

退货约束下供应商主导调拨的订货与定价模型

贺庆仁^{1,2}, 但斌^{1,2}, 杨家权^{1,2}, 张杨^{1,2}

(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400044;
2. 重庆大学现代物流重庆市重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 针对调拨过程中供应链成员之间可能会由于缺乏信任以及信息不对称等因素导致调拨策略失效问题, 建立了零售商有条件退货情形下供应商主导的调拨模型. 证明了零售商订货纳什均衡的存在性和惟一性, 构建了订货量与批发价格和调拨价格的关系. 在此基础上, 分析了最优调拨价格与退货率的关系, 并在一定条件下得到了最优调拨价格. 然后, 进一步分析了调拨价格和批发价格等与退货率的关系. 结果表明, 零售商有条件退货情形下供应商主导的调拨实施后, 供应商的利润得到提高, 零售商的利润是否提高取决于退货率的大小, 供应链的整体效率得到改善.

关键词: 退货约束; 供应商主导; 调拨; 订货; 定价

中图分类号: F253 文献标识码: A 文章编号: 1000-5781(2017)05-0660-14
doi: 10.13383/j.cnki.jse.2017.05.09

Ordering and pricing model of supplier-dominated transshipment with return constraints

He Qingren^{1,2}, Dan Bin^{1,2}, Yang Jiaquan^{1,2}, Zhang Yang^{1,2}

(1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. Chongqing Key Laboratory of Logistics at Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Retailers often fail to implement transshipment policy due to the lack of trust or asymmetric information among them in the process of transshipment. Considering this, a model of supplier-dominated transshipment with retailer returning conditionally is developed. The unique existence and uniqueness of ordering Nash equilibrium is proved. In addition, the relationship between the ordering quantities and the wholesale price and transshipment price is also analyzed. Based on this analysis, the paper studies the relationship between the transshipment price and return rate, and obtains the optimal transshipment price in some conditions. Finally, the relationship between the transshipment price, the wholesale price, ordering quantities, the profit of retailers, the profit of suppliers and the efficiency of the supply chain and return rate is further analyzed. The results show that the supplier always benefits from transshipment, whether the retailer's profit can be improved or not depends on the return rate, and the efficiency of the supply chain can be improved by implementing supplier-dominated transshipment policy under retailer returning conditionally.

Key words: return constraints; supplier-dominated; transshipment; ordering; pricing

收稿日期: 2014-03-11; 修订日期: 2015-01-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71272086; 71661004; 71572020); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20120191110042); 中国博士后科学基金资助项目(2017M610743).

1 引言

调拨是实现需求与供给相匹配强有力的工具, 被广泛应用于服装(如 Benetton 和 Mango)和汽车(如 Toyota 和 Volvo)等行业^[1-3]. 例如, 国内某出版商针对零售商退货限制较少导致的图书门店盲目订货问题, 要求门店之间实施调拨策略, 使零售商图书退货量减少了 30%^[4]. 然而在调拨的具体实施过程中, 零售商之间可能会由于缺乏相互信任以及信息不对称等因素导致调拨策略失效^[5,6]. 因此, 一些行业的供应商, 甚至第三方调拨公司开始加入到调拨的实施中, 为调拨的实施建立了调拨设施和激励机制等^[7,8].

在供应链环境下研究调拨的文献按照调拨的主导对象可以分为零售商主导, 第三方组织机构主导和供应商主导三类. 现有的文献主要针对零售商主导调拨的情形^[9-13]. 例如, Rudi 等^[9]研究了两个零售商的订货以及调拨定价问题, 证明了调拨价格可以协调两零售商的利润. 钱宇等^[10]根据医药供应链系统的特点假设调拨价格由调出零售商决定, 研究表明, 调拨价格越高, 供应链效率越高. Shao 等^[11]在顾客可以搜寻产品的情形下研究了零售商的最优定价和订货问题. Rosales 等^[12]比较了零售商主导调拨时供应链成员的成本分担问题. 魏永长等^[13]研究了不确定需求环境中两级供应网络中的调拨库存策略, 并给出了相应的求解算法. 事实上, 调拨价格的制定过程是对调拨收益重新分配的一个过程, 会直接影响供应链成员之间的利润分配问题. 然而, 现实中由于零售商之间相互不信任导致调拨失败的案例却经常发生, 因此调拨可能由第三方组织或机构或是供应商主导. 例如, Lee 等^[14]在一个两阶段的模型中考虑了由一个供应商和多个零售商组成供应链系统的调拨与订购问题. 在该文献基础上, Huang 等^[15]研究了调拨之后再行残值处理的情形, 得到了最优的订货量与调拨量. 文献[14,15]通过第三方对调拨价格的控制使得调拨成功实施. 但是, 现实中相对于零售商而言, 供应商通常多处于领导地位, 并且有条件建立完善的调拨信息系统^[16]. 供应商主导调拨主要是通过制定相应的调拨价格和批发价格来控制零售商的订货量, 进而影响零售商之间的调拨, 目前还缺乏这方面的研究. Shao 等^[17]在由一个供应商和两个相同零售商组成的供应链系统中研究了供应商的定价以及调拨价格对利润分配机制的影响机制. 文献[17]研究的情形是在销售季节期末调拨之后剩余产品由零售商做残值处理, 而在很多行业(如图书和服装等)在销售季节期末供应商是允许零售商有条件退货的^[18-21]. 尚未有文献对供应商允许零售商退货情形下的调拨问题进行研究.

鉴于此, 本文拟针对由一个供应商和两个零售商组成的供应链系统, 在供应商允许零售商有条件退货情形下, 考察零售商通过调拨实现合作时两个零售商的订货决策和供应商的定价决策. 另外, 进一步研究退货约束对零售商订货量和供应商调拨价格和批发价格的影响, 同时研究有条件退货对供应商, 零售商利润以及供应链效率的影响机制. 与文献[17]中供应商不允许零售商退货和仅通过调拨价格控制零售商订货差异主要体现为以下两点. 首先, 本文针对现实情况考虑了供应商允许零售商有条件退货的情形, 而退货约束会对供应商调拨价格的制定产生制约作用. 其次, 由于允许零售商有条件退货, 供应商能够通过调拨价格和批发价格两种方式控制零售商的订货, 使零售商订货更理性.

2 问题描述以及模型假设

考虑一个强势供应商和两个独立的零售商组成的供应链系统, 如图 1 所示. 供应商以单位生产成本 c_1 生产一种产品, 并且通过两个独立零售商在两个独立的市场进行销售. 零售商 1 和零售商 2 面对的市场需求为随机需求, 其密度与分布函数分别为 $f(\cdot)$, $F(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$, $G(\cdot)$.

本文考虑如下的事件发生顺序:

1) 供应商在销售季节之前提供一份调拨协议, 该协议需要预先规定零售商之间的调拨补偿机制, 其中就规定了零售商之间的调拨价格 p_t . 例如, 国家新闻出版总署文件《关于新华书店系统调拨货款结算的统一规定》就规定了各级门店之间都是通过预先规定的调拨价格进行调拨. 零售商根据调拨价格决定是否参与到由供应商主导的调拨系统中来, 供应商根据零售商的决策宣布批发价格 w , 该批发价格包含了零售商参

与调拨与不参与调拨时的两种情形.

2) 零售商 1 和零售商 2 根据供应商的调拨价格和批发价格进行订货决策, 其订货量为 Q_i , $i = 1, 2$, 销售季节开始之后不再补货.

3) 零售商订货完成之后, 销售季节开始. 零售商 i 以零售价格 p_i 销售产品. 销售结束后, 如果某个零售商有剩余库存, 而另一个缺货, 则两个零售商以调拨价格 p_t 进行调拨, 调入方需要承担单位产品运输成本 c_t . 如果顾客需求仍未满足, 则缺货零售商产生期望缺货损失(商誉损失), 单位缺货损失为 m_i .

4) 调拨完成之后, 如果零售商 i 调拨之后的剩余产品不超过最大退货量 θQ_i , $\theta \in [0, 1]$ 为行业的最大退货率(以下简称退货率), 则以退货价格 w_b 退回给供应商, 回收的产品对供应商的价值为 s_m . 对于超过最大退货量 θQ_i 的产品, 零售商 i 进行残值处理, s_i 为单位剩余产品的残值, $i = 1, 2$.

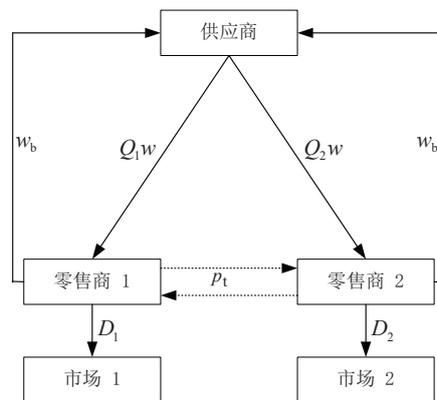


图 1 两层供应链结构

Fig. 1 Two echelon supply chain structure

文中的基本假设如下:

假设 1 假设 $w_b \leq w$ 成立.

这样可以避免零售商通过退货进行无限套利, 否则, 当退货价格高于批发价格时, 零售商可以订购无限多产品通过期末退货获得无穷收益. 假设 $s_m \leq w_b$ 成立, 这样可以避免供应商通过回收进行无限套利, 否则, 当供应商回收产品价值高于退货价格时, 供应商可以制定较低的批发价格使得零售商订购无限多产品, 从而通过零售商退货获得无穷收益. 假设 $s_i \leq w_b$ 成立, 保证零售商优先退货而非进行残值处理, $i = 1, 2$.

假设 2 假设 $w_b \leq p_t \leq p_i + m_i - c_t$ 成立, $i = 1, 2$.

$p_t \geq w_b$ 表明, 当零售商库存剩余时, 零售商调出产品比退货获得更大收益. $p_t \leq p_i + m_i - c_t$ 表明, 当零售商库存不足时, 零售商调入产品可以获得更大收益. 综上所述, 当调拨价格处在一定范围之内, 调拨才能实施. 当 $p_t > p_i + m_i - c_t$ 时, 由于调拨价格过高导致零售商调入产品不能获得收益, 因此调拨不能实施. 同理, 当调拨价格过低时, 调出产品零售商也不会实施调拨.

假设 3 假设 $s_i \leq s_j + c_t$, $m_i \leq m_j + c_t$ 成立, $i = 1, 2$.

由于在调拨时, 两零售商的需求信息已经显示. 因此, 第一个假设要求当两个零售商均有库存剩余时, 调拨不能为调入零售商带来收益. 第二个假设要求当两零售商库存都不足时, 调拨也不能为调出零售商带来收益. 以上两个假设条件保证两零售商仅仅在一方缺货以及另一方库存剩余的条件下才能实施调拨.

3 零售商订货模型

3.1 零售商订货模型的建立

按照事件发生顺序, 供应商在决策调拨价格 p_t 与批发价格 w 之后, 零售商 i 选择最优订货量 Q_i . 零售商 i 在需求实现之后的库存为 $(Q_i - D_i)^+$, 其中 D_i 为零售商 i 的需求, $z^+ = \max\{z, 0\}$, $i = 1, 2$.

零售商 j 在需求实现之后的缺货量为 $(D_j - Q_j)^+$, $j = 3 - i$, 由零售商 i 向零售商 j 调入产品调拨量 $T_{ij} = \min\{(Q_i - D_i)^+, (D_j - Q_j)^+\}$. 零售商 i 的销售量为 $R_i = \min\{Q_i, D_i\} + T_{ji}$, 残值量为 $U_i = (Q_i - D_i - T_{ij} - \theta Q_i)^+$, 缺货量为 $Z_i = (D_i - Q_i - T_{ji})^+$, 退货量为 $H_i = \min\{(Q_i - D_i - T_{ij})^+, \theta Q_i\}$, 由此得零售商 i 的期望利润函数

$$\pi_{r,i}^T = E[p_i R_i + s_i U_i - m_i Z_i - (p_t + c_t) T_{ji} + p_t T_{ij} + w_b H_i - w Q_i], \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

式(1)右端依次为零售商 i 的销售收益, 残值收益, 缺货成本, 调入产品成本, 调出产品收益和订货成本以及退货收益.

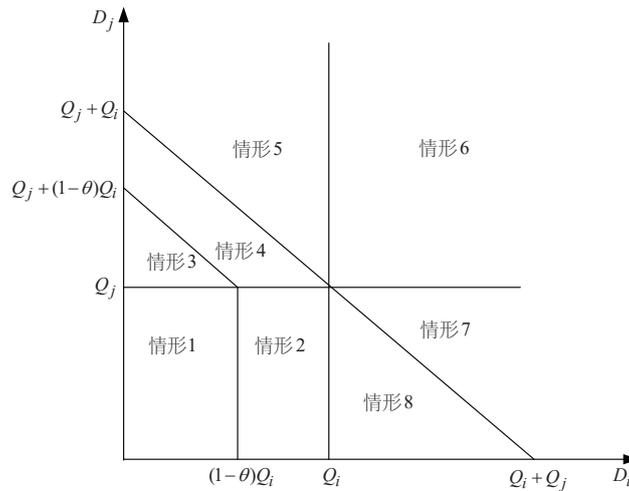


图 2 两零售商订货与需求

Fig. 2 Order and demand of two retailers

按照两个零售商的订货量与需求量可分为八种情形, 具体如图 2 所示. 情形 1, 情形 2 和 情形 6 均不会发生调拨, 其中情形 1 和情形 2 表示两零售商由于订货量均大于需求而不调拨; 情形 6 表示由于订货量均小于需求而不调拨. 情形 3, 情形 4 和情形 5 表示零售商 j 需要由零售商 i 调入产品来满足部分需求, 其中情形 3 和情形 4 表示零售商 j 需求量较小, 零售商 i 在满足零售商 j 的调拨请求之后还剩余部分库存; 情形 5 表示零售商 i 不能完全满足零售商 j 的调拨请求. 情形 7 和情形 8 表示零售商 i 需要由零售商 j 调入产品来满足部分需求, 其中情形 7 表示零售商 i 需求较大, 零售商 j 不能完全满足零售商 i 的调拨请求; 情形 8 表示零售商 i 的调拨请求全部得到满足.

由式(1)得到零售商 i 的期望利润为

$$\pi_{r,i}^T = \pi_{r,i,1}^T + \pi_{r,i,2}^T + \pi_{r,i,3}^T + \pi_{r,i,4}^T + \pi_{r,i,5}^T + \pi_{r,i,6}^T + \pi_{r,i,7}^T + \pi_{r,i,8}^T - w Q_i, \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} \pi_{r,i,1}^T &= \int_0^{(1-\theta)Q_i} \int_0^{Q_j} (p_i x + w_b \theta Q_i + s_i ((1-\theta) Q_i - x)) g(y) f(x) dy dx, \\ \pi_{r,i,2}^T &= \int_{(1-\theta)Q_i}^{Q_i} \int_0^{Q_j} (p_i x + w_b (Q_i - x)) g(y) f(x) dy dx, \\ \pi_{r,i,3}^T &= \int_0^{(1-\theta)Q_i} \int_{Q_j}^{(1-\theta)Q_i + Q_j - x} (p_i x + p_t (y - Q_j) + w_b \theta Q_i + s_i ((1-\theta) Q_i + Q_j - x - y)) g(y) f(x) dy dx, \\ \pi_{r,i,4}^T &= \int_0^{(1-\theta)Q_i} \int_{(1-\theta)Q_i + Q_j - x}^{Q_i + Q_j - x} (p_i x + p_t (y - Q_j) + w_b (Q_i + Q_j - x - y)) g(y) f(x) dy dx + \\ &\quad \int_{(1-\theta)Q_i}^{Q_i} \int_{Q_j}^{Q_i + Q_j - x} (p_i x + p_t (y - Q_j) + w_b (Q_i + Q_j - x - y)) g(y) f(x) dy dx, \\ \pi_{r,i,5}^T &= \int_0^{Q_i} \int_{(1-\theta)Q_i + Q_j - x}^{\infty} (p_i x + p_t (Q_i - x)) g(y) f(x) dy dx, \end{aligned}$$

$$\pi_{r,i,6}^T = \int_{Q_i}^{\infty} \int_{Q_j}^{\infty} (p_i Q_i - m_i (x - Q_i)) g(y) f(x) dy dx,$$

$$\begin{aligned} \pi_{r,i,7}^T = & \int_{Q_i}^{Q_i+Q_j} \int_{Q_i+Q_j-x}^{Q_j} (p_i Q_i + (p_i - p_t - c_t) (Q_j - y) - m_i (x + y - Q_i - Q_j)) g(y) f(x) dy dx + \\ & \int_{Q_i+Q_j}^{\infty} \int_0^{Q_j} (p_i Q_i + (p_i - p_t - c_t) (Q_j - y) - m_i (x + y - Q_i - Q_j)) g(y) f(x) dy dx, \end{aligned}$$

$$\pi_{r,i,8}^T = \int_{Q_i}^{Q_i+Q_j} \int_0^{Q_i+Q_j-x} (p_i Q_i + (p_i - p_t - c_t) (x - Q_i)) g(y) f(x) dy dx.$$

$\pi_{r,i,1}^T, \pi_{r,i,2}^T, \dots, \pi_{r,i,8}^T$ 分别表示图2中情形1~情形8中零售商*i*的利润, 主要包括销售, 调拨, 退货和残值收益以及缺货成本等.

3.2 零售商订货模型的分析

为了研究两个零售商在有条件退货情形下的订货策略, 首先需要考察单个零售商订货行为. 于是, 在式(2)中分别对 Q_i 进行一阶和二阶求导, 得

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i} = & F(Q_i) + \frac{(1-\theta)(w_b - s_i)}{p_i + m_i - w_b} \alpha_i - \frac{p_t - w_b}{p_i + m_i - w_b} \beta_i + \\ & \frac{p_i + m_i - (p_t + c_t)}{p_i + m_i - w_b} \gamma_i - \frac{p_i + m_i - w}{p_i + m_i - w_b}, \quad i = 1, 2, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i^2} = -A_i - B_i, \quad i = 1, 2, \quad (4)$$

其中

$$\alpha_i = \int_0^{(1-\theta)Q_i} \int_0^{(1-\theta)Q_i+Q_j-x} g(y) f(x) dy dx,$$

$$\beta_i = \int_0^{Q_i} \int_{Q_i+Q_j-x}^{\infty} g(y) f(x) dy dx,$$

$$\gamma_i = \int_{Q_i}^{\infty} \int_0^{Q_i+Q_j-x} g(y) f(x) dy dx,$$

$$\begin{aligned} A_i = & (p_i + m_i - w_b) f(Q_i) - (p_i + m_i - (p_t + c_t)) G(Q_j) f(Q_i) - \\ & (p_t - w_b) (1 - G(Q_j)) f(Q_i) + (1-\theta)^2 (w_b - s_i) G(Q_j) f((1-\theta)Q_i), \end{aligned}$$

$$B_i = (p_i + m_i - (p_t + c_t)) \int_{Q_i}^{Q_i+Q_j} g(Q_i + Q_j - x) f(x) dx + (p_t - w_b) \cdot$$

$$\int_0^{Q_i} g(Q_i + Q_j - x) f(x) dx + (1-\theta)^2 (w_b - s_i) \int_0^{(1-\theta)Q_i} g((1-\theta)Q_i + Q_j - x) f(x) dx.$$

由假设条件 $p_t \leq p_i + m_i - c_t$ 和 $p_t \geq w_b \geq s_i$ 得 $A_i > 0, B_i > 0$, 所以存在最优订货量 Q_i^T 使得零售商的利润取得最大. 令式(3)为零得到调拨情形下零售商最优订货量 Q_i^T 满足的条件, 即

$$F(Q_i^T) + \frac{(1-\theta)(w_b - s_i)}{p_i + m_i - w_b} \alpha_i - \frac{p_t - w_b}{p_i + m_i - w_b} \beta_i + \frac{p_i + m_i - (p_t + c_t)}{p_i + m_i - w_b} \gamma_i = \frac{p_i + m_i - w}{p_i + m_i - w_b}. \quad (5)$$

式(5)是对经典报童模型的改进, 左端第二项是退货对零售商订货量的影响; 第三项是调出产品对零售商订货量的影响; 第四项是调入产品对零售商订货量的影响. 由式(5)得到不存在调拨时零售商*i*最优订货量满足的条件, 即

$$F(Q_i^N) + \frac{(1-\theta)(w_b - s_i)}{p_i + m_i - w_b} \alpha_i = \frac{p_i + m_i - w}{p_i + m_i - w_b}, \quad (6)$$

其中 Q_i^N 表示无调拨时零售商*i*的最优订货量, $i = 1, 2$.

由于调拨的存在, 两个零售商之间的订货存在一种博弈关系, 因此需要进一步研究两个零售商之间是否存在订货的纳什均衡, 因此得到下列结论.

命题 1 在供应商允许零售商有条件退货的情形下, 两零售商的订货量存在惟一的纳什均衡.

证明 在式(3)中 Q_j 求导, 得 $\frac{\partial^2 \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i \partial Q_j} = -B_i$, 结合式(4), 得

$$\frac{\partial Q_i}{\partial Q_j} = -\frac{\partial^2 \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i \partial Q_j} \left(\frac{\partial^2 \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i^2} \right)^{-1} = \frac{B_i}{A_i + B_i}. \quad (7)$$

易证 $\frac{\partial^2 \pi_i}{\partial Q_i^2} \leq \frac{\partial^2 \pi_i}{\partial Q_i \partial Q_j} < 0$ 成立, 所以 $-1 \leq \frac{\partial Q_i}{\partial Q_j} < 0$, 由文献[9]可得两个零售商存在惟一的订货纳什均衡. 证毕.

命题 1 表明, 在调拨价格使得零售商均有动力调入和调出产品的条件下, 两个零售商的订货存在惟一纳什均衡, 该均衡结果为两个零售商的最优订货反应函数的唯一交点. 由式(7)可知, 两零售商的反应函数为减函数, 表明由于调拨的存在, 两零售商的订货量存在一种替代关系, 这也是调拨的价值所在. 也就是说, 只要调拨价格满足调拨的条件, 两零售商调入或调出产品均会获得收益. 订货纳什均衡的策略性替代关系使得两零售商之间实现了订货的“共享”, 从而平衡了零售商在销售季节期初的订货量. 这不但缓解了单个零售商需求与销售季节期初订货的矛盾, 而且进一步修正了两零售商销售季节期末库存不均衡的矛盾. 为了进一步研究两零售商订货量之间的关系, 命题 2 和命题 3 给出了零售商订货量与批发价格和调拨价格之间的关系.

命题 2 当满足 $A_j + B_j < B_i$ 时, 零售商 i 的订货量 Q_i^T 随 w 递增; 反之, Q_i^T 随 w 递减, $i = 1, 2$. 两零售商的订货量 $Q_1^T + Q_2^T$ 随 w 递减.

证明 据式(5)由隐函数定理得

$$\frac{\partial Q_i^T}{\partial w} = \frac{B_i - (A_j + B_j)}{(A_i + B_i)(A_j + B_j) - B_i B_j}, \quad \frac{\partial Q_j^T}{\partial w} = \frac{B_j - (A_i + B_i)}{(A_i + B_i)(A_j + B_j) - B_i B_j}, \quad i = 1, j = 3 - i.$$

因此当 $A_j + B_j < B_i$ 时, $\frac{\partial Q_i^T}{\partial w} > 0$, 零售商 i 订货量 Q_i^T 随 w 递增, 反之递减. 同时,

$$\frac{\partial Q_i^T}{\partial w} + \frac{\partial Q_j^T}{\partial w} = -\frac{A_i + A_j}{(A_i + B_i)(A_j + B_j) - B_i B_j} < 0, \quad i = 1, j = 3 - i$$

恒成立, 因此两个零售商的订货量 $Q_i^T + Q_j^T$ 随 w 递减. 证毕.

命题 2 表明, 当不存在调拨时, 由式(6)知零售商 i 的订货量 Q_i^N 随 w 递减; 而当存在调拨且满足上述条件时, 零售商 i 的订货量 Q_i^T 随 w 递增, 这与一般的直觉不一致. 这是因为当存在调拨时, 两个零售商的订货量存在替代关系(由式(7)可知). $A_j + B_j < B_i$ 表明, 当 $\frac{\partial^2 \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i^T \partial Q_j^T} < \frac{\partial^2 \pi_{r,j}^T}{\partial Q_j^T \partial Q_i^T}$ 成立时, 零售商 j 增加一个订货量, 零售商 i 的边际利润的增加值比零售商 j 更小, 也就是说, 零售商 j 由零售商 i 调入产品比自身订购产品成本更低. 即使 w 增加, 当满足零售商 j 由零售商 i 调入产品比自身订购产品成本更低时, 零售商 j 通过零售商 i 调入产品, 所以, 零售商 i 仍旧会增加订货量. 两个零售商总订货量随 w 递减. 批发价格的提高存在两种效应, 一是零售商 i 与零售商 j 的订货量均减少; 同时, 两个零售商的订货量之间存在的替代关系使得零售商 j 的订货量减少, 进而使零售商 i 调出产品的概率增大. 当 $p_t \geq w$ 时, 且调出产品概率较大时, 零售商 i 增加订货量的收益会变大. 当第二种效应大于第一种效应时, 零售商 i 会增加订货量.

命题 3 满足 $(\beta_i + \gamma_i)(A_j + B_j) - (\beta_j + \gamma_j)B_i < 0$ 时, 零售商 i 的订货量 Q_i^T 随 p_t 递减; 反之, 零售商 i 的订货量 Q_i^T 随 p_t 递增. 两个零售商的订货量 $Q_1^T + Q_2^T$ 对 p_t 递增.

证明 式(5)由隐函数定理得

$$\frac{\partial Q_i^T}{\partial p_t} = \frac{(\beta_i + \gamma_i)(A_j + B_j) - (\beta_j + \gamma_j)B_i}{(A_i + B_i)(A_j + B_j) - B_i B_j}, \quad \frac{\partial Q_j^T}{\partial p_t} = \frac{(\beta_j + \gamma_j)(A_i + B_i) - (\beta_i + \gamma_i)B_j}{(A_i + B_i)(A_j + B_j) - B_i B_j}.$$

当 $(\beta_i + \gamma_i)(A_j + B_j) - (\beta_j + \gamma_j)B_i < 0$ 时, $\frac{\partial Q_i^T}{\partial p_t} < 0$, 零售商 i 的订货量 Q_i^T 对 p_t 递减. 另外, 又因为

$$\frac{\partial Q_i^T}{\partial p_t} + \frac{\partial Q_j^T}{\partial p_t} = \frac{(\beta_i + \gamma_i)A_j + (\beta_j + \gamma_j)A_i}{(A_i + B_i)(A_j + B_j) - B_i B_j} > 0, \quad i = 1, 2, j = 3 - i$$

恒成立, 故两个零售商的订货量 $Q_1^T + Q_2^T$ 对 p_t 递增. 证毕.

命题 3 表明, 调拨价格的提高对零售商订货量产生两种效应. 一方面零售商调出产品获得更大收益, 零售商调入产品的成本升高, 二者都导致零售商增加订货量. 另一方面, 零售商 j 增加订货量导致零售商 i 的调出产品的概率减少, 会间接损害零售商 i 的调拨产生的收益, 零售商 i 反而可能会减少订货量来减少该损失. 所以当满足条件 $\frac{\partial^2 \pi_{r,j}^T}{\partial (Q_j^T)^2} \left(\frac{\partial^2 \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i^T \partial Q_j^T} \right)^{-1} > \frac{\beta_j + \gamma_j}{\beta_i + \gamma_i}$ 时, 零售商 i 的订货量随调拨价格递减, 这也与

一般的直觉不一致. 这是因为, 不等式 $\frac{\partial^2 \pi_{r,j}^T}{\partial (Q_j^T)^2} \left(\frac{\partial^2 \pi_{r,i}^T}{\partial Q_i^T \partial Q_j^T} \right)^{-1} > \frac{\beta_j + \gamma_j}{\beta_i + \gamma_i}$ 左边表示零售商 j 增加一个订货量时, 导致零售商 j 与零售商 i 边际利润增加的比值, 右边则表示增加一个订货量导致的零售商 j 与零售商 i 调入与调出产品概率之和的比值. 即当零售商 j 利润增加相对较大, 但其调入或调出概率相对较小时, 零售商 i 会在调拨价格升高时减少订货量. 对于两零售商总的订货量, 前一种效应要大于后一种效应, 因此两零售商订货量会增加.

从命题 3 可以得到, 对于零售商而言, 单个零售商的订货量对调拨价格的关系不明确, 对供应商而言, 可以通过对调拨价格的决策来调节两个零售商的订货量, 调拨价格充当了供应商调节零售商订货量的工具. 供应商尽管不能通过调拨价格来实现对单个零售商订货量的控制, 但是可以实现对两个零售商总订货量的控制. 这样, 就可以简化供应商对零售商订货调节的实施. 以下进一步研究供应商如何通过决策批发价格和调拨价格最大化自身利润.

4 供应商定价模型

供应商的期望利润由两部分组成, 一部分为批发产品的利润, 另一部分为回购产品的损失, 因此期望利润函数最大化模型为

$$\text{Max}_{w, p_t} \pi_m^T = \text{E} \left[\sum_{i=1}^2 (w - c_1) Q_r^T - (w_b - s_m) H_i \right], \quad i = 1, 2. \quad (8)$$

按照问题描述部分, 供应商首先决策调拨价格, 然后再决策批发价格. 按照逆向求解的方法, 首先对批发价格进行决策. 由于零售商的最优订货量已经通过优化得到, 并将式(5)中的最优订货量 Q_i^T 代入式(8), 并且对批发价格进行求导得

$$\frac{d\pi_m^T}{dw} = (Q_r^T(w) + Q_r^T(w)) + (w - c_1) \left(\frac{dQ_i^T(w)}{dw} + \frac{dQ_j^T(w)}{dw} \right) - (w_b - s_m) \left(\frac{dH_i(w)}{dw} + \frac{dH_j(w)}{dw} \right), \quad i = 1, 2, j = 3 - i. \quad (9)$$

由于供应商利润为 w 的连续函数, 且当供应商选择 $w = c_1$ 与 $w = p_i + m_i$ 时, 其利润均为零, 因此存在内点解 w^T 使得供应商利润最大化. 当零售商不参与调拨时, 式(6)中的最优订货量 Q_i^N 代入式(8), 由文献[22]的方法得到存在最优的批发价格 w^N .

以下供应商将决策调拨价格, 由于为同一决策主体, 需要结合批发价格的决策, 得

$$\text{Max}_{p_t} \pi_m^T = E \left[\sum_{i=1}^2 ((w^T - c_1) Q_i^T (w^T) - (w_b - s_m) H_i (w^T)) \right], \quad i = 1, 2. \quad (10)$$

式(10)中的 π_m^T 关于 p_t 求导, 得

$$\frac{d\pi_m^T}{dp_t} = \frac{\partial \pi_m^T}{\partial p_t} + \frac{\partial \pi_m^T}{\partial w} \frac{dw}{dp_t} + \frac{\partial \pi_m^T}{\partial Q_i^T} \frac{dQ_i^T}{dp_t} + \frac{\partial \pi_m^T}{\partial Q_j^T} \frac{dQ_j^T}{dp_t}, \quad i = 1, 2, j = 3 - i, \quad (11)$$

式(11)中第一项为零, 由式(9)得出第二项也为零, 于是得

$$\begin{aligned} \frac{d\pi_m^T}{dp_t} = & - \frac{(w_b - s_m) (\beta_i + \gamma_i - (\beta_j + \gamma_j))}{A_i + A_j} \left(\frac{\partial H_i}{\partial Q_i^T} + \frac{\partial H_j}{\partial Q_i^T} - \frac{\partial H_i}{\partial Q_j^T} - \frac{\partial H_j}{\partial Q_j^T} \right) + \\ & \frac{((\beta_i + \gamma_i) A_j + (\beta_j + \gamma_j) A_i) (Q_i^T + Q_j^T)}{A_i + A_j}, \quad i = 1, 2, j = 3 - i, \end{aligned} \quad (12)$$

其中

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_i}{\partial Q_i^T} + \frac{\partial H_j}{\partial Q_i^T} - \frac{\partial H_i}{\partial Q_j^T} - \frac{\partial H_j}{\partial Q_j^T} = & \\ (1 - \theta) \left(\int_{(1-\theta)Q_i^T}^{Q_i^T} \int_0^{(1-\theta)Q_j^T} g(y)f(x)dydx - \int_{(1-\theta)Q_j^T}^{Q_j^T} \int_0^{(1-\theta)Q_i^T} f(x)g(y)dx dy \right) + & \\ \theta \left(\int_0^{(1-\theta)Q_i^T} \int_{Q_j^T}^{(1-\theta)Q_i^T + Q_j^T - x} g(y)f(x)dydx - \int_0^{(1-\theta)Q_j^T} \right). & \end{aligned} \quad (13)$$

式(12)右端第一项表示, 调拨价格变化导致了订货量发生变化, 订货量的变化进一步对供应商退货成本产生影响. 具体为当调拨价格变动时, 通过两种途径来影响供应商的退货成本, 一是通过影响调拨发生的概率, 二是通过影响订货量进一步影响退货量. 式(12)右端第二项表示, 由于调拨导致供应商批发产品收益的变化. 由式(10)和式(13)容易看出 π_m^T 为 p_t 的连续函数. 因此, π_m^T 在紧区间 $[w_b, p_i + m_i - c_t]$ 一定存在着 p_t^T 使其取到最优值. 因此, 当供应商对调拨进行主导时, 供应商总可以针对不同的退货率来制定最优的调拨价格使得自身利润最大化. 不同的退货率影响着零售商的订货意愿, 从式(12)中可以得到, 当两个零售商的差异较大时, 则可能存在内点解使得供应商的利润最大. 于是, 供应商通过降低调拨价格的方式诱导零售商减少订货, 有效地避免了零售商订货过大问题.

命题 4 当 $\theta = 0$ 或 $\theta = 1$ 时, 调拨价格 $p_t^T = p_i + m_i - c_t$.

证明 当 $\theta = 0$ 时, 式(13)为零. 式(12)第二项中 $Q_i^T + Q_j^T > 0$ 成立. 当调拨价格较高时, β_i, β_j 较高, 而 γ_i, γ_j 较低时, 只要 $p_t \leq p_i + m_i - c_t$ 成立, 即可保证

$$\frac{(\beta_i + \gamma_i)A_j + (\beta_j + \gamma_j)A_i}{(A_i + A_j)} > 0$$

成立. 当调拨价格较低时, γ_i, γ_j 提高, 而 β_i, β_j 降低, 只要 $p_t \geq w_b$ 成立, 可保证

$$\frac{(\beta_i + \gamma_i)A_j + (\beta_j + \gamma_j)A_i}{(A_i + A_j)} > 0$$

成立. 因此在调拨成立的条件下, 第二项恒大于零. 这里反映了一个重要事实, 即在供应商决策调拨价格的情形下, 由调拨所带来的批发产品带来的收益恒为正. 因此, 当 $\theta = 0$ 时, $\frac{d\pi_m^T}{dp_t} > 0$ 成立. 同理可得,

当 $\theta = 1$ 时, $\frac{d\pi_m^T}{dp_t} > 0$ 亦成立.

证毕.

当 $\theta = 0$ 时, 由于不能退货, 订货量对退货量不再产生影响, 从而导致调拨价格的变化不再对退货产生影响. 由式(8)可得, 供应商就通过两种方式来获取利润. 一方面通过增大零售商订货量, 另一方面通过提高批发价格. 零售商不能退货, 于是供应商诱导零售商增加订货量时无需考虑零售商的退货影响. 在批发价格一定的情形下, 只需诱导零售商增加订货量即可. 在零售商订货量一定的情形下, 调拨价格越高, 零售商增

加订货量的意愿就越强烈,从而导致零售商对批发价格的敏感性降低,使得供应商可以在不减少订货量的情形下提高批发价格,从而提高供应商利润。

当 $\theta = 1$ 时, 订货量对两个零售商退货的影响为零, 供应商只需提高订货量与批发价格即可。当 $\theta = 1$ 时, 零售商会订购过多产品。一方面, 零售商的订货量较大, 由于退货价格小于批发价格, 零售商可以通过调拨避免缺货风险, 这样会降低订货量意愿。另一方面, 由于零售商订货量意愿降低, 导致零售商对批发价格的敏感性提高, 供应商制定批发价格的能力减弱。一方面, 在批发价格一定的情形下, 提高调拨价格, 抑制零售商之间的调拨, 使得原本通过调拨实现的产品需求通过增加订货量来实现。另一方面, 在订货量一定的情形下, 提高调拨价格降低了零售商对批发价格的敏感性, 供应商也可以提高批发价格。

命题 4 中, 当 $\theta = 0$ 或 $\theta = 1$ 时, 式(13)为零, 这仅仅是订货对退货量的影响为零, 可以进一步研究调拨调拨发生概率对退货成本的影响, 得到命题 5。

命题 5 当两个零售商完全相同时, 最优的调拨价格与退货率无关, 最优调拨价格 $p_t^T = p_i + m_i - c_t$ 。

证明 当两个零售商完全相同时, 零售商的订货量亦相同, $\beta_i + \gamma_i = \beta_j + \gamma_j$, 式(12)第一项为零, 第二项恒大于零, 由式(12)可以得到 $\frac{d\pi_m^T}{dp_t} > 0$, 所以当 $p_t^T = p_i + m_i - c_t$ 时, 供应商利润达到最大。证毕。

命题 5 表明, 当两个零售商完全相同时, 任何一个零售商充当调入方或是调出方的概率相同。这导致了两个零售商相同的订货量, 进一步导致了调拨价格变化对两零售商调拨概率影响相互抵消, 不再对供应商的退货发生影响, 最优调拨价格与退货率无关。调拨价格的变化对供应商利润的影响仅仅通过两个零售商的订货量来实现。订货量在不受退货率影响的条件下, 供应商仅仅诱导零售商增加订货量即可增加自身利润。从调入方的角度来看, 调拨价格越高, 调入产品的成本越大, 因此调入方会增加订货量。从调出方的角度来看, 调拨价格越高, 调出产品的收益越大, 因此调出方也会增加订货量。所以, 供应商制定最高的调拨价格使得零售商的订货量也达到最大。

5 数值分析

为了得到更直观的结果, 在数值试验中进一步考察退货率 θ 对供应商调拨价格和批发价格, 零售商订货量, 零售商利润, 供应商利润和供应链效率的影响。参照文献[9]中案例的部分数值, 假设两个零售商的需求 $D_i \sim U[0, 200]$, 其它参数 $m_1 = m_2 = 0$, $s_1 = 13$, $s_2 = 10$, $c_1 = 15$, $s_m = 10$, $w_b = 17$, $c_t = 2$ 。结合上述参数, 根据命题 1~ 命题 4 与式(6) 中的理论分析进行精确求解, 并运用 MATLAB 7.0 编写程序绘出图 3~图 8, 分析退货率 θ 对调拨价格, 批发价格, 订货量, 零售商利润, 供应商利润和供应链效率的影响。

图 3 表达了退货率 θ 对供应商调拨价格的影响。随着退货率 θ 的增加, 供应商对调拨价格的控制能力先

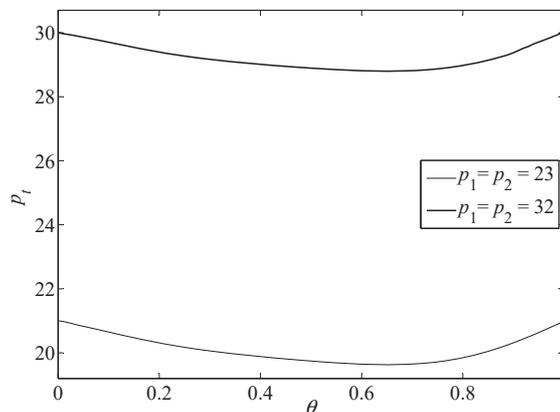


图 3 p_t 与 θ 的关系

Fig. 3 The relationship between p_t and θ

减弱然后增强. 当 θ 较小时, 不容易退货, 为避免残值风险, 零售商订货较为谨慎. 因此, 供应商为了诱导零售商订货, 会制定较高的调拨价格. 随着 θ 增大, 退货变得较为容易, 零售商订货意愿变强. 为了降低残值风险, 于是供应商制定较低的调拨价格抑制零售商的订货. 当 θ 再增大时, 一方面, 零售商的订货量较大, 零售商可以容易地通过调拨避免缺货风险, 这样会降低零售商订货量意愿. 另一方面, 由于零售商订货量意愿降低, 导致零售商对批发价格的敏感性提高, 供应商制定批发价格的能力减弱, 供应商采用提高调拨价格的方式来提高零售商的订货量. 尤其值得注意的是, 当 $\theta = 0$ 和 $\theta = 1$ 时, 调拨价格 $p_t^T = p_i + m_i - c_t$, 这与命题 4 的结论是一致地. 图 3 还表明, 较高销售价格时的调拨价格远远高于较低销售价格时的调拨价格. 其原因在于, 当销售价格较高时, 由假设条件可知, 调拨价格的上限也较高, 因此供应商制定的调拨价格也较高, 其较低的销售价格限制了供应商制定较高调拨价格的能力. 进一步可以得到, 退货率对调拨价格的影响远远小于销售价格对调拨价格的影响. 销售价格通过提高调拨价格的上限直接影响调拨价格, 而退货率通过影响两零售商订货等因素间接影响调拨价格.

图 4 刻画了无调拨和零售商采用调拨时退货率 θ 对供应商制定批发价格的影响, 即无论是否存在零售商之间的调拨, 批发价格均随 θ 递增, 供应商制定批发价格的能力减弱. 当 θ 较小时, 零售商增加订货量的意愿较为强烈, 对批发价格的敏感性降低较多, 供应商可以制定相对于无调拨时相对较高的批发价格. 当 θ 较大时, 一方面, 零售商的订货量虽然较大, 但是可以通过调拨获得产品, 反而可能会降低订货量, 导致零售商对批发价格的敏感性提高, 供应商制定批发价格的能力减弱. 另一方面, 零售商降低订货量, 供应商为了激励零售商增加订货, 因此也会相对降低批发价格. 这两个方面共同降低了存在调拨时的相对于无调拨时的批发价格, 甚至低于无调拨时的批发价格. 图 4 还表明, 当零售价格较低时, 由于调拨的存在, 使得供应商制定批发价格的能力较弱. 这是因为, 较低的零售价格限制了供应商制定较高调拨价格的能力, 从而进一步限制了制定较高批发价格的能力.

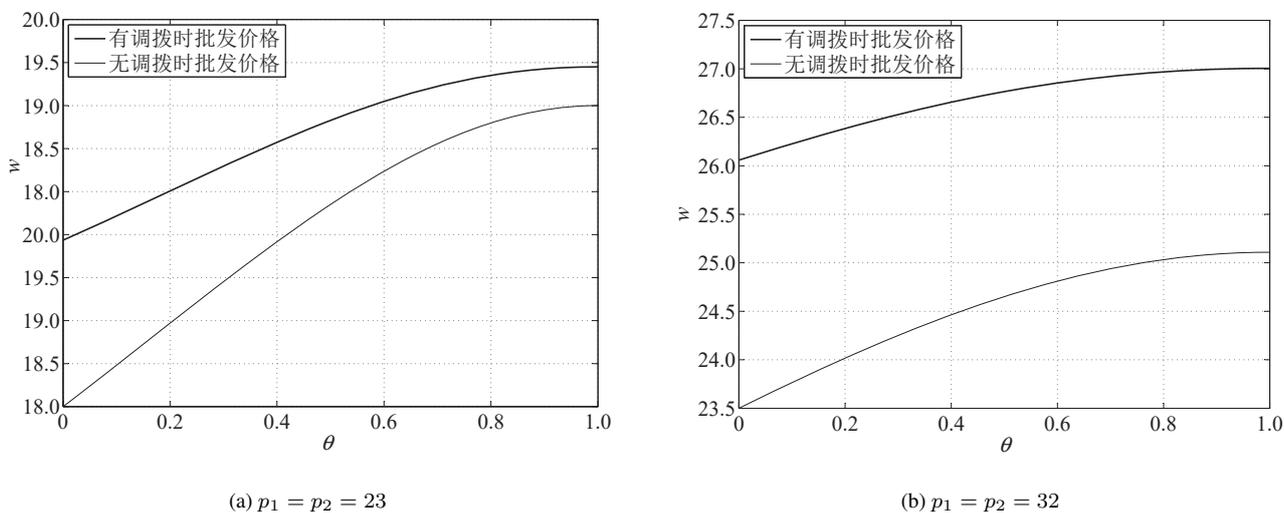


图 4 w 与 θ 的关系

Fig. 4 The relationship between w and θ

图 5 展示了零售商最优订货量 Q_1^* 与退货率 θ 的关系, 即当 θ 较小时, 无调拨时的订货量小于存在调拨时的订货量; 随着 θ 增加, 无调拨时的订货量可能会大于存在调拨时的订货量. 存在调拨时的订货量的大小取决于调拨价格与批发价格两种因素的影响. 当 θ 较小时, 为了诱导零售商增加订货, 供应商制定较高的调拨价格, 因此存在调拨时的订货量相对较高. 随着退货率 θ 的增加, 零售商增加订货的意愿增强, 供应商需要抑制零售商的订货意愿. 为此, 一方面通过降低调拨价格降低零售商订货意愿, 另一方面通过提高批发价格降低零售商订货意愿. 尽管订货量都在增加, 但是存在调拨时订货量相对于无调拨时变低. 随着退货率 θ 的继续增加, 零售商的订货量已经相对较大, 其零售商订货意愿变低. 为此, 供应商一方面通过提高调拨

价格提高零售商订货量,另一方面通过提高批发价格降低零售商订货量,此时批发价格因素占据了主导地位. 尽管订货量都在增加,但是存在调拨时的相对订货量更低,甚至低于无调拨时的订货量. 从上述分析中可以得到,调拨价格成为了供应商调节零售商订货量的工具. 当系统的其它因素导致零售商的订货意愿较强时,供应商采用较高的调拨价格诱导零售商增加订货量. 当零售商订货意愿较弱时,供应商采用较低的调拨价格引导零售商降低订货量.

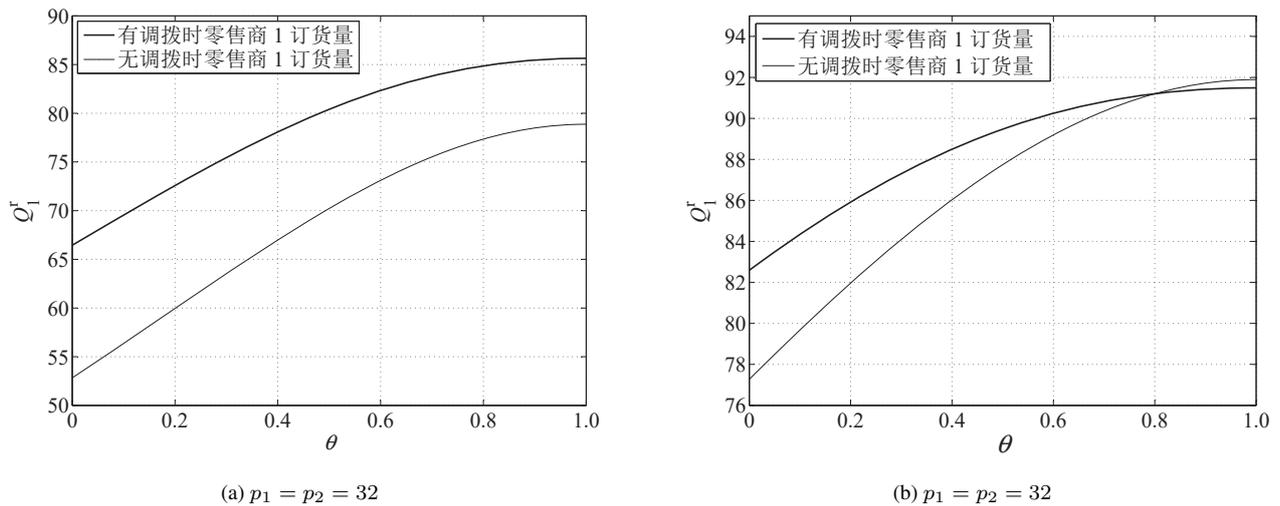
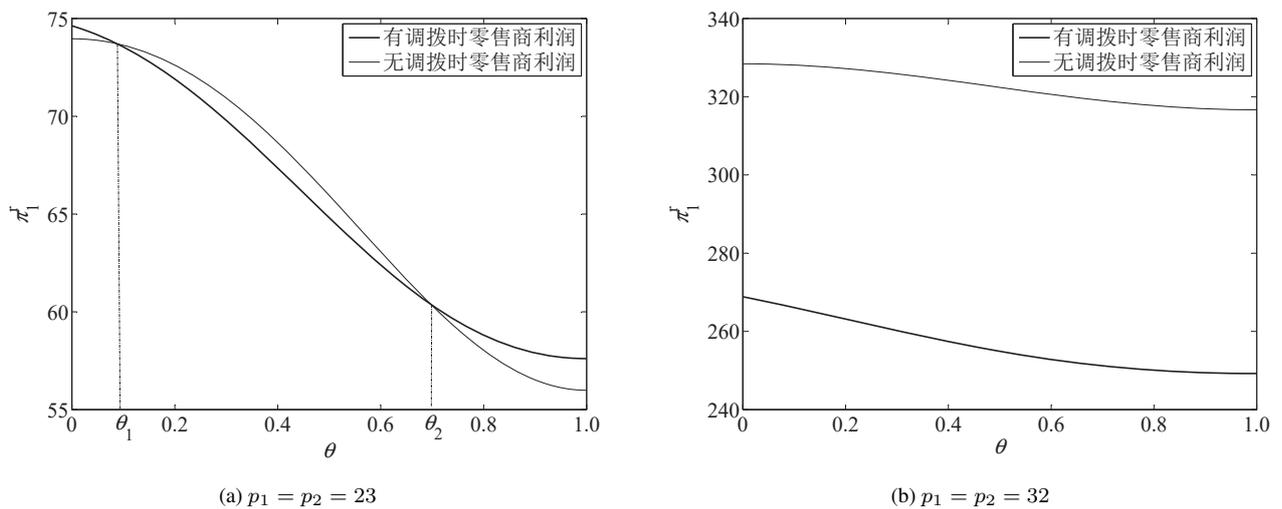
图5 Q_1^r 与 θ 关系Fig. 5 The relationship between Q_1^r and θ

图6刻画了无调拨和采用调拨时零售商利润 π_1^r 与退货率 θ 的关系,其表明了零售商由于调拨的存在可能受益也可能受损.

图6 π_1^r 与 θ 关系Fig. 6 The relationship between π_1^r and θ

在图6(a)中,当 $\theta \leq \theta_1$ 和 $\theta > \theta_2$ 时,零售商可以从调拨中获益,反之则受损. 当零售价格较低并且 $\theta \leq \theta_1$ 时,零售商订货意愿较弱. 供应商为了激励零售商增加订货量,制定较低批发价格,将一部分利润让渡给零售商,使得零售商的利润大于无调拨时的利润. 当 $\theta_1 < \theta \leq \theta_2$ 时,零售商订货量变大,供应商逐渐降低对零售商的订货激励,因此逐渐提高批发价格,供应商通过调拨攫取零售商利润的能力变强,使得零售商无调拨时的利润大于有调拨时的利润;当 $\theta > \theta_2$ 时,两个零售商都容易退货,订货意愿较为强烈,而两个

零售商都能预期到对方行为, 于是, 都拟调入产品来应对缺货风险, 从而减少订货量来降低自身残值风险. 供应商为了激励零售商增加订货量, 制定相对较低的批发价格, 甚至低于无调拨时的价格, 这样反而相对提高了零售商的利润. 与供应商偏爱较高的零售价格不同, 零售商偏爱较低的零售价格, 这也与直觉不一致, 原因在于较低的零售价格限制了供应商调拨价格的定价能力, 进一步限制了批发价格的定价能力, 从而限制了供应商对零售商利润的攫取. 因此当零售价格较低, 并且退货率较小($\theta \leq \theta_1$)或较大($\theta > \theta_2$)时, 零售商可以从调拨中获益. 所以, 当退货率较小($\theta \leq \theta_1$) 或较大($\theta > \theta_2$)时, 零售商应积极地参与到供应商主导的调拨实施中; 反之, 则应当避免参与调拨.

图 7 表明了供应商利润 π^m 与退货率 θ 的关系, 其表明供应商总可以从调拨中受益. 当 θ 较大时, 供应商攫取零售商利润的能力减弱, 供应商通过调拨获取的收益大于零. 这是一个有趣的结果, 随着 θ 增大, 供应商对零售商的退货约束较弱时, 反而获得更大利润, 其原因在于供应商对调拨价格的控制, 通过调拨价格和批发价格两种工具来增加自身的利润.

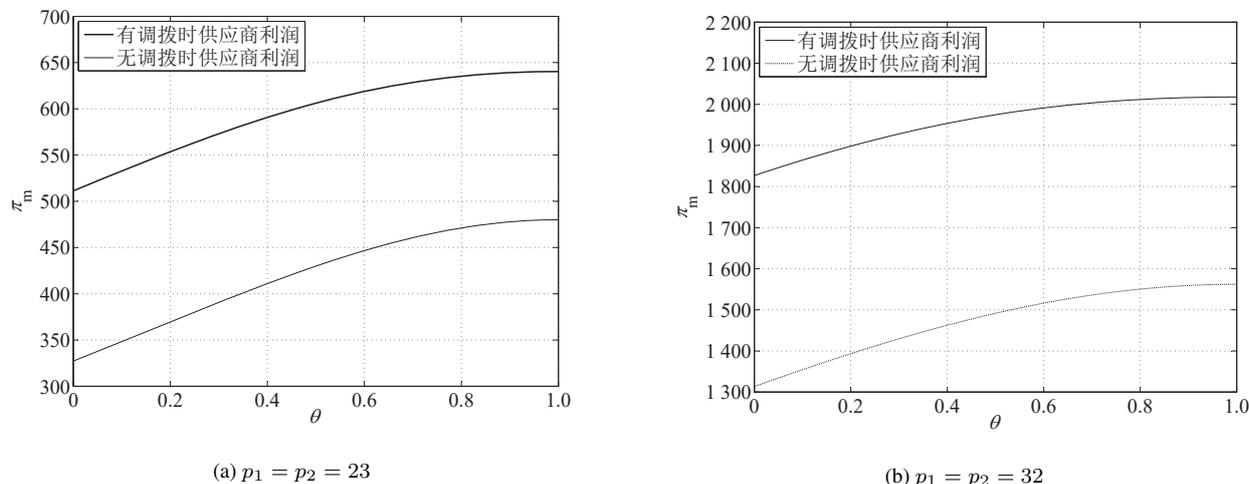


图 7 π^m 与 θ 关系

Fig. 7 The relationship between π^m and θ

供应链效率 ρ (分散情形下供应链的利润与集中情形下供应链的利润之比)与退货率 θ 的关系见图 8.

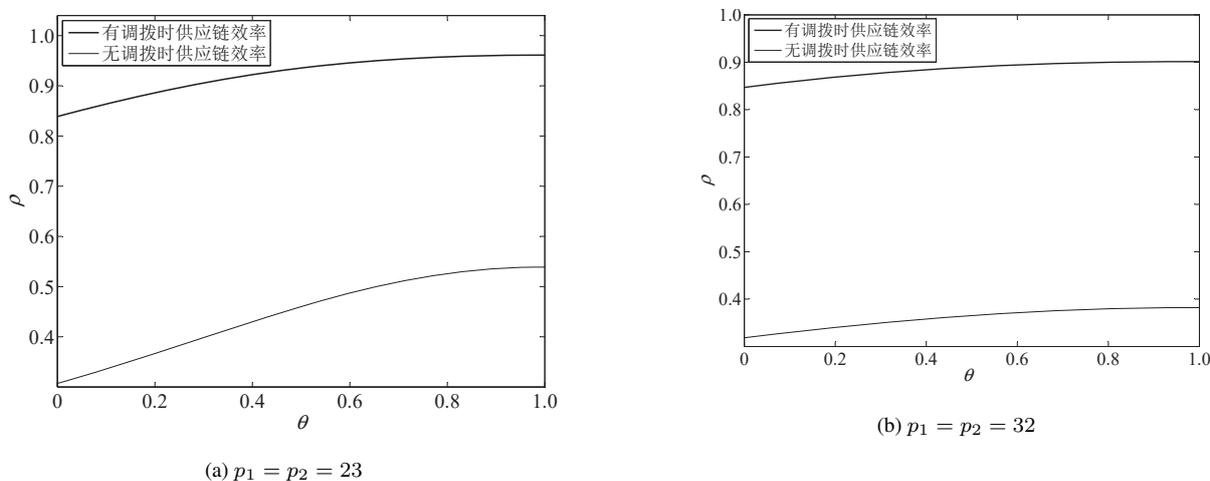


图 8 供应链效率 ρ 与 θ 的关系

Fig. 8 The relationship between efficiency of supply chain and θ

表明退货率越大, 供应链效率越高. 无调拨时, 当 θ 较小时, 零售商不能退货, 订货量较小, 供应链期望缺货较大, 导致供应链效率较低. 随着 θ 增加, 供应链期望缺货减少, 并且供应商通过调拨价格和批发价格对订货量的调节, 使得退货导致的效率增加小于缺货的减少, 因此供应链效率提高. 存在调拨时, 零售商的调拨使得期望缺货损失和残值损失降低, 导致了供应链的效率的提高, 因此有调拨时供应链的效率要高于无调拨时供应链的效率.

6 结束语

在零售商存在退货率约束的条件下, 针对由一个强势供应商和两个独立零售商组成的供应链系统, 研究了零售商的订货与供应商的定价问题. 在此基础上, 研究了退货率对供应商和零售商收益以及供应链效率的影响. 结果表明, 退货约束使得供应商的调拨价格和批发价格决策受到了限制, 供应商通过调拨攫取零售商利润的能力减弱. 调拨导致零售商之间的订货量存在一种替代关系, 使得零售商不再盲目订货, 退货率越大, 该效果越明显. 除此之外, 具有退货约束下供应商主导调拨的实施, 使得供应链的整体效率得到改善, 强势供应商的利润得到提高, 零售商的利润是否提高取决于退货率的大小. 只有当退货率较大或较小时, 零售商才可以获得比无调拨时更高的利润, 因此应当参与供应商主导实施的调拨.

参考文献:

- [1] Rong Y, Snyder L V, Sun Y. Inventory sharing under decentralized preventive transshipments. *Naval Research Logistics*, 2010, 57(6): 540–562.
- [2] Narus J A, Anderson J C. Rethinking distribution: Adaptive channels. *Harvard Business Review*, 1996, 74(4): 112–120.
- [3] 李晓宏, 孙林岩, 李刚. 需求信息更新条件下零售商间调货策略研究. *系统工程学报*, 2009, 23(6): 689–695.
Li X H, Sun L Y, Li G. Research on horizontal transshipment policy with demand information updating. *Journal of Systems Engineering*, 2009, 23(6): 689–695. (in Chinese)
- [4] 韩耀东. 新华书店省店配送中心图书退货问题研究. 北京: 北京交通大学, 2007, 12–15.
Han Y D. Research on the Books-return Problem of Provincial Xinhua Bbookstore Distribution Center. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007, 12–15. (in Chinese)
- [5] Gruen T, Corsten D. Stock-outs cause walkouts. *Harvard Business Review*, 2004, 82(5): 26–27.
- [6] Zhao H, Deshpande V, Ryan J K. Inventory sharing and rationing in decentralized dealer networks. *Management Science*, 2005, 51(4): 531–547.
- [7] Liang C, Sethi S P, Shi R, et al. Inventory sharing with transshipment: Impacts of demand distribution shapes and setup costs. *Production and Operations Management*, 2014, 45(1): 57–70.
- [8] Hanany E, Tzur M, Levran A. The transshipment fund mechanism: Coordinating the decentralized multilocation transshipment problem. *Naval Research Logistics*, 2010, 57(4): 342–353.
- [9] Rudi N, Kapur S, Pyke D F. A two-location inventory model with transshipment and local decision making. *Management Science*, 2001, 47(12): 1668–1680.
- [10] 钱宇, 陈剑. 供应链中考虑下游转运的订货和定价决策研究. *中国管理科学*, 2008, 16(1): 53–59.
Qian Y, Chen J. Research on ordering and pricing decisions in a supply chain with downstream transshipment. *Chinese Journal of Management Science*, 2008, 16(1): 53–59. (in Chinese)
- [11] Shao J, Krishnan H, McCormick S T. Distributing a product line in a decentralized supply chain. *Production and Operations Management*, 2013, 22 (1): 151–163.
- [12] Rosales C R, Rao U S, Rogers D F. Retailer transshipment versus central depot allocation for supply network design. *Decision Sciences*, 2013, 44(2): 329–356.
- [13] 魏永长, 王红卫, 祁超, 等. 横向调货策略下供应网络中牛鞭效应的鲁棒控制. *系统工程学报*, 2013, 28(5): 633–640.
Wei Y C, Wang H W, Qi C, et al. Robust control for the bullwhip effect of a supply network under the lateral transshipment policy. *Journal of Systems Engineering*, 2013, 28(5): 633–640. (in Chinese)
- [14] Lee H, Whang S. The impact of the secondary market on the supply chain. *Management Science*, 2002, 48(6): 719–731.

- [15] Huang X, Gu J W, Ching W K, et al. Impact of secondary market on consumer return policies and supply chain coordination. *Omega: The International Journal of Management Science*, 2014, 45(1): 57–70.
- [16] Kranenburg A, Van Houtum G. A new partial pooling structure for spare parts networks. *European Journal of Operational Research*, 2009, 199(3): 908–921.
- [17] Shao J, Krishnan H, McCormick S T. Incentives for transshipment in a supply chain with decentralized retailers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2011, 13 (3): 361–372.
- [18] Chang S Y, Yeh T Y. Optimal order quantity and product modularity for a two-echelon returnable supply chain. *International Journal of Production Research*, 2013, 51(17): 5210–5220.
- [19] Gaur V, Kesavan S, Raman A. Retail inventory: Managing the canary in the coal mine. *California Management Review*, 2014, 56(2): 55–77.
- [20] 陈敬贤, 王国华, 梁 樑. 顾客退货影响的多零售商库存博弈. *系统工程学报*, 2013, 28 (1): 101–108.
Chen J X, Wang G H, Liang L. Inventory game among multi retailers under customer returns' impact . *Journal of Systems Engineering*, 2013, 28 (1): 101–108. (in Chinese)
- [21] 陈敬贤. 顾客退货影响的零售商定价和库存博弈模型. *系统工程学报*, 2014, 29(1): 96–103.
Chen J X. A pricing and inventory game model of competitive retailers with customer returns. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29(1): 96–103. (in Chinese)
- [22] Lariviere M A, Porteus E L. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2001, 3(4): 293–305.

作者简介:

贺庆仁(1979—), 男, 山东青州人, 博士生, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: qingrenhe@cqu.edu.cn;

但 斌(1966—), 男, 重庆人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: danbin@cqu.edu.cn;

杨家权(1988—), 男, 重庆人, 博士生, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: yangjiaquan@cqu.edu.cn;

张 杨(1986—), 男, 河北唐山山人, 博士生, 研究方向: 供应链运作与优化, Email: zhangyang86@cqu.edu.cn.