

基于渠道竞争与品牌竞争的供应链 定价策略和协调研究

霍良安, 蒋杰辉, 王绍凡, 陈彬彬

(上海理工大学 管理学院 上海 200093)

摘要: 构建了由两个制造商同时拥有线上和线下销售渠道组成的竞争供应链系统; 分析了供应链系统中渠道竞争与品牌竞争共存时, 两个制造商的 Nash 博弈决策和合作博弈决策的定价问题, 探讨了不同的渠道竞争对价格决策和系统利润的影响, 并通过数值算例验证了模型的有效性。研究发现: 渠道的利润与渠道竞争与品牌竞争程度成反比, 两个制造商通过联合调价的方式能实现双赢。

关键词: 线上和线下; 渠道竞争; 定价策略; 合作博弈

中图分类号: F 274 **文献标志码:** A

Pricing strategy and coordination under brand competition and channel competition

HUO Liang'an, JIANG Jiehui, WANG Shaofan, CHEN Binbin

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The pricing strategy of a constructed supply chain composed of two manufacturers with online and offline channels under both channel competition and brand competition at the same time was studied. Based on different market power structures, the manufacturers Nash game model and coordination game model were established, and the effects of competition sensitivities on the price of each channel and the profit of manufacturers were analyzed. The validity of these models was verified through a numerical example. The results indicate that channel profit is inversely proportional to channel competition and the degree of brand competition, and an appropriate combination of markup and markdown prices can achieve both supply chain coordination and a win-win outcome for each channel.

Keywords: online and offline; channel competition; pricing strategy; cooperative game

在传统的零售渠道中, 制造商大部分通过强势的大型零售集团进行销售, 大型零售集团在整

条供应链的博弈中往往享有更大的权力。随着网络经济的兴起, 越来越多的制造商可以通过直销

收稿日期: 2018-06-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71774111, 71401107, 71303157); 上海市政府发展研究中心-上海理工大学研究基地课题(2019-YJ-L04-13)

第一作者: 霍良安(1981-), 男, 教授。研究方向: 供应链管理、应急管理。E-mail: liang-anhuo@usst.edu.cn

模式来重塑自身的零售渠道，进而在供应链中获得更大的利润，如联想公司、苹果公司和戴尔公司等，开通了网上直销渠道，形成了网上直销渠道和传统零售渠道并存的双渠道供应链，双渠道供应链中渠道定价和协调策略研究也因此倍受关注。

已有一些学者对渠道竞争环境下制造商与零售商之间的渠道价格冲突及相应的定价策略问题进行了研究。文献[1]构建了传统零售商销售和制造商直接销售之间的竞争模型，研究了信息扩散对供应链系统的影响。Yao 等^[2]分析了传统零售渠道和网上销售渠道之间的消费者购买选择意向，在一定条件下，客户需求在这两种渠道上是稳定的。Chiang 等^[3]研究了传统制造商和渠道合作伙伴之间的价格竞争关系，制造商直接增加直售渠道能够减少利润损失的风险。文献[4-6]进一步证实了类似的结论。Huang 等^[7]研究了制造商同时开辟直销渠道和零售渠道与制造商只有网络直销渠道两种模式对比的最优定价策略。熊中楷等^[8]研究了由一个制造商和一个网络直销的零售商组成的供应链定价策略和协调机制。以上研究大多只关注于传统零售渠道和网络直销渠道销售模式下单一产品的价格竞争，而没有考虑两种渠道销售模式下制造不同品牌之间竞争的问题。

Yao 等^[9]构建了零售渠道和网上分销渠道的价格竞争模型，比较了 Stackelberg 和 Bertrand 两种决策下价格的竞争关系。Dumrongsiri 等^[10]研究了关于零售和直接销售双渠道的供应链，具有一个双渠道的供应链系统对制造商来说很有利。Huang 等^[7]分析了通过互联网销售产品和传统销售产品的零售商的最优定价策略。Avery 等^[11]研究发现，在零售渠道基础上添加一个互联网渠道，有利于增加渠道利润。Niu 等^[12]研究了垄断环境下的两级零售商供应链模型中联合定价和分散决策，在一个渠道的定价和决策会影响其他渠道的定价和决策。Li 等^[13]研究了基于分散式和集中式决策模式的两级双渠道供应链的定价策略，在不同的市场份额条件下，零售商应该选择不同的直销模式以获取最大利润。Kurata 等^[14]研究了制造商品品牌和零售商自主品牌产品在两种渠道销售模式下的价格竞争，探讨了跨品牌、跨渠道的定价政策，并对供应链协调进行评估。曹宗宏等^[15]研究了开通直销渠道和提供自有产品的条件、双方的定价策略和供应链的均衡结构问题，当直销渠道的操作

成本和自有产品的单位成本较低时，双方的竞争可以降低因双方独立决策而引起的双边效应的影响，实现双赢。杨帆等^[16]研究了供应链中渠道竞争与品牌竞争共存时，制造商与零售商的定价博弈问题，制造商与零售商可以通过增加消费者对自身品牌的忠诚度来增加利润，而制造商不能通过建立制造商品牌的渠道忠诚度来增加利润；Stackelberg 定价博弈的主导者有获得更大利润的优势。通过对以往文献的回顾，可以看出目前的研究或仅考虑渠道竞争时的产品定价或仅考虑品牌竞争时的产品定价，而对渠道竞争与品牌竞争共存的供应链中产品定价问题的研究不多见。

大量学者研究了关于供应链渠道的选择和权利结构的不同方面的影响^[17-20]。许传永等^[21]研究发现直销渠道会降低产品的价格并且增加产品销量。Yoo 等^[22]研究表明线上网络渠道并不一定会使零售价格降低，以及网络渠道在渠道结构和市场环境中影响不同。Zhang 等^[23]研究了在双渠道中的不同权利结构下，产品的可替代性和渠道结构对价格决策的影响。Lu 等^[24]从供应商的角度研究了实体零售商和电子商务组成的混合双渠道供应链系统的定价策略。与已有研究文献不同，本文基于制造商的视角，主要研究了两个制造商同时拥有线上和线下销售渠道组成的竞争供应链系统，研究两个制造商之间的价格博弈，分析消费者对产品或渠道的选择差异系数对销售价格和利润的影响。根据不同的权利结构，分析供应链系统中渠道竞争与品牌竞争共存时，两个制造商的 Nash 博弈决策和合作博弈决策定价问题，探讨了渠道竞争对价格决策和系统利润的影响。在此基础上提出线上和线下竞争供应链的共同调价机制，从而实现了线上和线下竞争供应链的利润最大化。

1 问题描述与符号说明

本文考虑由两个竞争的制造商同时拥有线上和线下销售渠道组成的供应链系统，其组织结构和产品销售渠道如图 1 所示。

制造商 $i(i = 1, 2)$ 生产性质和功能相同的同款产品，其单位制造成本和单位销售成本分别为 c_{im} 和 c_{ij} 。在渠道 $j(j = 1, 2; 1$ 表示线上销售渠道， 2 表示线下销售渠道)以单位价格 $P_{ij}(P_{ij} > c_{im} + c_{ij})$ 通过线上和线下渠道销售产品。

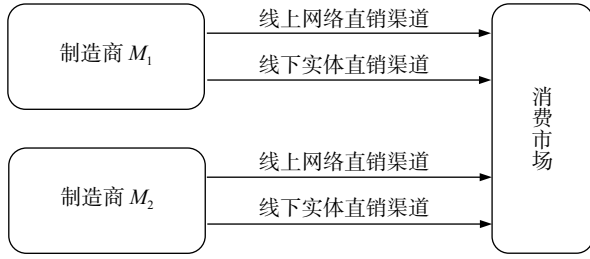


图1 O2O竞争供应链系统

Fig. 1 Competition system of the O2O supply chain

假设各渠道产品的市场需求均是随机的,第*i*个制造商的第*j*种销售渠道产品需求为

$$D_{11} = \theta\theta_1 a - \delta_1 p_{11} + \beta_1 p_{12} + \lambda_1 p_{21} \quad (1)$$

$$D_{12} = \theta(1 - \theta_1)a - \delta_2 p_{12} + \beta_1 p_{11} + \lambda_2 p_{22} \quad (2)$$

$$D_{21} = (1 - \theta)\theta_1 a - \delta_3 p_{21} + \beta_2 p_{22} + \lambda_1 p_{11} \quad (3)$$

$$D_{22} = (1 - \theta)(1 - \theta_2)a - \delta_4 p_{22} + \beta_2 p_{21} + \lambda_2 p_{12} \quad (4)$$

式中: a 为产品的市场需求总量; θ 表示制造商 M_1 占有的市场比例, $\theta_i(i=1,2)$ 表示制造商 M_i 的线上销售渠道占制造商 M_i 市场需求总量的比例, $\beta_i(i=1,2)$ 表示消费者对制造商 M_i 线上和线下渠道的选择差异, β_i 越大,表示渠道的差异越小(两种渠道的竞争或替代性越小); $\lambda_j(j=1,2)$ 表示消费者对制造商 M_1 和制造商 M_2 在同一渠道*j*的产品选择差异, λ_j 越大,表示产品在渠道*j*的差异越小(两种产品在同一渠道的竞争或替代性越小); $\delta_k(k=1,2)$ 表示消费者对制造商 M_1 的单位销售价格 p_{1k} 的敏感系数, $\delta_k(k=3,4)$ 表示消费者对制造商 M_2 的单位销售价格 $p_{2,k-2}$ 的敏感系数,满足 $\theta, \theta_1, \theta_2 \in (0, 1)$; $0 < \beta_i, \lambda_j < \delta_n(n=1, 2, 3, 4)$; p_{ij} 分别表示第*i*个制造商在第*j*销售渠道的产品销售价格。

根据上述构建的供应链系统和需求函数,可得制造商 $M_i(i=1,2)$ 的利润函数 Π_{M_i} 和供应链系统总利润 $\Pi_{M_{i1}}$ 如下:

$$\Pi_{M_i} = \Pi_{M_i}^1 + \Pi_{M_i}^2 = \Pi_{M_i}(p_{i1}, p_{i2} | p_{3-i,1}, p_{3-i,2}) = (p_{i1} - c_{i1} + c_{im})D_{i1} + (p_{i2} - c_{i2} + c_{im})D_{i2} \quad (5)$$

式中,第一部分为制造商 M_i 在线上销售渠道的利润函数 $\Pi_{M_i}^1$,第二部分为制造商 M_i 在线上销售渠道的利润函数 $\Pi_{M_i}^2$ 。

线上和线下竞争供应链系统总利润 Π_1 为

$$\Pi_1 = \Pi_{M_1} + \Pi_{M_2} = \sum_{i=1}^2 [(p_{i1} - c_{i1} + c_{im})D_{i1} + (p_{i2} - c_{i2} + c_{im})D_{i2}] \quad (6)$$

2 线上和线下竞争供应链的决策模型

2.1 Nash 博弈决策模型

在 Nash 博弈决策系统中,假设实力相当的两个制造商 M_1 和制造商 M_2 同时决策定价策略使其自身利润最大化。决策的过程如下:在给定制造商 M_2 的定价策略下,制造商 M_1 决策产品在线上渠道的单位销售价格 p_{11} 和线下渠道的单位销售价格 p_{12} ;同时在给定制造商 M_1 的定价策略下,制造商 M_2 决策产品在线上渠道的单位销售价格 p_{21} 和线下渠道的单位销售价格 p_{22} 。Nash 博弈定价策略确定的最大目标利润函数为

$$\max_{p_{i1}, p_{i2}} \Pi_{M_i} p_{3-i,1}, p_{3-i,2} = (p_{i1} - c_{i1} + c_{im})D_{i1} + (p_{i2} - c_{i2} + c_{im})D_{i2} \quad (7)$$

目标利润函数具有性质 1。

性质 1 Π_{M_i} 是关于线上渠道销售价格 p_{i1} 和线下渠道销售价格 p_{i2} 的严格凹函数。

证明 将式(5)分别对线上销售价格 p_{i1} 和线下渠道销售价格 p_{i2} 求一阶导数,可得:

$$\frac{\partial \Pi_{M_1}}{\partial p_{11}} = -2\delta_1 p_{11} + 2\beta_1 p_{12} + \lambda_1 p_{21} + \delta_1(c_{11} + c_{1m}) + \beta_1(c_{12} + c_{1m}) + \theta\theta_1 a \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Pi_{M_1}}{\partial p_{12}} = -2\delta_2 p_{12} + 2\beta_1 p_{11} + \lambda_2 p_{22} + \delta_2(c_{12} + c_{1m}) + \beta_1(c_{11} + c_{1m}) + \theta(1 - \theta_1)a \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Pi_{M_2}}{\partial p_{21}} = -2\delta_3 p_{21} + 2\beta_2 p_{22} + \lambda_1 p_{11} + \delta_3(c_{21} + c_{2m}) + \beta_2(c_{22} + c_{2m}) + (1 - \theta)\theta_2 a \quad (10)$$

$$\frac{\partial \Pi_{M_2}}{\partial p_{22}} = -2\delta_4 p_{22} + 2\beta_2 p_{21} + \lambda_2 p_{12} + \delta_4(c_{22} + c_{2m}) + \beta_2(c_{21} + c_{2m}) + (1 - \theta)(1 - \theta_2)a \quad (11)$$

同理,可得制造商 M_i 的利润函数 Π_{M_i} 关于线上渠道销售价格 p_{i1} 和线下渠道销售价格 p_{i2} 的 Hessian 矩阵 H_1 和 H_2 分别为

$$H_1 = \begin{bmatrix} -2\delta_1 & 2\beta_1 \\ 2\beta_1 & -2\delta_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} -2\delta_3 & 2\beta_2 \\ 2\beta_2 & -2\delta_4 \end{bmatrix} \quad (13)$$

易知 $H_1 = 4(\delta_1\delta_2 - \beta_1^2) > 0$ 和 $H_2 = 4(\delta_3\delta_4 - \beta_2^2) > 0$ 。因此,可证 Π_{M_i} 是关于线上渠道销售价格 p_{i1} 和线下渠道销售价格 p_{i2} 的严格凹函数。

性质 1 表明 Π_{M_i} 是关于线上渠道销售价格 p_{i1} 和线下渠道销售价格 p_{i2} 的严格凹函数, 制造商 M_i 的目标函数存在唯一的最大值。

定理 1 Nash 均衡价格。当 $|\mathbf{H}_1 \mathbf{H}_2 - \mathbf{A}^2| > 0$ 时, 制造商 M_i 最优化的线上渠道销售价格 p_{i1} 和线下渠道销售价格 p_{i2} 满足:

$$[p_{11}^*, p_{12}^*, p_{21}^*, p_{22}^*]^T = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}$$

其中,

$$\mathbf{A} \equiv \begin{bmatrix} -\mathbf{H}_1 & \mathbf{A} \\ \mathbf{A} & -\mathbf{H}_2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{H}_1 \equiv \begin{bmatrix} -2\delta_1 & 2\beta_1 \\ 2\beta_1 & -2\delta_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_2 \equiv \begin{bmatrix} -2\delta_3 & 2\beta_2 \\ 2\beta_2 & -2\delta_4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} \equiv \begin{bmatrix} -\lambda_1 & 0 \\ 0 & -\lambda_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} \equiv \begin{bmatrix} \delta_1(c_{11} + c_{1m}) - \beta_1(c_{12} + c_{1m}) + \theta\theta_1 a \\ \delta_2(c_{12} + c_{1m}) - \beta_1(c_{11} + c_{1m}) + \theta(1 - \theta_1)a \\ \delta_3(c_{21} + c_{2m}) - \beta_2(c_{22} + c_{2m}) + (1 - \theta)\theta_2 a \\ \delta_4(c_{22} + c_{2m}) - \beta_2(c_{21} + c_{2m}) + (1 - \theta)(1 - \theta_2)a \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P} \equiv \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix}$$

证明 令式(8)~(11)右边等于零, 并写成矩阵形式, 可得

$$\begin{bmatrix} 2\delta_1 & -2\beta_1 & -\lambda_1 & 0 \\ -2\beta_1 & 2\delta_2 & 0 & -\lambda_2 \\ -\lambda_1 & 0 & 2\delta_3 & -2\beta_2 \\ 0 & -\lambda_2 & -2\beta_2 & 2\delta_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{11} \\ p_{12} \\ p_{21} \\ p_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1(c_{11} + c_{1m}) - \beta_1(c_{12} + c_{1m}) + \theta\theta_1 a \\ \delta_2(c_{12} + c_{1m}) - \beta_1(c_{11} + c_{1m}) + \theta(1 - \theta_1)a \\ \delta_3(c_{21} + c_{2m}) - \beta_2(c_{22} + c_{2m}) + (1 - \theta)\theta_2 a \\ \delta_4(c_{22} + c_{2m}) - \beta_2(c_{21} + c_{2m}) + (1 - \theta)(1 - \theta_2)a \end{bmatrix}$$

令

$$\mathbf{A} \equiv \begin{bmatrix} -\mathbf{H}_1 & \mathbf{A} \\ \mathbf{A} & -\mathbf{H}_2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{H}_1 \equiv \begin{bmatrix} -2\delta_1 & 2\beta_1 \\ 2\beta_1 & -2\delta_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{H}_2 \equiv \begin{bmatrix} -2\delta_3 & 2\beta_2 \\ 2\beta_2 & -2\delta_4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} \equiv \begin{bmatrix} -\lambda_1 & 0 \\ 0 & -\lambda_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} \equiv \begin{bmatrix} \delta_1(c_{11} + c_{1m}) - \beta_1(c_{12} + c_{1m}) + \theta\theta_1 a \\ \delta_2(c_{12} + c_{1m}) - \beta_1(c_{11} + c_{1m}) + \theta(1 - \theta_1)a \\ \delta_3(c_{21} + c_{2m}) - \beta_2(c_{22} + c_{2m}) + (1 - \theta)\theta_2 a \\ \delta_4(c_{22} + c_{2m}) - \beta_2(c_{21} + c_{2m}) + (1 - \theta)(1 - \theta_2)a \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P} \equiv \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix}$$

由需求函数式(1)~(4)和利润函数式(5)易得, $\mathbf{B} > 0$, 当 $|\mathbf{A}| = |\mathbf{H}_1 \mathbf{H}_2 - \mathbf{A}^2| > 0$ 时, 方程组 $\mathbf{A}\mathbf{P}^* = \mathbf{B}$ 存在唯一的正解, 即 $\mathbf{P}^* = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}$ 。

定理 2 价格敏感性分析。制造商 M_i 最优化的线上渠道销售价格 p_{i1} 和线下渠道销售价格 p_{i2} 对渠道的选择差异参数 β_i 、产品的选择差异参数 λ_j 和消费者对价格的敏感性参数 δ_k 分别有:

$$\frac{\partial p_{ij}^*}{\partial \beta_i} > 0, \quad \frac{\partial p_{ij}^*}{\partial \lambda_j} > 0, \quad \frac{\partial p_{ij}^*}{\partial \delta_k} < 0, \quad i, j = 1, 2, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

证明 运用静态分析的方法, 由定理 1 可知, 当 $|\mathbf{A}| = |\mathbf{H}_1 \mathbf{H}_2 - \mathbf{A}^2| > 0$ 时, 方程组 $\mathbf{A}\mathbf{P}^* = \mathbf{B}$ 存在唯一的正解。将方程组(12)分别对 δ_i 求导化简可得

$$\mathbf{A} \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial p_{11}^*}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial p_{12}^*}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial p_{21}^*}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial p_{22}^*}{\partial \delta_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (c_{11} + c_{1m}) - 2p_1^* \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

即

$$\frac{\partial p_{11}^*}{\partial \delta_1} = \frac{1}{|\mathbf{A}|} \begin{vmatrix} (c_{11} + c_{1m}) - 2p_1^* & -2\beta_1 & -\lambda_1 & 0 \\ 0 & 2\delta_2 & 0 & -\lambda_2 \\ 0 & 0 & 2\delta_3 & -2\beta_2 \\ 0 & -\lambda_2 & -2\beta_2 & 2\delta_4 \end{vmatrix}$$

由 $|\mathbf{A}| > 0$ 可知, 行列式

$$|\mathbf{D}| = \begin{vmatrix} 2\delta_2 & 0 & -\lambda_2 \\ 0 & 2\delta_2 & -2\beta_2 \\ -\lambda_2 & -2\beta_2 & 2\delta_2 \end{vmatrix} > 0$$

可得

$$\frac{\partial p_{11}^*}{\partial \delta_1} = \frac{|\mathbf{D}|}{|\mathbf{A}|} [(c_{11} + c_{1m}) - 2p_1^*] < 0$$

同理, 可得 $\frac{\partial p_{12}^*}{\partial \delta_1} < 0, \frac{\partial p_{21}^*}{\partial \delta_1} < 0, \frac{\partial p_{22}^*}{\partial \delta_1} < 0$ 。运用相同分析方法求最优价格 p_{ij} 对参数 δ_k 、参数 β_i 和参数 λ_j 的影响, 即证明定理 2 成立。

定理 1 和定理 2 表明, 当价格系数矩阵 $\mathbf{A}$ 正定时, 供应链系统的 Nash 博弈决策存在最优定价策略。固定其他参数不变时, 制造商 M_i 线上和线下渠道竞争或者制造商之间的产品竞争越激烈 (β_i 或 λ_j 越小), 最优渠道销售价格 p_{ij} 越低。

定理 3 制造商最优利润的影响分析。

假设制造商 $M_i (i = 1, 2)$ 在线上销售渠道的利润函数为 $\Pi_{M_i}^1 = (p_{i1} - c_{i1} + c_{im})D_{i1}$, 线下销售渠道的利润函数为 $\Pi_{M_i}^2 = (p_{i2} - c_{i2} + c_{im})D_{i2}$ 。则有:

$$\frac{\partial \Pi_{M_i}^1}{\partial \delta_k} < 0, \quad \frac{\partial \Pi_{M_i}^1}{\partial \beta_i} > 0, \quad \frac{\partial \Pi_{M_i}^1}{\partial \lambda_j} > 0,$$

$$i, j = 1, 2, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

$$\frac{\partial \Pi_{M_i}^2}{\partial \delta_k} < 0, \quad \frac{\partial \Pi_{M_i}^2}{\partial \beta_i} > 0, \quad \frac{\partial \Pi_{M_i}^2}{\partial \lambda_j} > 0,$$

$$i, j = 1, 2, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

$$\frac{\partial \Pi_{M_i}^*}{\partial \delta_k} < 0, \quad \frac{\partial \Pi_{M_i}^*}{\partial \beta_i} > 0, \quad \frac{\partial \Pi_{M_i}^*}{\partial \lambda_j} > 0, \\ i, j = 1, 2, \quad k = 1, 2, 3, 4$$

证明 运用包络定理 (Varian, 1992) 对制造商的最优利润函数 $\Pi_{M_i}^*$ 对参数 δ_1 求偏导数, 可得

$$\frac{\partial \Pi_{M_i}^*}{\partial \delta_1} = (p_{11}^* - c_{11} + c_{1m}) \left\{ -p_{11}^* + \lambda_1 \frac{\partial p_{21}^*}{\partial \delta_1} \right\} + \\ (p_{12}^* - c_{12} + c_{1m}) \left(\lambda_2 \frac{\partial p_{22}^*}{\partial \delta_1} \right)$$

由定理 2 可知, $\frac{\partial p_{ij}^*}{\partial \delta_1} < 0$, 即可得 $\frac{\partial \Pi_{M_i}^*}{\partial \delta_1} < 0$, $\frac{\partial \Pi_{M_i}^{2*}}{\partial \delta_1} < 0$, $\frac{\partial \Pi_{M_i}^*}{\partial \delta_1} < 0$. 运用相同方法分析制造商 M_i 最优线上销售利润 $\Pi_{M_i}^{1*}$ 、最优线下销售利润 $\Pi_{M_i}^{2*}$ 和最优渠道总利润 $\Pi_{M_i}^*$ 对参数 δ_k 、参数 β_i 和参数 λ_j 的影响, 即证明定理 3 成立。

定理 3 表明, 当价格系数矩阵 A 正定, 固定其他参数不变时, 制造商 M_i 线上和线下渠道竞争或者制造商之间的产品竞争越激烈 (β_i 或 λ_j 越小), 最优渠道销售利润 $\Pi_{M_i}^j$ 越低。

2.2 合作博弈决策模型

在由两个制造商组成的供应链系统中, 两个

$$A' \equiv \begin{bmatrix} 2\delta_1 & -2\beta_1 & -2\lambda_1 & 0 \\ -2\beta_1 & 2\delta_2 & 0 & -2\lambda_1 \\ -2\lambda_2 & 0 & 2\delta_3 & -2\beta_2 \\ 0 & -2\lambda_2 & -2\beta_2 & 2\delta_4 \end{bmatrix}, \quad B' \equiv \begin{bmatrix} \delta_1(c_{11} + c_{1m}) - \beta_1(c_{12} + c_{1m}) - \lambda_1(c_{21} + c_{2m}) + \theta\theta_1 a \\ \delta_2(c_{12} + c_{1m}) - \beta_1(c_{11} + c_{1m}) - \lambda_2(c_{22} + c_{2m}) + \theta(1 - \theta_1)a \\ \delta_3(c_{21} + c_{2m}) - \beta_2(c_{22} + c_{2m}) - \lambda_1(c_{11} + c_{1m}) + (1 - \theta)\theta_2 a \\ \delta_4(c_{22} + c_{2m}) - \beta_2(c_{21} + c_{2m}) - \lambda_2(c_{12} + c_{1m}) + (1 - \theta)(1 - \theta_2)a \end{bmatrix}$$

证明 同定理 1。

性质 2 表明, 当 $|H_1 H_2 - 4A^2| > 0$ 时, 整个供应链系统的利润函数 Π_2 是关于销售价格 p_{ij} 的凹函数, 目标利润函数存在唯一的最优解, 定理 4 证明了合作博弈下的最优定价策略。

3 线上和线下竞争供应链的协调策略

在供应链的研究领域中, 供应链的协调机制使供应链系统的利润更进一步优化, 使协调后的系统利润能够最大程度地接近合作博弈决策时的整体最优利润, 进而优化 Nash 博弈决策时的供应链系统利润。

Nash 博弈决策下, 整个供应链系统的最优利润为

$$\Pi_1^* = \sum_{i=1}^2 [(p_{i1}^* - c_{i1} + c_{im}) D_{i1}^* + \\ (p_{i2}^* - c_{i2} + c_{im}) D_{i2}^*] \quad (15)$$

制造商通过合作采用合作博弈以实现整体利润最大化。整个供应链系统的最优化目标利润函数为

$$\Pi_2 = \sum_{i=1}^2 [(p_{i1} - c_{i1} + c_{im}) D_{i1} + \\ (p_{i2} - c_{i2} + c_{im}) D_{i2}]$$

性质 2 合作博弈决策下总利润函数的凹性。 Π_2 是关于销售价格 p_{11} , p_{12} , p_{21} 和 p_{22} 的凹函数。

证明 同性质 1, 目标利润函数关于销售价格 p_{ij} 的 Hessian 矩阵为

$$H_3 = \begin{bmatrix} -2\delta_1 & 2\beta_1 & 2\lambda_1 & 0 \\ 2\beta_1 & -2\delta_2 & 0 & 2\lambda_2 \\ 2\lambda_1 & 0 & -2\delta_3 & 2\beta_2 \\ 0 & 2\lambda_2 & 2\beta_2 & -2\delta_4 \end{bmatrix} \quad (14)$$

由性质 1 可知, 当 $|H_3| = |H_1 H_2 - 4A^2| > 0$ 时, 目标利润函数是关于销售价格 p_{ij} 的凹函数, 目标利润函数存在唯一的最优解。

定理 4 合作博弈决策下的最优定价策略。在合作博弈决策中, 最优定价策略分别为

$$[p_{11}^{**}, p_{12}^{**}, p_{21}^{**}, p_{22}^{**}]^T = A'^{-1} B'$$

合作博弈决策下, 整个供应链系统的最优利润为

$$\Pi_2^* = \sum_{i=1}^2 [(p_{i1}^{**} - c_{i1} + c_{im}) D_{i1}^{**} + \\ (p_{i2}^{**} - c_{i2} + c_{im}) D_{i2}^{**}] \quad (16)$$

定理 5 对 Nash 博弈模型与合作博弈模型比较分析, 可得:

- 合作博弈决策下的系统总利润 Π_2^* 不低于 Nash 博弈决策下的系统总利润 Π_1^* 。即: $\Pi_2^* \geq \Pi_1^*$ 。
- 一般情况下, $p_{ij}^* \neq p_{ij}^{**}$, $i, j = 1, 2, k = 1, 2, 3, 4$ 。
- Nash 博弈决策的最优销售价 p_{ij}^* 与合作博弈决策的最优销售价 p_{ij}^{**} 差额越大, 两种决策的最优利润的差额也越大。

证明 a. 由最优化理论可知, 定理 5 的 a 明显成立。

b. 假设 $p_{ij}^* = p_{ij}^{**}$, $i, j = 1, 2, k = 1, 2, 3, 4$, 即 $A^{-1} B = A'^{-1} B'$ 。由性质 1 和性质 2 可知, $A^{-1} B = A'^{-1} B'$ 。

在一般的情况下不成立。

c. 由于供应链系统总目标利润函数是价格 p_{ij} 的凹函数, 当价格 p_{ij} 偏离最优价格策略 p_{ij}^{**} 时, 利润也将急剧减少。

定理 5 表明, 当 Nash 博弈模型的最优价格与合作博弈模型的最优价格差异越大, 两种决策之间的利润差额也越大。

由于制造商之间通过竞争的方式扩大市场份额, 通常会采用降价的方式吸引消费者购买其产品。竞争越激烈, 渠道的利润越低, 基于以上思想, 本文通过供应商合作的方式, 采取联合调价的策略来协调线上和线下竞争供应链, 使供应链系统中制造商双方的利润同时提升。

定理 6 供应链协调。存在 $k_{ij}^* = p_{ij}^{**} - p_{ij}^*$, $i, j=1, 2$ 。通过联合调价的方式能够实现 Nash 博弈决策下的供应链最大化, 使得 $\Pi_1^* = \Pi_2^*$ 。

证明 令 $k_{ij}^* = p_{ij}^{**} - p_{ij}^*$, $i, j=1, 2$ 。代入 Nash 博弈决策的供应链系统总利润函数, 可得

$$\Pi_1^* = \sum_{i=1}^2 \left[(p_{i1}^* + k_{i1}^* - c_{i1} + c_{im}) D_{i1}^{**} + (p_{i2}^{**} + k_{i2}^* - c_{i2} + c_{im}) D_{i2}^{**} \right] = \Pi_2^*$$

定理 5 和定理 6 表明, Nash 博弈决策存在利润损失。即 Nash 博弈决策的利润和价格一般都是低于合作博弈决策下的利润和价格。两个制造商之间通过合作博弈模型, 通过调价的方式可以实现线上和线下供应链的协调, 使整体的利润最优化。

4 算例分析

为了更清楚地阐述上面的结论, 这里对上述结论作进一步的数值仿真。根据前面模型的基本假设条件, 取 $c_{m1}=40, c_{m2}=30, c_{11}=3, c_{12}=5, c_{21}=4, c_{22}=6, \delta_1=2, \delta_2=2.5, \delta_3=2.5, \delta_4=3, \beta_1=0.2, \beta_2=0.1, \lambda_1=0.4, \lambda_2=0.2, \theta=\theta_1=\theta_2=0.5, a=1\ 000$ 。满足性质 2 存在的条件: $|\mathbf{H}_3| = |\mathbf{H}_1 \mathbf{H}_2 - 4\mathbf{A}^2| > 0$ 。用 Matlab 软件将符合条件的参数值代入式(15)和式(16), 求得 Nash 博弈决策与合作博弈决策下各决策变量的最优解和协调策略, 如表 1 所示。

4.1 选择差异系数的敏感性分析

a. 消费者对制造商 M_i 的渠道选择差异系数 β_i ($i=1, 2$) 对价格和利润的影响。

β_i ($i=1, 2$) 之间有相似的结论, 本文以 β_1 为例, 分析其变化对价格和利润的影响。由图 2 和图 3

表 1 线上和线下竞争供应链系统各决策变量的最优解和协调策略

Tab.1 Optimal solution and coordination strategy of each decision variable in the competition system of the O2O supply chain

项目	Nash 博弈	合作博弈	协调策略	
决策变量	p_{11}	97.53	103.03	$k_{11}^* = p_{11}^{**} - p_{11}^* = 5.50$
	p_{12}	81.16	82.85	$k_{12}^* = p_{12}^{**} - p_{12}^* = 1.69$
	p_{21}	76.66	81.96	$k_{21}^* = p_{21}^{**} - p_{21}^* = 5.30$
	p_{22}	64.36	65.86	$k_{22}^* = p_{22}^{**} - p_{22}^* = 1.50$
利润	$\Pi_{m_1}^1$	5 553.01	5 600.50	
	$\Pi_{m_1}^2$	2 873.97	2 901.25	
	Π_{m_1}	8 426.98	8 501.74	
	$\Pi_{m_2}^1$	4 428.06	4 455.34	
	$\Pi_{m_2}^2$	2 291.97	2 304.83	
	Π_{m_2}	6 720.03	6 760.17	
	Π	15 147.00	15 261.90	

可知, 随着制造商 M_1 线上和线下渠道的选择差异系数 β_1 的变小(竞争的变大), 渠道的销售价格 p_{ij} 和利润 $\Pi_{M_i}^j$ 都随之减少。

由图 2 可知, 制造商 M_1 的渠道销售价格 p_{1j} 随消费者的渠道选择差异系数 β_1 变化程度比制造商 M_2 的渠道销售价格 p_{2j} 随消费者的渠道选择差异系数 β_1 变化程度大。因为, β_1 是直接影响制造商 M_1 的销售价格 p_{1j} ; 而 β_1 是间接影响制造商 M_2 的需求量, 进而影响制造商 M_2 的销售价格 p_{1j} 。由图 3 可知, 消费者对制造商 M_i 的渠道选择差异系数 β_i ($i=1, 2$) 对利润的影响与其对价格的影响相似。

从仿真模拟结果也可以看出, 供应链系统的 Nash 博弈决策存在最优定价策略。固定其他参数不变时, 制造商 M_i 线上和线下渠道竞争或者制造商之间的产品竞争越激烈, 最优渠道销售价格 p_{ij} 越低。

b. 消费者对制造商 M_i 之间的产品选择差异系数 λ_j ($j=1, 2$) 对价格和利润的影响。

由图 2 可知, 固定其他参数不变, 当 $\lambda_1=0.4, \lambda_2$ 的值由 0.4 变为 0.2 时, 制造商的销售价格 p_{ij} 随之减少(由图中细实线变为虚线)。但是, λ_2 的变化对线上销售价格 p_{1j} 影响小于其对线下销售价格 p_{2j} 影响。固定其他参数不变, 当 $\lambda_2=0.4, \lambda_1$ 的值由 0.4 变为 0.2 时, 制造商的销售价格 p_{ij} 随之减少(由图中细实线变为粗实线)。但是, λ_2 的变化对

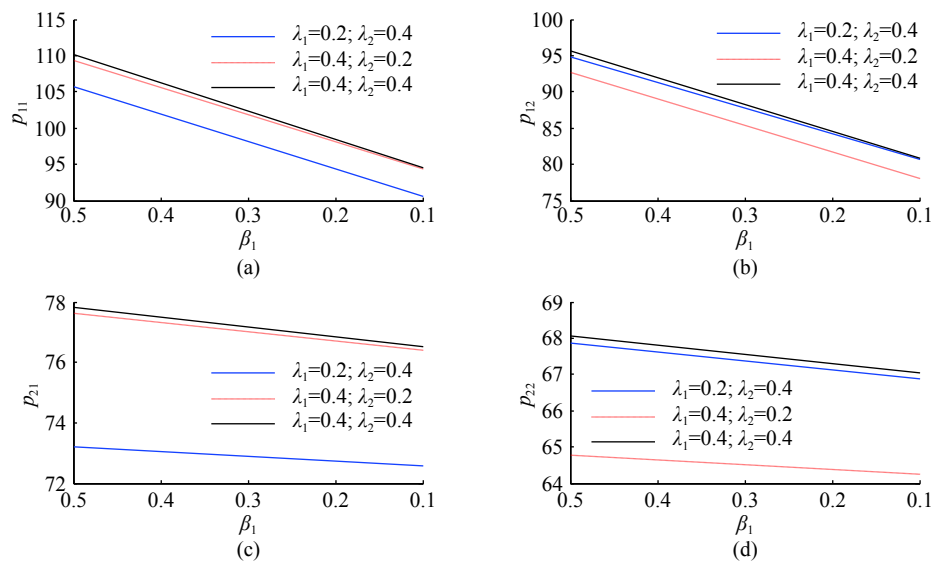


图2 Nash 博弈决策下的渠道的差异系数 β_1 对销售价格 p_{ij} 的影响

Fig.2 Impact of the channels difference coefficient β_1 on the sale price p_{ij} based on the Nash game model

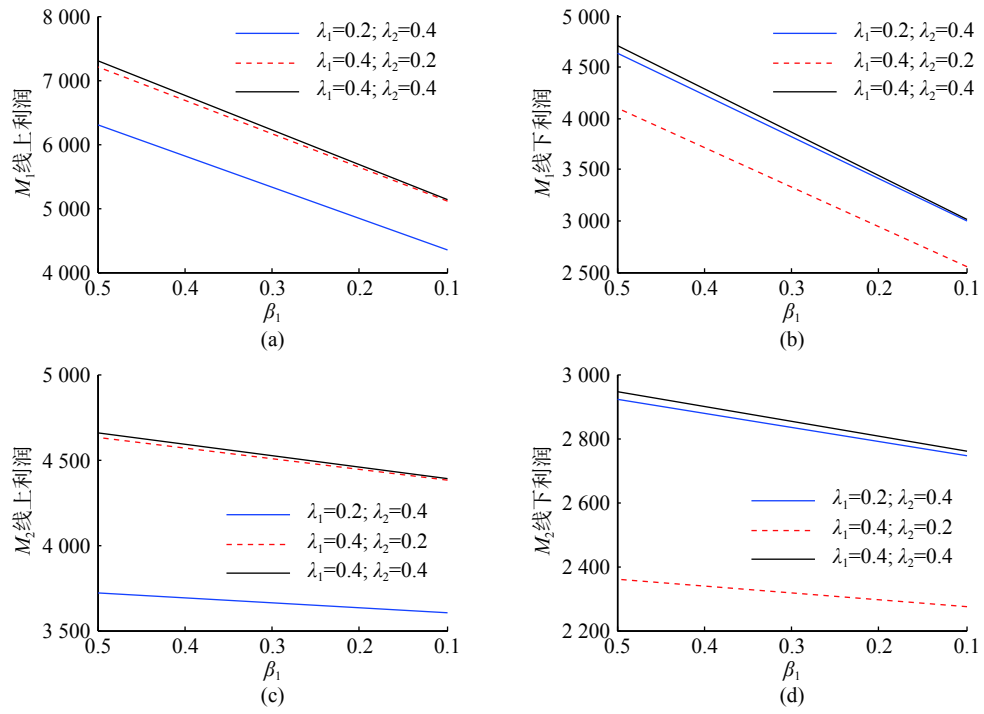


图3 Nash 博弈决策下的渠道的差异系数 β_1 对利润 $\Pi_{M_i}^j$ 的影响

Fig.3 Impact of the channels difference coefficient β_1 on the profit $\Pi_{M_i}^j$ based on the Nash game model

线下销售价格 p_{2j} 影响小于其对线上销售价格 p_{1j} 影响。同理，分析图3，可验证定理3。固定其他参数不变时，制造商 M_i 线上和线下渠道竞争或者制造商之间的差异系数越小，最优渠道销售利润 $\Pi_{M_i}^j$ 越低。

4.2 线上和线下竞争供应链的协调策略

由于制造商之间通过竞争的方式扩大市场份额，通常会采用降价的方式吸引消费者购买其产

品，竞争越激烈，渠道的利润越低。由表1可知，合作博弈决策时制造商 M_i 渠道销售价格 p_{ij} 和渠道利润 $\Pi_{M_i}^j$ 均高于 Nash 博弈决策时的渠道销售价格 p_{ij} 和渠道利润 $\Pi_{M_i}^j$ 。通过制造商之间合作以共同调价的方式 ($k_{11}^*=5.50, k_{12}^*=1.69, k_{21}^*=5.30, k_{22}^*=1.50$) 能提高 Nash 博弈决策下各渠道的利润，协调后的线上和线下竞争供应链系统利润与合作博弈决策时相等，即实现了供应链系统的最优化。

5 结束语

建立了由两个竞争的制造商同时拥有线上和线下销售渠道组成的供应链系统, 假设各渠道的需求量为线性的条件下, 探讨了两个制造商之间的价格博弈问题。对线上和线下竞争供应链在 Nash 博弈决策和合作博弈决策模式下, 研究了两个直售的制造商之间的价格博弈。分析了消费者对产品或渠道的选择差异系数销售价格和利润的影响, 在此基础上, 提出了线上和线下竞争供应链的共同调价机制, 从而实现了线上和线下竞争供应链的利润最大化。本文仅研究了制造商直接销售产品且在确定需求下的线上和线下竞争供应链, 未来可进一步探讨随机需求、零售商加入供应链系统、政府补贴、广告策略等方面的问题。

参考文献:

- [1] BALASUBRAMANIAN S. Mail versus mall: a strategic analysis of competition between direct marketers and conventional retailers[J]. *Marketing Science*, 1998, 17(3): 181–195.
- [2] YAO D Q, LIU J J. Channel redistribution with direct selling[J]. *European Journal of Operational Research*, 2003, 144(3): 646–658.
- [3] CHIANG W Y K, CHHAJED D, HESS J D. Direct marketing, indirect profits: a strategic analysis of dual-channel supply-chain design[J]. *Management Science*, 2003, 49(1): 1–20.
- [4] TSAY A A, AGRAWAL N. Channel conflict and coordination in the E-commerce age[J]. *Production and Operations Management*, 2004, 13(1): 93–110.
- [5] CATTANI K, GILLAND W, HEESE H S, et al. Boiling frogs: pricing strategies for a manufacturer adding a direct channel that competes with the traditional channel[J]. *Production and Operations Management*, 2006, 15(1): 40–56.
- [6] ARYA A, MITTENDORF B, SAPPINGTON D E M. The bright side of supplier encroachment[J]. *Marketing Science*, 2007, 26(5): 651–659.
- [7] HUANG W, SWAMINATHAN J M. Introduction of a second channel: implications for pricing and profits[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 194(1): 258–279.
- [8] 熊中楷, 李根道, 唐彦昌, 等. 网络环境下考虑动态定价的渠道协调问题研究[J]. *管理工程学报*, 2007, 21(3): 49–55.
- [9] YAO D Q, LIU J J. Competitive pricing of mixed retail and e-tail distribution channels[J]. *Omega*, 2005, 33(3): 235–247.
- [10] DUMRONGSIRI A, FAN M, JAIN A, et al. A supply chain model with direct and retail channels[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 187(3): 691–718.
- [11] AVERY J, STEENBURGH T J, DEIGHTON J, et al. Adding bricks to clicks: predicting the patterns of cross-channel elasticities over time[J]. *Journal of Marketing*, 2012, 76(3): 96–111.
- [12] NIU R H, ZHAO X, CASTILLO I, et al. Pricing and inventory strategies for a two-stage dual-channel supply chain[J]. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 2012, 29(1): 1240004.
- [13] LI S J, LIU A J. Pricing strategies in dual-channel supply chain with retailer direct marketing[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 933: 902–906.
- [14] KURATA H, YAO D Q, LIU J J. Pricing policies under direct vs. store brand competition[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 180(1): 262–281.
- [15] 曹宗宏, 赵菊, 张成堂, 等. 品牌与渠道竞争下的定价决策与渠道结构选择[J]. *系统工程学报*, 2015, 30(1): 104–114.
- [16] 杨帆, 赵静, 刘伟玉. 渠道竞争与品牌竞争共存时的 Stackelberg 定价博弈分析[J]. *天津工业大学学报*, 2014, 33(2): 70–75.
- [17] GASKI J F, NEVIN J R. The differential effects of exercised and unexercised power sources in a marketing channel[J]. *Journal of Marketing Research*, 1985, 22(2): 130–142.
- [18] CHOI S C. Price competition in a channel structure with a common retailer[J]. *Marketing Science*, 1991, 10(4): 271–296.
- [19] CAI G S, ZHANG Z G, ZHANG M. Game theoretical perspectives on dual-channel supply chain competition with price discounts and pricing schemes[J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 117(1): 80–96.
- [20] KOLAY S, SHAFFER G. Contract design with a dominant retailer and a competitive fringe[J]. *Management Science*, 2013, 59(9): 2111–2116.
- [21] 许传永, 苟清龙, 周垂日, 等. 两层双渠道供应链的定价问题[J]. *系统工程理论与实践*, 2010, 30(10): 1741–1752.
- [22] YOO W S, LEE E. Internet channel entry: a strategic analysis of mixed channel structures[J]. *Marketing Science*, 2011, 30(1): 29–41.
- [23] ZHANG R, LIU B, WANG W L. Pricing decisions in a dual channels system with different power structures[J]. *Economic Modelling*, 2012, 29(2): 523–533.
- [24] LU Q H, LIU N. Pricing games of mixed conventional and e-commerce distribution channels[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, 64(1): 122–132.

(编辑: 石 瑛)