设零售商是库存风险厌恶的。当市场实际需求量小于订购量时，会造成库存积压，这使得零售商要承担库存风险。本文采用与魏光兴等[10]不同的方法表示库存风险厌恶偏好，即用库存超过预定值的概率来描述零售商的库存风险厌恶偏好，即：

$$\Pr\{q - s(q, x) \geq v\} \leq \xi, \quad (2)$$

其中： $\xi \in (0, 1)$ 是给定常数，它表示零售商库存风险厌恶的程度， v 是非负常数，它表示零售商预先设定的库存水平， $s(q, x)$ 是零售商的实际销售量。

根据假设，产品的实际销售量为：

$$\begin{aligned} s(q, x) &= \min(D(q, x), q) \\ &= \begin{cases} x + \alpha(q - x - u), & 0 \leq x \leq q + \theta u; \\ q, & x > q + \theta u, \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

其中： $\theta = \alpha/(1 - \alpha)$ 。

期望销售量和期望剩余量分别为：

$$\begin{aligned} S(q) &= \int_0^{q+\theta u} [x + \alpha(q - x - u)] f(x) dx + \int_{q+\theta u}^{+\infty} q f(x) dx \\ &= q - (1 - \alpha) \int_0^{q+\theta u} F(x) dx. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(q) &= E(q - s(x, q))^+ \\ &= \int_0^{q+\theta u} [q - x - \alpha(q - x - u)] f(x) dx \\ &= (1 - \alpha) \int_0^{q+\theta u} F(x) dx. \end{aligned}$$

引理 1： 库存风险厌恶的零售商存在一个订货上界：

$$q_0 = F^{-1}(\xi) - (\alpha u - v)/(1 - \alpha). \quad (4)$$

证：由(2)式得：

$$\begin{aligned} \Pr\{q - s(q, x) \geq v\} &= \Pr\{q - s(q, x) \geq v, x \leq q + \theta u\} \\ &\quad + \Pr\{q - s(q, x) \geq v, x > q + \theta u\} \\ &= \Pr\{x \leq q + (\alpha u - v)/(1 - \alpha)\} \\ &= F(q + (\alpha u - v)/(1 - \alpha)). \end{aligned}$$

所以， $\Pr\{q - s(q, x) \geq v\} \leq \xi$ 等价于 $F(q + (\alpha u - v)/(1 - \alpha)) \leq \xi$ ，即 $q \leq q_0$ 。

引理表明，当零售商为库存风险厌恶时，零售商的订购量需满足 $0 < q \leq q_0$ ，且上界 q_0 与 α 和 ξ 有关。

本文的目的是研究零售商具有库存风险厌恶偏好的供应链协调问题，因此，我们称一个契约协调供应链是指：在该契约下，1) 分散式供应链的期望利润等于集中式供应链的最优期望利润；2) 零售商的库存超过预定值的概率不超过 ξ ；3) 供应商和零售商的期望利润不小于批发价契约下的最优期望利润。

3. 集中式供应链

集中决策下，零售商和供应商是一个经济实体，供应链的决策目标是最大化供应链系统的期望利润。

供应链系统的期望利润为：

$$\begin{aligned} E\pi_c(q) &= pS(q) + hI(q) - cq \\ &= (p - c)q - (1 - \alpha)(p - h) \int_0^{q+\theta u} F(x) dx. \end{aligned} \quad (5)$$

定理 1: 当

$$(1-\alpha)F(\theta u) \leq \frac{p-c}{p-h} < 1-\alpha, \quad (6)$$

时, 供应链系统的最优订购量为:

$$q_c = F^{-1}\left(\frac{p-c}{(1-\alpha)(p-h)}\right) - \theta u. \quad (7)$$

证: 对 $E\pi_c(q)$ 关于 q 分别求一阶导和二阶导得:

$$\begin{aligned} \frac{dE\pi_c(q)}{dq} &= (p-c) - (1-\alpha)(p-h)F(q+\theta u), \\ \frac{d^2E\pi_c(q)}{dq^2} &= -(1-\alpha)(p-h)f(q+\theta u). \end{aligned}$$

易知 $\frac{d^2E\pi_c(q)}{dq^2} < 0$, 所以, $E\pi_c(q)$ 是关于 q 的凹函数。

当(6)式成立时, 有

$$\begin{aligned} \lim_{q \rightarrow 0} \frac{dE\pi_c(q)}{dq} &= (p-c) - (1-\alpha)(p-h)F(\theta u) \geq 0, \\ \lim_{q \rightarrow \infty} \frac{dE\pi_c(q)}{dq} &= (p-c) - (1-\alpha)(p-h) < 0. \end{aligned}$$

由根的存在定理知, 存在 $q_c \in (0, \infty)$ 使得 $\frac{dE\pi_c(q)}{dq} = 0$, 整理即得(7)式。

当 $\alpha = 0$ 时, 供应链系统的最优订购量为:

$$q_c = F^{-1}\left(\frac{p-c}{p-h}\right).$$

此时, 供应链系统的最优订货量与传统供应链模型相同。

4. 分散式供应链

在分散式供应链中, 零售商和供应商是独立的经济主体。在销售季节前, 零售商根据批发价和市场需求信息决定订购量, 供应商按零售商的订单生产产品。

4.1. 批发价契约

在批发价契约下, 零售商和供应商的期望利润分别如下:

$$\begin{aligned} E\pi_r(q) &= pS(q) + hI(q) - wq \\ &= (p-w)q - (1-\alpha)(p-h) \int_0^{q+\theta u} F(x) dx. \end{aligned} \quad (8)$$

$$E\pi_s(q) = (w-c)q. \quad (9)$$

因此, 零售商的决策模型为:

$$\begin{aligned} \max \quad & E\pi_r(q) \\ \text{s.t.} \quad & 0 < q \leq q_0. \end{aligned} \quad (10)$$

定理 2: 在批发价契约下, 当参数满足:

$$(1-\alpha)F(\theta u) \leq \frac{p-w}{p-h} < 1-\alpha, \quad (11)$$

时, 零售商的最优订购量为: $q_r^* = \min(q_0, q_r)$, 其中,

$$q_r = F^{-1}\left(\frac{p-w}{(1-\alpha)(p-h)}\right) - \theta u. \quad (12)$$

证: 对 $E\pi_r(q)$ 关于 q 分别求一阶导和二阶导得:

$$\frac{dE\pi_r(q)}{dq} = (p-w) - (1-\alpha)(p-h)F(q+\theta u),$$

$$\frac{d^2E\pi_r(q)}{dq^2} = -(1-\alpha)(p-h)f(q+\theta u).$$

易知 $\frac{d^2E\pi_r(q)}{dq^2} < 0$, 所以, $E\pi_r(q)$ 是关于 q 的凹函数。

由(11)式, 有

$$\lim_{q \rightarrow 0} \frac{dE\pi_r(q)}{dq} = (p-w) - (1-\alpha)(p-h)F(\theta u) \geq 0,$$

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \frac{dE\pi_r(q)}{dq} = (p-w) - (1-\alpha)(p-h) < 0.$$

由根的存在定理知, 存在 $q_r \in (0, \infty)$ 使得 $\frac{dE\pi_r(q)}{dq} = 0$, 整理即得(12)式。又因 $0 < q \leq q_0$, 因此, 零售商的最优订购量 $q_r^* = \min(q_0, q_r)$ 。

由定理 2 知, 当 $q_0 \geq q_r$ 时, $q_r^* = q_r$, 由于 $w > c$, 则 $q_r^* < q_c$; 当 $q_0 < q_r$ 时, $q_r^* = q_0$, 则 $q_r^* < q_r < q_c$ 。由此可知, 在批发价契约下, 零售商的最优订购量总是小于集中式供应链的最优订购量, 则 $E\pi_r(q_r^*) + E\pi_s(q_r^*) < E\pi_c(q_c)$ 。由供应链协调的定义知, 批发价契约无法使供应链实现协调。所以, 为了激励零售商增加订购量, 实现供应链协调, 供应商需提供其他协调契约。

4.2. 回馈与惩罚契约

在回馈与惩罚契约下, 在销售季节前, 供应商公布批发价 w 、销售目标 T 和回馈与惩罚参数 β , 零售商决定订购量。在销售季节结束后, 如果零售商能超额完成销售目标, 则供应商对超额完成部分单位奖励 β , 相反, 对未完成目标部分单位惩罚 β 。

在回馈与惩罚契约下, 零售商和供应商的期望利润分别为:

$$\begin{aligned} E\pi_{r1}(q) &= pS(q) + hI(q) + \beta E(s(q) - T) - wq \\ &= (p-w+\beta)q - (1-\alpha)(p-h+\beta) \int_0^{q+\theta u} F(x) dx - \beta T. \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} E\pi_{s1}(q) &= (w-c)q - \beta E(s(q) - T) \\ &= (w-c-\beta)q + \beta(1-\alpha) \int_0^{q+\theta u} F(x) dx + \beta T. \end{aligned} \quad (14)$$

因此, 零售商的决策模型为:

$$\begin{aligned} \max \quad & E\pi_{r1}(q) \\ \text{s.t.} \quad & 0 < q \leq q_0. \end{aligned} \quad (15)$$

定理 3: 在回馈与惩罚契约下, 当契约参数满足:

$$(1-\alpha)F(\theta u) \leq \frac{p-w+\beta}{p-h+\beta} < 1-\alpha, \quad (16)$$

时, 零售商的最优订购量为: $q_{r1}^* = \min(q_0, q_{r1})$, 其中,

$$q_{r1} = F^{-1}\left(\frac{p-w+\beta}{(1-\alpha)(p-h+\beta)}\right) - \theta u. \quad (17)$$

证: 对 $E\pi_{r1}(q)$ 分别关于 q 求一阶导和二阶导得:

$$\frac{dE\pi_{r1}(q)}{dq} = p-w+\beta - (1-\alpha)(p-h+\beta)F(q+\theta u),$$

$$\frac{d^2E\pi_{r1}(q)}{dq^2} = -(p-h+\beta)f(q+\theta u).$$

易知 $\frac{d^2E\pi_{r1}(q)}{dq^2} < 0$, 所以, $E\pi_{r1}(q)$ 是关于 q 的凹函数。

当(16)式成立时, 有

$$\lim_{q \rightarrow 0} \frac{dE\pi_{r1}(q)}{dq} = p-w+\beta - (1-\alpha)(p-h+\beta)F(\theta u) \geq 0,$$

$$\lim_{q \rightarrow \infty} \frac{dE\pi_{r1}(q)}{dq} = p-w+\beta - (1-\alpha)(p-h+\beta) < 0.$$

由根的存在性定理知, 存在 q_{r1} 使得 $\frac{dE\pi_{r1}(q)}{dq} = 0$, 整理即得(17)式。又因 $0 < q \leq q_0$, 因此, 零售商

的最优订购量 $q_{r1}^* = \min(q_0, q_{r1})$ 。

由定理 3 知, 当零售商为风险中性时, 零售商的最优订购量为 q_{r1} 。但是, 当零售商为库存风险厌恶时, 零售商的最优订购量为 $q_{r1}^* = \min(q_0, q_{r1})$, q_{r1}^* 与 (w, β) 、 α 和 ξ 有关。

记 $E\pi_{r1}^* = E\pi_{r1}(q_c)$, $E\pi_{s1}^* = E\pi_{s1}(q_c)$, $E\pi_c^* = E\pi_c(q_c)$, $E\pi_r^* = E\pi_r(q_r)$, $E\pi_s^* = E\pi_s(q_r)$ 。接下来, 我们探讨用回馈与惩罚契约来实现供应链协调的途径。

定理 4: 假设

$$(1-\alpha)F(\theta u) \leq \frac{p-c}{p-h} \leq (1-\alpha)F\left(F^{-1}(\zeta) + \frac{v}{1-\alpha}\right), \quad (18)$$

若回馈与惩罚契约的参数 (w, β, T) 满足条件:

$$\beta = \frac{p-h}{c-h}w - \frac{p-h}{c-h}c, \quad (19)$$

$$T_1 \leq T \leq T_2, \quad (20)$$

则该契约能够协调供应链, 其中,

$$T_1 = \frac{(c-h)E\pi_s^* + (w-c)E\pi_c^*}{(p-h)(w-c)},$$

$$T_2 = \frac{(w-h)E\pi_c^* - (c-h)E\pi_r^*}{(p-h)(w-c)}.$$

证：当契约参数满足(19)式时，可以推出：

$$\frac{p-w+\beta}{p-h+\beta} = \frac{p-c}{p-h}。 \quad (21)$$

由(18)式得到：

$$(1-\alpha)F(u\theta) \leq \frac{p-c}{p-h} \leq (1-\alpha)F\left(F^{-1}(\xi) + \frac{v}{1-\alpha}\right) < 1-\alpha。 \quad (22)$$

由定理 1 知，供应链系统的最优订购量为 q_c ，且 $q_c \leq q_0$ ；由(21)式、(22)式和定理 3 知，零售商的最优订购量为 $q_{r1}^* = \min(q_0, q_{r1})$ ；由(18)式和(21)式知， $q_{r1} \leq q_0$ ；再由(7)式和(17)式，得到 $q_{r1} = q_c$ 。

于是， $q_{r1}^* = q_{r1} = q_c$ ，即分散式供应链的期望利润等于集中式供应链的最优期望利润，且零售商的库存超过预定值的概率不超过 ξ 。

由供应链的协调定义可知，若要使供应链实现协调，还需满足：

$$\begin{cases} E\pi_{r1}^* \geq E\pi_r^* \\ E\pi_{s1}^* \geq E\pi_s^* \end{cases}。$$

由(5)式、(13)式和(19)式可得：

$$E\pi_{r1}^* = \frac{w-h}{c-h} E\pi_c^* - \frac{(p-h)(w-c)}{c-h} T, \quad (23)$$

由(5)式、(14)式和(19)式可得：

$$E\pi_{s1}^* = \frac{c-w}{c-h} E\pi_c^* + \frac{(p-h)(w-c)}{c-h} T。 \quad (24)$$

当 $T_1 \leq T \leq T_2$ 时， $E\pi_{s1}^* \geq E\pi_s^*$ ， $E\pi_{r1}^* \geq E\pi_r^*$ 。此时，供应链的协调定义三个条件均得到满足，则供应链实现了协调。

由定理 4 可知，当参数满足(18)式和(19)式时，对于任意 $T \in [T_1, T_2]$ ，回馈与惩罚契约能够协调供应链。

5. 数值例子

为了验证本文的结论和分析主要参数对零售商的订购策略和供应链利润的影响，我们给出了如下数值例子。假设市场需求服从 $[0, 200]$ 的均匀分布，模型中用到的参数设置如下： $p=12$ ， $c=5$ ， $h=2$ 。

5.1. 协调分析

假设零售商的随机需求为 $D(q, x) = x + 0.2(q - x - 60)$ 。取 $\xi = 0.6$ ， $v = 50$ ， $w = 6.5$ ， $T = 90$ 。由(19)可知， $\beta = 5$ ，计算得： $q_c = q_{r1} = 160$ ， $q_0 = 167.5$ ，则 $q_{r1} < q_0$ 。从图 1 可以看出，零售商的期望利润和供应链系统的期望利润在 $q = 160$ 时均达到最优，此时，分散式供应链的期望利润等于集中式供应链的最优期望利润。

由(20)式得： $87.5000 \leq T \leq 93.1250$ ，在 $[85.2500, 95.3750]$ 对 T 进行取值，结果如表 1 所示。

由表 1 可知，随着 T 的逐渐增大， $E\pi_{r1}^*$ 逐渐减小， $E\pi_{s1}^*$ 逐渐增大；当 $T \in [87.5000, 93.1250]$ 时， $E\pi_{r1}^* \geq E\pi_r^*$ ， $E\pi_{s1}^* \geq E\pi_s^*$ ，回馈与惩罚契约能够协调供应链。

表 2 反映了参数 α 的变化对供应链协调的影响。由表 2 知，随着 α 的逐渐增大，零售商的最优订购量逐渐增大，供应商设定销售目标也增大。这说明随着库存水平对需求的影响的增大，零售商会订购更多产品，但是，供应商也会给零售商设定更高的销售目标。

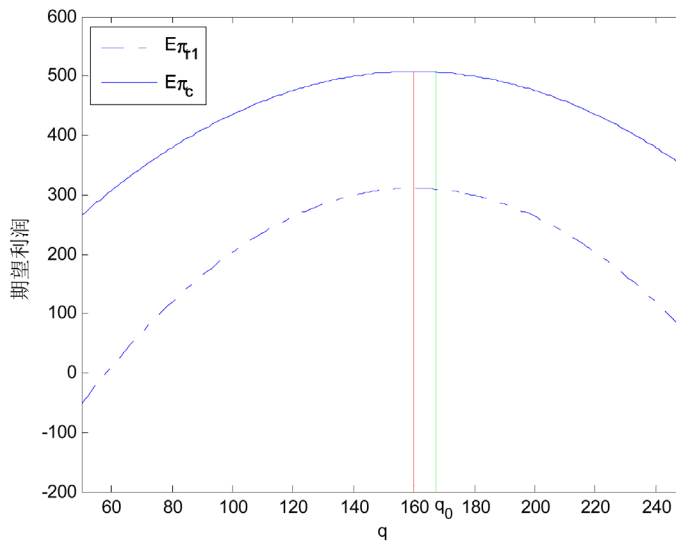


Figure 1. The expected profit curves of the retailer and the supply chain system

图 1. 零售商和供应链系统的期望利润曲线

Table 1. The impacts of T on $E\pi_{r1}^*$ and $E\pi_{s1}^*$

表 1. T 对 $E\pi_{r1}^*$ 和 $E\pi_{s1}^*$ 的影响

T	$E\pi_{r1}^*$	$E\pi_{s1}^*$	$E\pi_{r1}^* - E\pi_r^*$	$E\pi_{s1}^* - E\pi_s^*$
85.2500	335.0000	172.5000	39.3750	-11.2500
86.3750	329.3750	178.1250	33.7500	-5.6250
87.5000	323.7500	183.7500	28.1250	0.0000
88.6250	318.1250	189.3750	22.5000	5.6250
89.7500	312.5000	195.0000	16.8750	11.2500
90.8750	306.8750	200.6250	11.2500	16.8750
92.0000	301.2500	206.2500	5.6250	22.5000
93.1250	295.6250	211.8750	0.0000	28.1250
94.2500	290.0000	217.5000	-5.6250	33.7500
95.3750	284.3750	223.1250	-11.2500	39.3750

Table 2. The impacts of α on q_{r1}^* and T

表 2. α 对 q_{r1}^* 和 T 的影响

α	$q_{r1}^* = q_{r1} = q_c$	T
0.0000	140.0000	[82.0000, 86.5000]
0.0500	144.2105	[83.1519, 87.8947]
0.1000	148.8889	[84.4444, 89.4444]
0.1500	154.1176	[85.8824, 91.1765]
0.2000	160.0000	[87.5000, 93.1250]
0.2500	166.6667	[89.3333, 95.3333]

5.2. 参数对供应链的影响

由理论结果知，最优订购量 q_{r1}^* 与 (w, β) 、 α 和 ξ 有关，因此，本小节进一步分析这些参数的变化对

零售商的订购策略和供应链利润的影响。

5.2.1. 参数 w 和 β

假设零售商的随机需求为 $D(q, x) = x + 0.2(q - x - 60)$ 。取 $\xi = 0.6$, $v = 50$, $\beta = 5$, $T = 90$ 。将 w 从 6.5 到 10 取值, 绘制出最优订货量和供应链成员利润关于 w 的曲线, 如图 2 和图 3 所示。

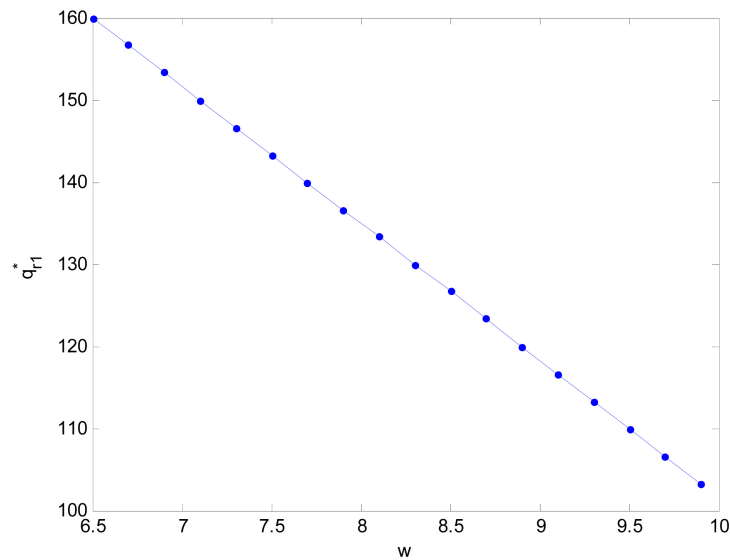


Figure 2. The impacts of w on the optimal order quantity

图 2. w 对最优订购量的影响

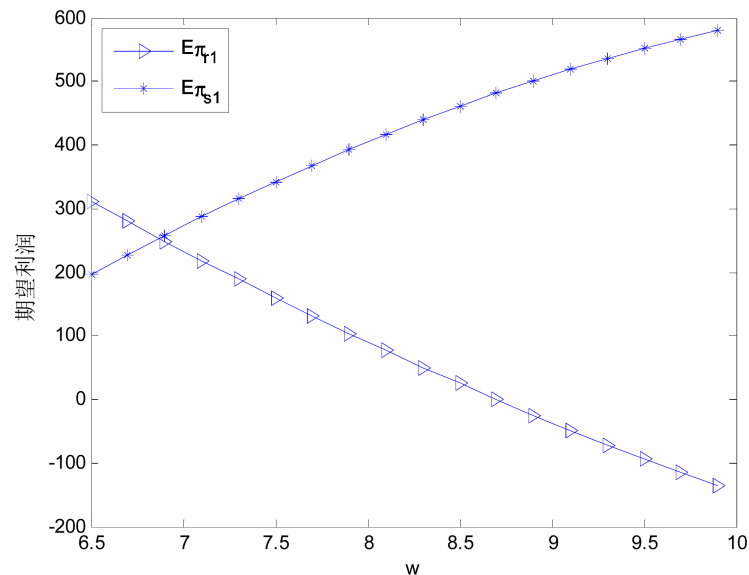


Figure 3. The impacts of w on $E\pi_{r1}$ and $E\pi_{s1}$

图 3. w 对 $E\pi_{r1}$ 和 $E\pi_{s1}$ 的影响

由图 2 知, 随着批发价 w 的逐渐增大, 零售商的最优订购量逐渐减少。由图 3 知, 随着 w 的逐渐增大, 零售商的期望利润逐渐减少, 而供应商的期望利润逐渐增加。当批发价增大到一定程度时, 供应商的期望利润高于零售商的期望利润。这说明, 当 β 给定时, 供应商减少批发价可以激励零售商增加订购

量，从而促使供应链实现协调。

取 $\xi = 0.6$ ， $v = 50$ ， $w = 6.5$ ， $T = 90$ 。将 β 从 0 到 6 取值，绘制出最优订货量和供应链成员利润关于 β 的曲线，如图 4 和图 5 所示。

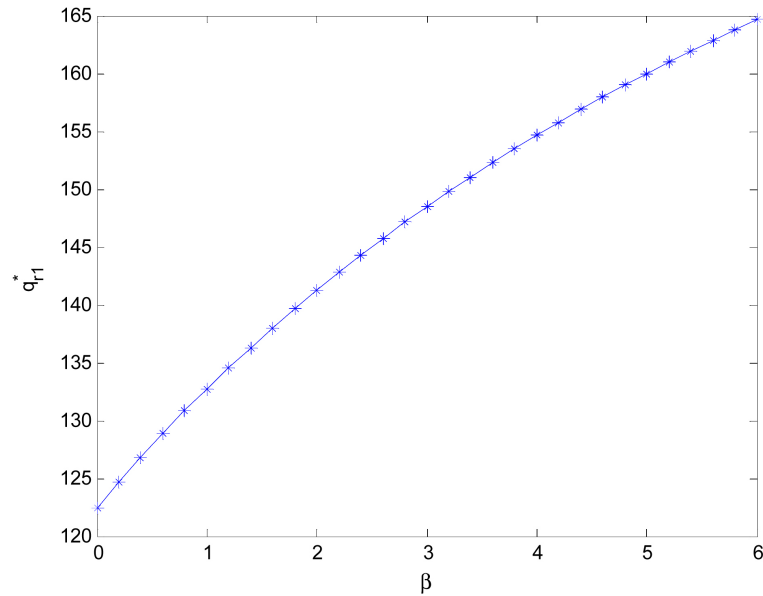


Figure 4. The impacts of β on the optimal order quantity
图 4. β 对最优订购量的影响

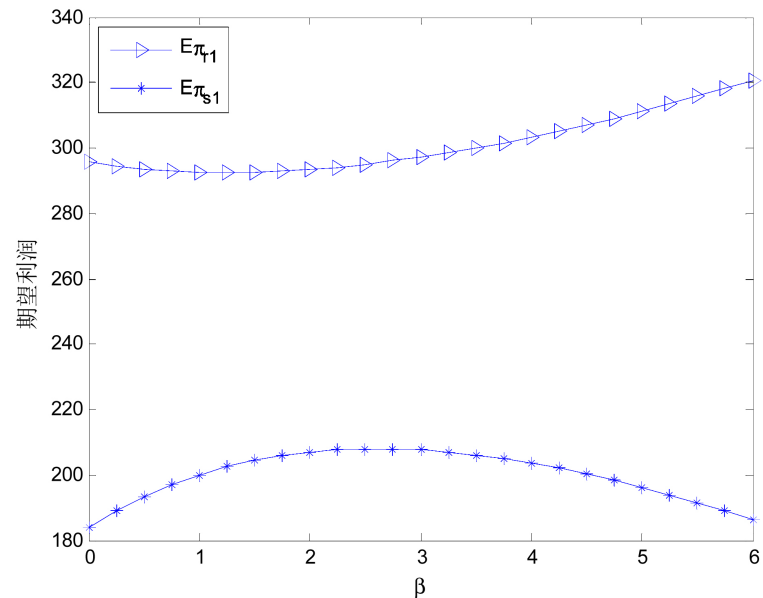


Figure 5. The impacts of β on $E\pi_{r1}$ and $E\pi_{s1}$
图 5. β 对 $E\pi_{r1}$ 和 $E\pi_{s1}$ 的影响

由图 4 知，随着 β 的逐渐增大，零售商的最优订购量逐渐增大。由图 5 知，随着 β 的逐渐增大，零售商的期望利润先减少后增加，而供应商的期望利润先增加后减少。这说明，当 w 给定时，供应商提高回馈与惩罚强度可以激励零售商增加订购量，从而促使供应链实现协调。

5.2.2. 参数 α

取 $w = 6.5$, $\beta = 5$, $u = 60$, $v = 50$, $\xi = 0.6$, $T = 90$ 。当 α 变化时, 结果如表 3 所示。

Table 3. The impacts of α on the optimal order quantity and the supply chain profit

表 3. α 对最优订购量和供应链利润的影响

α	q_0	q_{r1}	q_{r1}^*	$E\pi_{r1}^*$	$E\pi_{s1}^*$	$E\pi_{r1}^* + E\pi_{s1}^*$	$E\pi_c^*$
0.0000	170.0000	140.0000	140.0000	285.0000	205.0000	490.0000	490.0000
0.0500	169.4737	144.2105	144.2105	290.5263	203.1579	493.6842	493.6842
0.1000	168.8889	148.8889	148.8889	296.6667	201.1111	497.7778	497.7778
0.1500	168.2353	154.1176	154.1176	303.5294	198.8235	502.3529	502.3529
0.2000	167.5000	160.0000	160.0000	311.2500	196.2500	507.5000	507.5000
0.2500	166.6667	166.6667	166.6667	320.0000	193.3333	513.3333	513.3333

由表 3 知, 在给定其他参数下, 随着 α 的逐渐增大, 零售商的最优订购量和期望利润都逐渐增大, 而供应商的期望利润逐渐减少。与 $\alpha = 0$ 的情形相比, 当库存水平影响需求时, 零售商需要订购更多的产品, 才能使得零售商和供应链的利润达到最优。

5.2.3. 参数 ξ

取 $w = 6.5$, $\beta = 5$, $\alpha = 0.2$, $u = 60$, $T = 90$, 则 $q_{r1} = q_c = 160$ 。当 ξ 变化时, 结果如表 4 所示。

Table 4. The impacts of ξ on the optimal order quantity and the supply chain profit

表 4. ξ 对最优订购量和供应链利润的影响

ξ	v	q_0	q_{r1}^*	$E\pi_{r1}^*$	$E\pi_{s1}^*$	$E\pi_{r1}^* + E\pi_{s1}^*$	$E\pi_c^*$
0.2	40	75.0000	75.0000	94.5000	268.5000	363.0000	507.5000
0.4	40	115.0000	115.0000	250.5000	216.5000	467.0000	507.5000
0.6	40	155.0000	155.0000	310.5000	196.5000	507.0000	507.5000
0.8	40	195.0000	160.0000	311.2500	196.2500	507.5000	507.5000
0.2	60	100.0000	100.0000	203.2500	232.2500	435.5000	507.5000
0.4	60	140.0000	140.0000	299.2500	200.2500	499.5000	507.5000
0.6	60	180.0000	160.0000	311.2500	196.2500	507.5000	507.5000
0.8	60	220.0000	160.0000	311.2500	196.2500	507.5000	507.5000
0.2	80	125.0000	125.0000	274.5000	208.5000	483.0000	507.5000
0.4	80	165.0000	160.0000	311.2500	196.2500	507.5000	507.5000
0.6	80	205.0000	160.0000	311.2500	196.2500	507.5000	507.5000
0.8	80	245.0000	160.0000	311.2500	196.2500	507.5000	507.5000

由表 4 知, 在给定其他参数下, 随着 ξ 逐渐减少, q_0 逐渐减少。当 $q_{r1} \leq q_0$ 时, 零售商可以用 q_{r1} 订货; 但当 $q_0 < q_{r1}$ 时, 零售商只能用 q_0 订货, 此时, 随着 ξ 的逐渐减少, 零售商的最优订购量和期望利润都逐渐减少, 而供应商的期望利润逐渐增大, 但供应链的整体利润却逐渐减少。这说明随着零售商库存风险厌恶程度的增大, 零售商可能会减少订购量, 导致供应链的整体利润下降, 供应链不协调。

6. 结语

本文研究一类特殊的供应链协调问题, 其中, 产品的需求是随机的, 并且库存水平对产品的需求有正、负两方面的影响; 零售商是库存风险厌恶的, 其风险值以剩余产品超过预定值的概率表示, 并作为

决策的约束条件。通过分析零售商的订购策略,给出了用回馈和惩罚契约实现供应链协调时契约参数满足的条件。研究发现:在需求受库存水平影响的情况下,利用回馈和惩罚契约可以激励零售商增加订购量,提高供应链的整体利润,但零售商的库存风险厌恶偏好可能使得零售商订货更加谨慎,从而减少其订购量,导致供应链不协调。本文进一步推广了传统的供应链模型,研究结果对供应链管理具有一定的指导作用。

在未来的研究中,可以进一步研究多个风险厌恶偏好参与者的供应链协调问题。此外,其他协调契约也可以是下一步的研究方向,如回购契约、收益共享契约、数量弹性契约和数量折扣契约等。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(No. 71261002)。

参考文献

- [1] Gan, X., Sethi, S.P. and Yan, H. (2010) Channel Coordination with a Risk-Neutral Supplier and a Downside-Risk-Averse Retailer. *Production & Operations Management*, **14**, 80-89. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00011.x>
- [2] Zhang, L., Song, S.J. and Wu, C. (2012) Supply Chain Coordination of Loss-Averse Newsvendor with Contract. *Tsinghua Science & Technology*, **10**, 2-9.
- [3] Shi, K. and Xiao, T. (2008) Coordination of a Supply Chain with a Loss-Averse Retailer under Two Types of Contracts. *International Journal of Information and Decision Sciences*, **1**, 5-25. <https://doi.org/10.1504/IJIDS.2008.020033>
- [4] Hu, B., Meng, C., Xu, D., et al. (2016) Three-Echelon Supply Chain Coordination with a Loss-Averse Retailer and Revenue Sharing Contracts. *International Journal of Production Economics*, **179**, 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.001>
- [5] Hsieh, C.C. and Lu, Y.T. (2010) Manufacturer's Return Policy in A Two-Stage Supply Chain with Two Risk-Averse Retailers and Random Demand. *European Journal of Operational Research*, **207**, 514-523. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.04.026>
- [6] Chiu, C.H., Choi, T.M. and Li, X. (2011) Supply Chain Coordination with Risk Sensitive Retailer under Target Sales Rebates. *Automatica*, **47**, 1617-1625. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2011.04.012>
- [7] Xu, G., Dan, B., Zhang, X., et al. (2014) Coordinating a Dual-Channel Supply Chain with Risk-Averse under a Two-Way Revenue Sharing Contract. *International Journal of Production Economics*, **147**, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.09.012>
- [8] 李建斌, 余牛, 刘志学. 两种基于 CVaR 准则的供应链返利与惩罚契约研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(7): 1666-1677.
- [9] 霍良安, 蒋杰辉, 赵玉苹, 等. 突发事件下回馈与惩罚契约协调的风险厌恶闭环供应链研究[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(1): 31-35.
- [10] 魏光兴, 邓欣, 杨程程. 零售商具有库存风险厌恶偏好的供应链部分回购契约[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2013, 32(5): 1082-1085.
- [11] Devangan, L., et al. (2013) Individually Rational Buyback Contracts with Inventory Level Dependent Demand. *International Journal of Production Economics*, **142**, 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.12.014>
- [12] Wang, K.H., Huang, Y.C. and Tung, C.T. (2016) A Return-Policy Contract with a Stock-Dependent Demand and Inventory Shrinkages. *Asia Pacific Management Review*, **21**, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.02.001>
- [13] Parthasarathi, G., Sarmah, S.P. and Jenamani, M. (2010) Impact of Price Sensitive and Stock Dependent Random Demand on Supply Chain Coordination. *International Journal of Management Science & Engineering Management*, **5**, 72-80. <https://doi.org/10.1080/17509653.2010.10671094>
- [14] Parthasarathi, G., Sarmah, S.P. and Jenamani, M. (2011) Supply Chain Coordination under Retail Competition Using Stock Dependent Price-Setting Newsvendor Framework. *Operational Research*, **11**, 259-279. <https://doi.org/10.1007/s12351-010-0077-z>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-1476，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：orf@hanspub.org