

需求变动下双渠道供应链的竞争和协调

彭 静^{1,2,3}, 林 杰¹, 林 正⁴, 吴小燕⁵

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室, 浙江 临安 311300; 4. 浙江省特种设备检验研究院, 浙江 杭州 310020; 5. 上海市贸易学校, 上海 200092)

摘要: 研究由一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链系统当突发事件发生时制造商和零售商之间的竞争和协调问题. 通过求解优化问题的 Karush-Kuhn-Tucker 条件, 分别给出正常情况下和突发事件发生导致需求变动时一体化双渠道供应链系统的最优定价和生产决策, 并提出改进的数量折扣契约以协调突发事件发生时分散式双渠道供应链系统. 结果表明需求扰动的大小和消费者对电子渠道的接受程度对双渠道供应链系统的定价、生产决策和协调契约有着重要影响, 另外需求扰动量的变化幅度越大, 采取应对措施前后的利润差异越大. 最后通过数值分析验证了模型的有效性.

关键词: 双渠道; 扰动管理; 数量折扣契约; 协调; 博弈
中图分类号: F252 **文献标志码:** A

Competing and Coordination Strategies for Dual-channel Supply Chain with Demand Disruption

PENG Jing^{1,2,3}, LIN Jie¹, LIN Zheng⁴, WU Xiaoyan⁵

(1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Information Engineering, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Lin'an 311300, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Foresity Intelligent Monitoring and Information Technology Research, Lin'an 311300, China; 4. Zhejiang Provincial Special Equipment Inspection and Research Institute, Hangzhou 310020, China; 5. Shanghai Trade School, Shanghai 200092, China)

Abstract: The pricing competing and channel coordination strategies in a one-manufacturer-one-retailer dual-channel supply chain under demand disruptions are studied. By solving the Kuhn-Tucker conditions of the optimization problem, the centralized dual-channel supply chain's optimal pricing and production decisions were obtained under regular operation and demand disruption, respectively. Moreover, an improved quantity discount mechanism to coordinate the decentralized dual-channel supply chain with demand disruptions is presented. It is found that different demand disruption scenarios and consumer acceptance of e-channel scenarios

have significant effects on the centralized dual-channel supply chain's optimal pricing, production decisions and coordination mechanism, moreover, the greater the magnitude of variation in demand disruption is, the greater the profit differential of knowing demand disruptions is. Finally, numerical examples are given to demonstrate the effectiveness of the model.

Key words: dual-channel; disruption management; quantity discount contract; coordination; game theory

根据艾瑞市场咨询(iResearch)发布的 2013 年中国网络购物市场数据, 2013 年中国网络购物市场交易规模达到 1.85 万亿元, 同比增长 42.0%, 预计 2016 年中国网络购物市场交易规模将达到 4 万亿元. 为了满足消费者新的需求, 越来越多的企业纷纷将网络销售渠道同现有的传统销售渠道相整合, 从而形成双渠道销售模式.

双渠道供应链管理是近年来学术界研究的热点. 在双渠道供应链中, 一方面供应商或制造商以单位产品批发价格向零售商提供商品(传统销售渠道), 另一方面供应商或制造商拥有的网络销售渠道直接向消费者销售产品, 从而与传统销售渠道直接争夺客户引起渠道冲突. 因此在双渠道供应链系统中, 同时存在垂直竞争和水平竞争. 通过梳理可以发现, 双渠道的研究重点主要集中在双渠道供应链的定价^[1-2]以及渠道选择^[3-5]和协调^[6-9]等问题. 在研究双渠道供应链协调的文献中, 文献[7]研究了不同渠道结构的双渠道供应链中供应商和零售商之间的收益共享契约协调问题. 文献[8]研究了非对称信息下混合渠道的最优合同设计问题, 文献[9]研究了双渠道供应链中基于 Stackelberg 博弈的定价及协调问题, 提出使双渠道供应链协调的收益共享契约, 并通过补充协议可使制造商和零售商实现双赢.

本文与上述双渠道供应链的协调问题密切相

关,上述双渠道供应链协调的文献中都没考虑发生突发事件导致需求变动时双渠道供应链的决策及协调.通常突发的自然灾害、异常事件等诸多因素都会使供应链在实际运作中受到不同层面、不同程度的影响,造成需求的巨大波动,使得原本协调的供应链不再协调或者原生产和销售计划不再可行.因此建立反应快捷的应急工作机制和灾后恢复机制以最大程度减少企业损失、增加供应链系统的性能是非常必要的,也引起了企业界和学术界的高度重视.

与本文相关的另一类文献是供应链中的扰动管理.文献[10]研究了需求发生扰动时考虑缺货成本和处理成本 2 种成本下的供应链协调问题,文献[11]研究了当需求和成本同时发生扰动时一个制造商和多个竞争零售商的协调问题,文献[12]研究了需求发生扰动时单制造商和多零售商的供应链中基于主导型零售商销售努力的供应链协调问题,与上述文献不同,文献[13]研究了需求函数为指数函数形式时需求扰动下的供应链协调问题.

基于以上研究,本文考虑由一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链系统中当突发事件发生时制造商和零售商之间的竞争和协调问题.

1 问题描述和基本数量折扣协调模型

1.1 问题描述

考虑由一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链系统(见图 1),制造商仅生产一种产品,其产品既可以通过零售商卖给消费者,也可以通过网上直销渠道直接卖给消费者.假定制造商和零售商间的决策过程构成一个 Stackelberg 博弈,制造商作为博弈的领导者首先确定批发价格 w 和电子渠道价格 p_d ,然后零售商确定零售渠道的零售价格 p_r .假设 2 种渠道的需求都是关于销售价格的线性函数.

$$D_r = (1 - \rho)a - \beta_1 p_r + \gamma_1 p_d \quad (1)$$

$$D_d = \rho a - \beta_2 p_d + \gamma_2 p_r \quad (2)$$

式中:下标 r 和 d 分别表示零售渠道和电子渠道; ρ 为消费者对电子渠道的接受程度; a 为当 2 种渠道价格 p_r 和 p_d 均为零时预测的市场需求规模, β_1 (β_2) 和 γ_1 (γ_2) 分别表示零售渠道(电子渠道)的自有价格弹性系数和交叉价格弹性系数.为了便于分析,假设自有价格弹性系数和交叉价格弹性系数是对称的^[14](即 $\beta_1 = \beta_2 = \beta, \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$)且 $\beta > \gamma$,表明自有价格弹性系数大于交叉价格弹性系数.零售商和制造商的利润函数为

$$\pi_r = (p_r - w)D_r \quad (3)$$

$$\pi_m = (w - c)D_r + (p_d - c)D_d \quad (4)$$

供应链系统的总利润函数为

$$\Pi = \pi_r + \pi_m = (p_r - c)D_r + (p_d - c)D_d \quad (5)$$

其中 c 为制造商的单位生产成本.

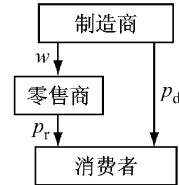


图 1 双渠道供应链系统

Fig. 1 Dual-channel supply chain system

假设当需求发生扰动后实际市场需求规模变为 $a + \Delta a$,其中 Δa 为需求扰动量.假定发生需求扰动时调整后的零售渠道价格和电子渠道价格分别为 \bar{p}_r 和 \bar{p}_d ,则发生需求扰动时价格调整后 2 个渠道的实际市场需求量为

$$\bar{D}_r = (1 - \rho)(a + \Delta a) - \beta \bar{p}_r + \gamma \bar{p}_d \quad (6)$$

$$\bar{D}_d = \rho(a + \Delta a) - \beta \bar{p}_d + \gamma \bar{p}_r \quad (7)$$

1.2 基本数量折扣协调模型

本节及下节均假定只要零售商的利润非负,零售商都会接受制造商提供的协调契约.

一体化双渠道供应链系统(简称系统)的决策者需要同时确定 p_r 和 p_d .对式(5)分别求关于 p_r 和 p_d 的二阶偏导数得到其海瑟(Hessian)矩阵为 $H = \begin{bmatrix} -2\beta & 2\gamma \\ 2\gamma & -2\beta \end{bmatrix}$.因 $H_1 = -2\beta < 0, H_2 = 4(\beta^2 - \gamma^2) > 0$,海瑟矩阵负定,所以存在最优的零售价格 p_r^* 和电子渠道价格 p_d^* 使得供应链系统的利润达到最大.对式(5)求关于 p_r 和 p_d 的一阶偏导数并令其分别等于零,得到 $p_r^* = \frac{\beta(1-\rho) + \gamma\rho}{2(\beta^2 - \gamma^2)} a + \frac{c}{2}$, $p_d^* = \frac{\gamma(1-\rho) + \beta\rho}{2(\beta^2 - \gamma^2)} a + \frac{c}{2}$.最优生产数量为 $D_r^* + D_d^* = \frac{a}{2} - (\beta - \gamma)c$.此时供应链系统的总利润为

$$\Pi^* = \frac{\beta a^2}{4(\beta^2 - \gamma^2)} - \frac{\rho(1-\rho)a^2}{2(\beta + \gamma)} - \frac{a - (\beta - \gamma)c}{2} c \quad (8)$$

为表述方便有以下假定: $A = ((\beta - \gamma)c - (1 - \rho)a)^2, B = \frac{(\beta - 2(\beta - \gamma)\rho + 2(\beta - \gamma)\rho^2)}{4(\beta^2 - \gamma^2)} (a + \Delta a)^2, T = ((\beta - \gamma)(c - \theta_2) - (1 - \rho)(a + \Delta a))^2, U = ((1 - 2\rho)\Delta a + 2(1 - \rho)a - 2(\beta - \gamma)c)^2, V = ((\beta - \gamma) \cdot (c + \theta_1) - (1 - \rho)(a + \Delta a))^2, X = \frac{(\beta - \gamma)(\rho(a + \Delta a) - (\beta + \gamma)(c + \theta_1))^2}{4\beta(\beta + \gamma)}, Y =$

$$\frac{\gamma(\gamma+2(\beta-\gamma)\rho)(a+\Delta a)^2}{4\beta(\beta^2-\gamma^2)}.$$

假定制造商承担渠道协调的责任,并向零售商提供形如 $w-dQ(0 \leq d \leq w/Q)$ 的线性数量折扣协调契约,其中 w 为最大可变批发价格, d 为折扣因子,如果 $d=0$,意味着制造商没有向零售商提供任何折扣.因此采用该协调契约时,分散式决策下零售商和制造商的利润函数分别为 $\pi_r = (p_r - w + dD_r)D_r, \pi_m = (w - dD_r - c)D_r + (p_d - c)D_d$.

采用逆序解法求解该问题,给定 w 和 p_d ,零售商确定 p_r 最大化自己的利润.对 π_r 求关于 p_r 的一阶偏导数并令其等于零得到(用 D 表示数量折扣契约).

$$p_{r,D} = \frac{(1-2\beta d)((1-\rho)a + \gamma p_d) + \beta w}{2\beta(1-\beta d)} \quad (9)$$

若数量折扣契约 (w, d) 能够协调双渠道供应链,必有 $p_{r,D} = p_r^*, p_{d,D} = p_d^*$,下面的定理 1 表明数量折扣契约 (w, d) 能有效协调双渠道供应链系统.

定理 1 若数量折扣契约 (w^*, d^*) 满足 $w^* = ((1-\rho)a - (\beta-\gamma)c)d^* + \frac{\gamma(\gamma+\rho(\beta-\gamma))a}{2\beta(\beta^2-\gamma^2)} + (1-\frac{\gamma}{2\beta})c$, 则该数量折扣契约 (w^*, d^*) 能够有效协调双渠道供应链系统.

此时零售商的利润为 $\pi_{r,D} = \frac{(1-\beta d^*)A}{4\beta}$, 易知 $0 < d^* < \frac{1}{\beta}$. 制造商的利润为 $\pi_{m,D} = \frac{A}{4}d^* - \frac{\gamma ac}{2\beta} + \frac{(\beta-\gamma)(\rho a - (\beta+\gamma)c)^2}{4\beta(\beta+\gamma)} + \frac{\gamma(\gamma+2(\beta-\gamma)\rho)}{4\beta(\beta^2-\gamma^2)}a^2$. 供应链系统的总利润为

$$\Pi_D = \frac{\beta a^2}{4(\beta^2-\gamma^2)} - \frac{\rho(1-\rho)a^2}{2(\beta+\gamma)} - \frac{a - (\beta-\gamma)c}{2} \quad (10)$$

由式(8)和式(10)知 $\Pi^* = \Pi_D$, 即协调前后供应链系统总利润相等,数量折扣契约 (w^*, d^*) 使供应链系统达到了协调状态.

2 发生需求扰动时的最优决策

需求发生扰动后供应链系统的总利润为

$$\bar{\Pi} = (\bar{p}_r - c)\bar{D}_r + (\bar{p}_d - c)\bar{D}_d - \theta_1((\bar{D}_r + \bar{D}_d) - (D_r^* + D_d^*))^+ - \theta_2((D_r^* + D_d^*) - (\bar{D}_r + \bar{D}_d))^+ \quad (11)$$

式中: $(x)^+$ 表示 $\max\{0, x\}^+$; θ_1 为当需求发生扰动后实际需求量大于原计划产量时 $(\bar{D}_r + \bar{D}_d >$

$D_r^* + D_d^*)$ 的单位缺货成本; θ_2 为原计划产量大于实际需求量时 $(D_r^* + D_d^* > \bar{D}_r + \bar{D}_d)$ 的单位处理成本,并且假定 $\max\{\theta_1, \theta_2\} < c$.

需求发生扰动后,系统的决策者需要重新确定 \bar{p}_r 和 \bar{p}_d . 式(11)不是关于 \bar{p}_r 和 \bar{p}_d 的连续可微函数,因此需分 $\bar{D}_r + \bar{D}_d \geq D_r^* + D_d^*$ 和 $\bar{D}_r + \bar{D}_d \leq D_r^* + D_d^*$ 2 种情况进行讨论. 当 $\bar{D}_r + \bar{D}_d \geq D_r^* + D_d^*$ 时,即实际需求超过原计划产量时会产生缺货成本;当 $\bar{D}_r + \bar{D}_d \leq D_r^* + D_d^*$ 时,即原计划产量超过实际需求时会产生处理成本.构造 2 种情形下系统决策问题的拉格朗日函数,通过求解 Karush-Kuhn-Tucker 条件可得到定理 2.

为表述方便,定义 $R_1 = \{(\Delta a, \rho) \mid \Delta a < \Delta a_1, \frac{(\beta-\gamma)(c-\theta_2)}{a+\Delta a} \leq \rho \leq 1 - \frac{(\beta-\gamma)(c-\theta_2)}{a+\Delta a}\}$, $R_2 = \{(\Delta a, \rho) \mid \Delta a_1 \leq \Delta a \leq \Delta a_2, \frac{\Delta a + 2(\beta-\gamma)c}{2(a+\Delta a)} \leq \rho \leq 1 - \frac{\Delta a + 2(\beta-\gamma)c}{2(a+\Delta a)}\}$, $R_3 = \{(\Delta a, \rho) \mid \Delta a > \Delta a_2, \frac{(\beta-\gamma)(c+\theta_1)}{a+\Delta a} \leq \rho \leq 1 - \frac{(\beta-\gamma)(c+\theta_1)}{a+\Delta a}\}$, 其中 $\Delta a_1 = -2(\beta-\gamma)\theta_2, \Delta a_2 = 2(\beta-\gamma)\theta_1$.

定理 2 给定需求扰动 Δa , 系统的最优决策为

$$\bar{p}_r^* = \begin{cases} p_r^* + \frac{\beta(1-\rho) + \gamma\rho}{2(\beta^2-\gamma^2)}\Delta a - \frac{\theta_2}{2}, & (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ p_r^* + \frac{\beta(1-\rho) + \gamma\rho}{2(\beta^2-\gamma^2)}\Delta a + \frac{\Delta a}{4(\beta-\gamma)}, & (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ p_r^* + \frac{\beta(1-\rho) + \gamma\rho}{2(\beta^2-\gamma^2)}\Delta a + \frac{\theta_1}{2}, & (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (12)$$

$$\bar{p}_d^* = \begin{cases} p_d^* + \frac{\gamma(1-\rho) + \beta\rho}{2(\beta^2-\gamma^2)}\Delta a - \frac{\theta_2}{2}, & (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ p_d^* + \frac{\gamma(1-\rho) + \beta\rho}{2(\beta^2-\gamma^2)}\Delta a + \frac{\Delta a}{4(\beta-\gamma)}, & (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ p_d^* + \frac{\gamma(1-\rho) + \beta\rho}{2(\beta^2-\gamma^2)}\Delta a + \frac{\theta_1}{2}, & (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (13)$$

需求发生扰动后,系统的最优产量为

$$\bar{D}_r^* + \bar{D}_d^* = \begin{cases} (D_r^* + D_d^*) + \frac{\Delta a}{2} + (\beta-\gamma)\theta_2, & (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ (D_r^* + D_d^*), & (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ (D_r^* + D_d^*) + \frac{\Delta a}{2} - (\beta-\gamma)\theta_1, & (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (14)$$

系统的总利润为

$$\bar{\Pi}^* = \begin{cases} B + \frac{\beta - \gamma}{2}(c^2 + \theta_2^2) - \frac{a + \Delta a}{2}c + \frac{\theta_2}{2}\Delta a, (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ B + \frac{\beta - \gamma}{2}c^2 - \frac{a + \Delta a}{2}c - \frac{\Delta a^2}{8(\beta - \gamma)}, (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ B + \frac{\beta - \gamma}{2}(c^2 + \theta_1^2) - \frac{a + \Delta a}{2}c - \frac{\theta_1}{2}\Delta a, (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (15)$$

从定理 2 可以得出如下结论:

(1) 发生需求扰动后, 系统的最优策略与 Δa 和 ρ 的值密切相关, 如图 2 所示. 图 2~4 中其他各参数值为 $a=10, \Delta a \in [-5, 5], \rho \in [0, 1], c=2, \beta=1, \gamma=0.5, \theta_1=0.5, \theta_2=0.4$. 由图 2 可知, 当消费者对电子渠道的接受程度较低 ($\rho \leq \min(\rho_1, \rho_3, \rho_5)$) 或较高 ($\rho \geq \max(\rho_2, \rho_4, \rho_6)$) 时, 制造商的最优决策是关闭电子直销渠道或传统零售渠道. 当消费者对电子渠道的接受程度处于中间区域时, 制造商的最优决策区间随着 Δa 的变化而变化.

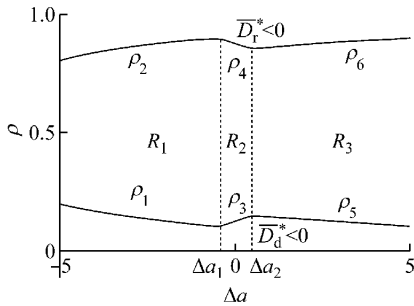


图 2 需求扰动后最优决策区间

Fig.2 Regions of optimal decisions under demand disruptions

(2) 发生需求扰动后, 最优生产决策随着需求扰动量的变化而变化, 如图 3 所示. 由图 3 可知, 当需求扰动量变化范围较小 ($\Delta a_1 \leq \Delta a \leq \Delta a_2$) 时, 最优生

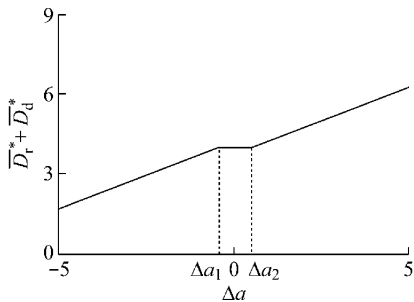


图 3 最优生产决策随需求扰动量的变化

Fig.3 Optimal production decisions under demand disruptions

产决策应与原生产计划保持一致, 决策者只需调整零售渠道和电子渠道的价格即可应对突发事件导致的需求扰动; 当需求扰动量变化较大时, 决策者必须同时调整最优生产决策和价格决策才能有效应对需求扰动. 具体地, 当 $\Delta a < \Delta a_1$ 时, 制造商应减少生产数量, 当 $\Delta a > \Delta a_2$ 时, 制造商应增加生产数量.

(3) 令 $\tilde{\Pi}$ 表示发生需求扰动后没有采取应对措施而继续采用原最优定价决策 (p_r^* 和 p_d^*) 时系统的总利润, 即

$$\tilde{\Pi} = (p_r^* - c)((1 - \rho)(a + \Delta a) - \beta p_r^* + \gamma p_d^*) + (p_d^* - c)(\rho(a + \Delta a) - \beta p_d^* + \gamma p_r^*) - \theta_1 [((1 - \rho)(a + \Delta a) - \beta p_r^* + \gamma p_d^* + \rho(a + \Delta a) - \beta p_d^* + \gamma p_r^*) - (D_r^* + D_d^*)]^+ - \theta_2 [(D_r^* + D_d^*) - ((1 - \rho)(a + \Delta a) - \beta p_r^* + \gamma p_d^* + \rho(a + \Delta a) - \beta p_d^* + \gamma p_r^*)]^+$$

显然利润差异 $\bar{\Pi}^* - \tilde{\Pi}$ 反映了突发事件发生后采取应对措施的价值所在, $\bar{\Pi}^* - \tilde{\Pi}$ 各种情况下的结果见表 1, 由表 1 可知当发生需求扰动时采取应对措施有利于增加供应链系统的利润.

表 1 需求扰动下采用应对措施前后的利润差异

Δa	$\bar{\Pi} - \tilde{\Pi}$
$\Delta a \leq -2(\beta - \gamma)\theta_2$	$\frac{[\beta - 2(\beta - \gamma)\rho + 2(\beta - \gamma)\rho^2]\Delta a^2}{4(\beta^2 - \gamma^2)} + \frac{\beta - \gamma}{2}\theta_2^2 - \frac{\theta_2\Delta a}{2} > 0$
$-2(\beta - \gamma)\theta_2 < \Delta a < 0$	$\frac{(1 - 2\rho)^2\Delta a^2}{8(\beta + \gamma)} - \theta_2\Delta a > 0$
$0 < \Delta a < 2(\beta - \gamma)\theta_1$	$\frac{(1 - 2\rho)^2\Delta a^2}{8(\beta + \gamma)} + \theta_1\Delta a > 0$
$2(\beta - \gamma)\theta_1 \leq \Delta a$	$\frac{[\beta - 2(\beta - \gamma)\rho + 2(\beta - \gamma)\rho^2]\Delta a^2}{4(\beta^2 - \gamma^2)} + \frac{\beta - \gamma}{2}\theta_1^2 + \frac{\theta_1\Delta a}{2} > 0$

进一步地, 图 4 反映了利润差异大小随着需求扰动量的变化情况. 由图 4 可知, 当发生需求扰动时采取定理 3 的应对措施, 有利于增加供应链系统的利润 ($\bar{\Pi}^* - \tilde{\Pi} > 0$), 且 $\bar{\Pi}^* - \tilde{\Pi}$ 随 Δa 指数变化, 即需求扰动量的变化幅度越大, 利润差异越大, 也就是说采取应对措施的价值越明显.

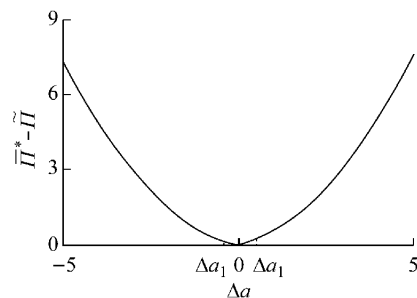


图 4 利润差异随需求扰动量的变化

Fig.4 Profit differential under demand disruptions

3 需求扰动时的协调契约

下面研究确定当需求发生扰动后如何协调新的双渠道供应链系统(简称新系统). 此时分散式双渠道供应链中零售商和制造商的利润函数分别为 $\bar{\pi}_r = (\bar{p}_r - \bar{w} + \bar{d}\bar{D}_r)\bar{D}_r$ 和 $\bar{\pi}_m = (\bar{w} - \bar{d}\bar{D}_r - c)\bar{D}_r + (\bar{p}_d - c)\bar{D}_d - \theta_1(\bar{D}_r + \bar{D}_d - (D_r^* + D_d^*))^+ - \theta_2((D_r^* + D_d^*) - \bar{D}_r + \bar{D}_d)^+$.

令零售商的利润函数关于 \bar{p}_r 的一阶偏导数等于零, 求得需求扰动后新的数量折扣协调契约下的零售渠道价格

$$\bar{p}_{r,D} = \frac{(1 - 2\beta\bar{d})((1 - \rho)(a + \Delta a) + \gamma\bar{p}_{d,D}) + \beta\bar{w}}{2\beta(1 - \beta\bar{d})} \quad (16)$$

要使新系统达到协调状态, 必有需求发生扰动后分散决策下的零售价格和电子渠道价格等于扰动后一体化决策下的零售价格和电子渠道价格, 即 $\bar{p}_{r,D} = \bar{p}_r^*$ 和 $\bar{p}_{d,D} = \bar{p}_d^*$ 成立, 于是得到定理 3.

定理 3 当需求发生扰动后, 改进的数量折扣契约 (\bar{w}^*, \bar{d}^*) 能协调双渠道供应链系统, 此时参数需满足

$$\bar{w}^* = \begin{cases} w^* + ((1 - \rho)\Delta a + (\beta - \gamma)\theta_2)\bar{d}^* + \frac{\gamma(\gamma + \rho(\beta - \gamma))}{2\beta(\beta^2 - \gamma^2)}\Delta a - (1 - \frac{\gamma}{2\beta})\theta_2, & (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ w^* + (\frac{1}{2} - \rho)\Delta a\bar{d}^* + \frac{2\beta - \gamma}{4\beta(\beta - \gamma)}\Delta a + \frac{\gamma(\gamma + \rho(\beta - \gamma))}{2\beta(\beta^2 - \gamma^2)}\Delta a, & (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ w^* + ((1 - \rho)\Delta a - (\beta - \gamma)\theta_1)\bar{d}^* + \frac{\gamma(\gamma + \rho(\beta - \gamma))}{2\beta(\beta^2 - \gamma^2)}\Delta a + (1 - \frac{\gamma}{2\beta})\theta_1, & (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (17)$$

相应地, 扰动后新的协调契约 (\bar{w}^*, \bar{d}^*) 下零售商的利润为

$$\bar{\pi}_{r,D} = \begin{cases} \frac{(1 - \beta\bar{d}^*)T}{4\beta}, & (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ \frac{(1 - \beta\bar{d}^*)U}{16\beta}, & (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ \frac{(1 - \beta\bar{d}^*)V}{4\beta}, & (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (18)$$

扰动后新的协调契约 (\bar{w}^*, \bar{d}^*) 下制造商的利

润为

$$\bar{\pi}_{m,D} = \begin{cases} \frac{T\bar{d}^*}{4} - \frac{\gamma(a + \Delta a)(c - \theta_2)}{2\beta} - (\frac{a}{2} - (\beta - \gamma)c)\theta_2 + X + Y, & (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ \frac{(1 - \beta\bar{d}^*)U}{16\beta} - \frac{(\beta + \gamma)\Delta a + 2\beta a c}{4\beta} + \frac{(\beta - 3\gamma)\Delta a^2}{16\beta(\beta + \gamma)} + \frac{(1 - \rho)a\Delta a}{4\beta} - \frac{\rho\Delta a^2}{4\beta} + X + Y, & (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ \frac{V\bar{d}^*}{4} - \frac{\gamma(a + \Delta a)(c - \theta_2)}{2\beta} + (\frac{a}{2} - (\beta - \gamma)c)\theta_1 + X + Y, & (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (19)$$

因此新的协调契约 (\bar{w}^*, \bar{d}^*) 下新系统的利润为

$$\bar{\Pi}_D = \bar{\pi}_{m,D} + \bar{\pi}_{r,D} = \begin{cases} B + \frac{\beta - \gamma}{2}(c^2 + \theta_2^2) - \frac{a + \Delta a}{2}c + \frac{\theta_2}{2}\Delta a, & (\Delta a, \rho) \in R_1 \\ B + \frac{\beta - \gamma}{2}c^2 - \frac{a + \Delta a}{2}c - \frac{\Delta a^2}{8(\beta - \gamma)}, & (\Delta a, \rho) \in R_2 \\ B + \frac{\beta - \gamma}{2}(c^2 + \theta_1^2) - \frac{a + \Delta a}{2}c - \frac{\theta_1}{2}\Delta a, & (\Delta a, \rho) \in R_3 \end{cases} \quad (20)$$

由式(15)和式(20)知新的协调契约 (\bar{w}^*, \bar{d}^*) 使需求扰动后的系统达到了协调状态.

由定理 3 可知, 当突发事件发生引起需求变动时, 需求扰动量 Δa 越大, 最大可变批发价格 \bar{w}^* 越高, 进一步可知当需求发生扰动时, 为协调双渠道供应链原数量折扣协调契约仍然可行, 决策者只需调整最大可变批发价格. 由定理 3 还可得如下命题.

命题 1 需求扰动后, 新的数量折扣契约下最优的批发价格 $(\bar{w}^* - \bar{d}^*\bar{D}_r^*)$ 与扰动量 Δa 正相关.

由命题 1 可知, 当突发事件导致需求增加(减少)时, 制造商应提高(降低)批发价格以应对扰动的发生, 从而使扰动后的双渠道供应链系统的利润达到最大. 当 Δa 的变化范围较小时最优批发价格急剧变化, 这是因为当 Δa 变化范围较小时, 最优批发价格的急剧调整可以使原生产计划保持鲁棒性(当 $(\Delta a, \rho) \in R_2$ 时 $\bar{D}_r^* + \bar{D}_d^* = D_r^* + D_d^*$), 从而使新系统的利润最大, 图 5 可将上述情况直观地反映出来.

由图 5 知, $\bar{w}^* - \bar{d}^*\bar{D}_r^*$ 随 \bar{d}^* 的增加而增加, 因

此在需求扰动量一定时制造商可通过调节 \bar{d}^* 来增加或降低批发价格从而任意分配新系统所增加的利润或降低利润减少所给其带来的损失.

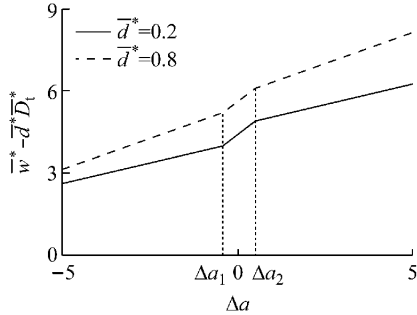


图 5 批发价格随需求扰动量的变化

Fig.5 Wholesale price under demand disruptions

4 数值分析

通过数值试验针对以下 2 种情况对前面得到的

理论结果进行验证,考查当突发事件发生时双渠道供应链的决策及协调机制.假定无突发事件发生(正常情况下)时各最优决策为原策略,突发事件发生导致需求扰动下调整后的最优策略为新策略.

第 1 种情况: $\rho=0.2, a=10, \Delta a \in [-5, 5], c=2, \beta=1, \gamma=0.5, \theta_1=0.5, \theta_2=0.4$. 该组参数表示消费者对电子渠道接受程度较低,电子渠道和传统零售渠道的可替代程度较低,相关结果见表 2,其中 $\bar{\Pi}_D = \bar{\pi}_{r,D} + \bar{\pi}_{m,D}$.

第 2 种情况: $\rho=0.8, a=10, \Delta a \in [-5, 5], c=2, \beta=1, \gamma=0.5, \theta_1=0.5, \theta_2=0.4$. 该组参数表示消费者对电子渠道接受程度较高,电子渠道和传统零售渠道的可替代程度较高,相关结果见表 3.

首先,为保证上述模型有效,应该满足 $\bar{p}_r^* \geq \bar{w}^*, \bar{p}_d^* \geq \bar{w}^*$ (否则会出现零售商从电子渠道购买情况), $\bar{D}_r^* \geq 0, \bar{D}_d^* \geq 0$,通过验证可知上述条件全部满足,即上述模型有效.

表 2 $\rho=0.2$ 时需求扰动下各最优参数和渠道总利润

Tab.2 Optimal parameters and total profit under demand disruptions when $\rho=0.2$

Δa	\bar{D}_r^*	\bar{D}_d^*	$\bar{D}_r^* + \bar{D}_d^*$	\bar{p}_r^*	\bar{p}_d^*	\bar{w}^*	$\bar{\pi}_{r,D}$	$\bar{\pi}_{m,D}$	$\bar{\Pi}_D$	$\tilde{\Pi}$	$\bar{\Pi}_D - \tilde{\Pi}$
4.2	5.06	0.80	5.86	9.77	6.93	$4.72 + 10.11 \bar{d}^*$	$25.60 - 25.60 \bar{d}^*$	$16.70 + 25.60 \bar{d}^*$	42.30	36.22	6.08
0.1	3.52	0.49	4.00	7.11	5.09	$7.03 + 3.60 \bar{d}^*$	$12.40 - 12.40 \bar{d}^*$	$7.10 + 12.40 \bar{d}^*$	19.50	19.41	0.09
-0.1	3.49	0.52	4.00	6.89	4.91	$3.40 + 6.97 \bar{d}^*$	$12.10 - 12.10 \bar{d}^*$	$6.40 + 12.10 \bar{d}^*$	18.50	18.46	0.04
-4.2	1.92	0.18	2.10	4.28	3.12	$2.36 + 3.84 \bar{d}^*$	$3.69 - 3.69 \bar{d}^*$	$0.13 + 3.69 \bar{d}^*$	3.82	-2.00	5.82

表 3 $\rho=0.8$ 时需求扰动下各最优参数和渠道总利润

Tab.3 Optimal parameters and total profit under demand disruptions when $\rho=0.8$

Δa	\bar{D}_r^*	\bar{D}_d^*	$\bar{D}_r^* + \bar{D}_d^*$	\bar{p}_r^*	\bar{p}_d^*	\bar{w}^*	$\bar{\pi}_{r,D}$	$\bar{\pi}_{m,D}$	$\bar{\Pi}_D$	$\tilde{\Pi}$	$\bar{\Pi}_D - \tilde{\Pi}$
4.2	0.80	5.06	5.86	6.93	9.77	$6.14 + 1.59 \bar{d}^*$	$0.63 - 0.63 \bar{d}^*$	$41.60 + 0.63 \bar{d}^*$	42.23	36.22	6.05
0.1	0.48	3.52	4.00	5.09	7.11	$4.60 + 0.97 \bar{d}^*$	$0.24 - 0.24 \bar{d}^*$	$19.20 + 0.24 \bar{d}^*$	19.44	19.41	0.03
-0.1	0.52	3.48	4.00	4.91	6.89	$4.40 + 1.03 \bar{d}^*$	$0.27 - 0.27 \bar{d}^*$	$18.30 + 0.27 \bar{d}^*$	18.57	18.49	0.08
-4.2	0.18	1.92	2.10	3.12	4.28	$2.94 + 0.36 \bar{d}^*$	$0.03 - 0.03 \bar{d}^*$	$3.79 + 0.03 \bar{d}^*$	3.82	-2.00	5.82

正常情况下,没有发生突发事件时 2 个渠道的总需求量 $D_r^* + D_d^*$ 为 4,当需求发生扰动时不同扰动情形下的一体化双渠道供应链的最优决策见表 2 和表 3 第 2~4 列.由表 2 和表 3 可知,当突发事件导致 Δa 较小($\Delta a = \pm 0.1$)时实际总销售量保持不变,这是因为当消费者对电子渠道的接受程度较低(较高)时突发事件的发生导致消费者转向传统渠道(电子直销渠道)购买,从而市场总销量不变($\bar{D}_r^* + \bar{D}_d^* = 4$).当突发事件导致 Δa 增加较多时,与原最优销售计划相比,零售渠道和电子渠道销量都增加(如当 $\rho=0.2$ 时, $\Delta a=4.2, \bar{D}_r^* = 5.06, D_r^* = 3.5, \bar{D}_d^* = 0.8, D_d^* = 0.5, \bar{D}_r^* > D_r^*, \bar{D}_d^* > D_d^*$).当突发事件导

致 Δa 减少较多时,与原最优销售计划相比,零售渠道和电子渠道销量都减少(如当 $\rho=0.2$ 时, $\Delta a = -4.2, \bar{D}_r^* = 1.92, D_r^* = 3.5, \bar{D}_d^* = 0.18, D_d^* = 0.5, \bar{D}_r^* < D_r^*, \bar{D}_d^* < D_d^*$),此部分验证了定理 2 中结论(2).

当突发事件发生时,调整最优决策(采用新策略)与保持原最优决策(采用原最优策略)不变时的利润差异见表 2、表 3 第 10~12 列.从第 12 列可知,当突发事件发生时调整最优决策以应对突发事件可增加双渠道供应链系统的利润,甚至当突发事件发生导致需求严重降低时,双渠道供应链系统出现亏损,通过调整最优决策可使系统扭亏为盈(如当 $\rho=0.2$ 时, $\Delta a = -4.2, \tilde{\Pi} = -2, \bar{\Pi}_D = 3.82, \bar{\Pi}_D - \tilde{\Pi} =$

5.82). 此外,进一步分析可知当需求扰动量 Δa 变化较大时,调整最优决策应对突发事件使双渠道供应链系统的利润增加的也越多(如当 $\rho=0.2$ 时, $\Delta a=4.2$, $\bar{\Pi}_D - \tilde{\Pi}=6.08$, $\Delta a=0.2$, $\bar{\Pi}_D - \tilde{\Pi}=0.14$), 此部分验证了定理 2 中结论(3).

需求发生扰动后,最优契约参数及协调后零售商和制造商的利润见表 2、表 3 第 7~9 列. 从前面的分析可知,当突发事件发生导致需求变化时,决策者如果意识到需求变化采取应对措施相比没有采取应对措施可使双渠道供应链系统的利润呈指数增长. 此时制造商如果能够捕获需求扰动的准确信息,积极采取应对措施,动态调整数量折扣契约中的 \bar{d}^* , 在零售商接受该契约的前提下使自己的利润也呈指数增长. 换句话说,若制造商能准确捕获需求扰动的信息,将更有弹性地分配与零售商之间的利润.

5 结语

研究了由一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链系统(制造商可通过零售商和自有电子直销渠道销售产品给消费者)当突发事件发生时制造商和零售商之间的竞争和协调机制. 先分析了正常情况下的最优决策和数量折扣契约. 当突发事件发生导致需求发生扰动时,通过求解得到一体化双渠道供应链的最优生产和定价决策,并提出改进的数量折扣契约使得扰动后的双渠道供应链系统达到协调状态.

通过对由需求扰动和消费者对电子渠道的接受程度构成的二维平面进行划分,分析了需求扰动和消费者对电子渠道的接受程度在不同取值范围时的最优生产数量调整策略和最优价格调整策略,结果表明当需求扰动量 Δa 变化较小时,原生产计划(或总销售量)具有一定的稳健性,决策者仅需调整零售渠道和电子渠道的价格便可应对突发事件,此时双渠道供应链系统利润随 Δa 指数变化. 当 Δa 变化较大时,决策者需要同时调整最优生产计划和渠道价格以应对突发事件,此时双渠道供应链系统利润随 Δa 线性变化. 当发生突发事件时,由于调整最优策略而使供应链系统利润增加,并且增加的利润随 Δa 指数变化,此时制造商如果能够捕获需求扰动的准确信息,积极地采取应对措施,动态地调整数量折扣契约中的折扣因子 \bar{d}^* , 在零售商接受该契约的前提

下使自己的利润也呈指数增长. 与其他契约相比,本文设计的契约在实际中较易执行.

参考文献:

- [1] Chiang W K, Chhajed D, Hess JD. Direct marketing, indirect profits: A strategic analysis of dual-channel supply-chain design [J]. *Management Science*, 2003, 49(1): 1.
- [2] Cattani K D, Gilland W G, Swaminathan J M. 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.
- [3] Xiong Y, Yan W, Fernandes K, et al. "Bricks vs. Clicks": The impact of manufacturer encroachment with a dealer leasing and selling of durable goods [J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 217(1): 75.
- [4] Arya A, Mittendorf B, Sappington D. E. M. The bright side of supplier encroachment [J]. *Marketing Science*, 2007, 26(5): 651.
- [5] Yoo W S, Lee E. Internet channel entry: A strategic analysis of mixed channel structures [J]. *Marketing Science*, 2011, 30(1): 29.
- [6] Tsay A, Agrawal N. Channel conflict and coordination in the e-commerce age [J]. *Production and Operations Management*, 2004, 13(1): 93.
- [7] Cai G. Channel selection and coordination in dual-channel supply chains [J]. *Journal of Retailing*, 2010, 86(1): 22.
- [8] Mukhopadhyay S K, Zhu X, Yue X. Optimal contract design for mixed channels under information asymmetry [J]. *Production and Operations Management*, 2008, 17(6): 641.
- [9] Chen J, Zhang H, Sun Y. Implementing coordination contracts in a manufacturer Stackelberg dual-channel supply chain [J]. *Omega*, 2012, 40(5): 571.
- [10] Qi X, Bard J F, Yu G. Supply chain coordination with demand disruptions [J]. *Omega*, 2004, 32(4): 301.
- [11] Cao E B, Wan C, Lai M Y. Coordination of a supply chain with one manufacturer and multiple competing retailers under simultaneous demand and cost disruptions [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 141(1): 425.
- [12] Chen K B, Zhuang P. Disruption management for a dominant retailer with constant demand-stimulating service cost [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2011, 61(4): 936.
- [13] Huang C C, Yu G, Wang S. Disruption management for supply chain coordination with exponential demand function [J]. *Acta Mathematica Scientia*, 2006, 26(4): 655.
- [14] Hua G W, Wang S, Cheng T C E. Price and lead time decisions in dual-channel supply chains [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 205(1): 113.