

可变促销努力下的动态供应链收益共享契约

罗新星, 张 鹏

(中南大学商学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 运用委托代理理论, 研究在销售期中销售商促销努力可变情况下的供应链的契约协调问题, 主要考察了收益共享契约的可协调性, 研究表明, 只要双方商定的收益共享契约满足获得多少比例的收益就承担多少比例的促销成本这样的公平特征, 则该契约在整个销售期中, 无论实际面临的销售情况是怎样的, 都能实现供应链协调, 使销售商总保持最优的促销努力水平。

关键词: 供应链协调; 收益共享契约; 促销努力; 委托代理

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2020)01-0120-10

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.01.010

Dynamic supply chain revenue sharing contract under mutable promotion efforts

Luo Xinxing, Zhang Peng

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: According to the principal-agent theory, this paper studies the contract coordination problem of supply chains under the variable sales promotion efforts, and investigates essentially the coordination of the revenue-sharing contract. It is found that when the revenue-sharing contract with the fair features that the proportion of the total profit they get is equal to the proportion of the total promotional costs they bear, then the contract throughout the sales period, no matter what the actual sales situation is, can achieve supply chain coordination, and the seller always maintain the best promotional efforts.

Key words: supply chain coordination; revenue sharing contract; promotion efforts; principal-agent

1 引 言

在激烈的市场竞争环境下, 促销已成为企业改善市场需求的重要途径. 供应链中的成员企业, 其促销行为往往会产生正的外部性, 导致双重边际问题^[1,2]. 因此有必要采用合理的激励手段使成员企业保持最优促销努力水平, 以实现整个供应链的最大利益. 现有的关于促销努力的研究, 大都假定促销努力是在销售期初就确定的常数^[3-10], 这显然是不符合实际情况的, 特别是对于销售商, 其可根据剩余销售期和待售产品数量等情况, 通过弹性的雇佣促销人员和不定期举办促销活动来更精确的实现销售目标以获得最大利润, 在这种情形下, 销售商在整个销售期的促销努力水平是很难在期初精确估计的. 在促销努力可变的情况下, 是否存在动态契约使整个供应链总保持最优的促销努力水平, 并实现供应链协调? 这类契约满足怎样的特征, 对供应链的影响是怎样的? 这就是本文关注的问题.

收稿日期: 2017-05-09; 修订日期: 2017-11-16.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71431006).

为了回答上述问题, 本文构建了在销售商促销努力可变情况下动态的收益共享契约模型. 对以上两个问题都给出了肯定的回答, 研究发现: 当供销双方商定的收益共享契约具有公平特征时, 即, 获得多少比例的收益就承担多少比例的促销成本, 则该契约在整个销售期中, 无论实际面临的销售情况是怎样的, 都能实现供应链协调. 本文之所以选用收益共享契约首先是因为其是一种重要且得到广泛应用的契约, 收益共享契约在影碟租赁^[11]、电子商务^[12]和在线广告^[13]等领域都得到了广泛的应用; 其次受益共享契约具有较强的协调能力, 虽然单纯的收益共享契约相对于回购契约等其他契约并没有表现出过人的协调能力^[10], 但是受益共享契约的变体, 却能在多种情形下实现供应链的协调. 其中常用的一种变体是带有补偿的收益共享契约, 其在制造商的生产过程面临随机产量损失^[14], 生产商规模不经济^[15], 考虑零售商的风险厌恶^[16]或随机产出与需求^[17]的情况下能够实现供应链的协调. 另一种常用的变体是带有成本分摊的收益共享契约, 其在有破产风险和违约成本^[18], 双方合作进行技术投资或创新投资^[19-21], 专利保护下的双渠道闭环供应链^[22]或风险厌恶零售商考虑信息预测成本^[23]的情形下能够实现供应链的协调.

本文与相近的研究^[3-10]的区别和联系如下, 文献[3-5]研究发现通过实施带有成本分摊的收益共享契约, 能够完美实现在销售期中促销努力不可变情形下的供应链的协调, 本文扩展了这一结论, 证明了带有成本分摊的收益共享契约在促销努力可变的情形下, 也能够实现供应链的协调. 本文与文献[6-9]都是采用成本分摊的收益共享契约来实现供应链协调, 但这些文献不仅考虑了促销努力对供应链的影响, 还分别考虑了风险规避, 企业社会责任, 担保期权和包含在线渠道的双渠道对供应链协调的影响, 本文与这些文献不同, 只是扩展了促销努力的研究假设, 在未来的研究中可能会考虑这些因素. 本文与文献[10]的不同之处在于本文的成本分摊收益共享策略需要在促销努力可证实的情况下才能实施, 而该文献研究了在零售商的销售努力不可证实下, 基于收益共享的数量折扣契约能协调风险规避的供应链, 采用同一策略在促销努力可变的情形能否协调供应链, 还有待进一步研究.

本文扩展了传统收益共享契约中促销努力的研究假设, 促销努力不是在销售期期初就要确定, 而且要在整个销售期内保持不变的因素; 而是在销售期中, 可根据实际面临的销售情况, 自由调节的因素. 本文的研究结论具有一定的新颖性, 并且简单易实施, 只要双方商定的收益共享契约满足获得多少比例的收益就承担多少比例的促销成本的特征, 则该契约在整个销售期中, 无论实际面临的销售情况是怎样的, 都能实现供应链协调, 这样的简单契约就有极强的抗突发事件和干扰的能力.

2 问题描述

在销售努力影响需求的市场环境中, 考虑一个供应商 S 和一个销售商 R 组成的两阶供应链. 供应商和销售商都是完全理性, 且风险中性的, 他们都根据期望利润最大化原则进行决策. 市场是公开透明的, 有关市场价格、生产成本、订货成本、需求分布和促销努力水平等信息都是对称的, 供销双方都能获得他们所必要的信息. 不考虑产品的库存成本和缺货损失.

销售商实施促销努力能够增大潜在的市场需求, 设 e 为销售商单位时间促销努力水平, 努力成本为 $g(e)$, 其满足 $g'(e) > 0$, $g''(e) > 0$. 假定市场需求 X 是关于努力因素 e 与随机因素 ξ 的函数, 其中 ξ 与 e 相互独立, 努力因素一般以形为 $d(e) + \xi$ 的加法^[24,25]和形为 $d(e)\xi$ 的乘法^[26]这两种形式来影响需求. 本文假定销售期 t 内产生的市场需求 $X = z(e)t + \xi$, 即满足加法形式, 其中 $z(e)$ 表示单位时间内实施促销努力所增加的市场需求, 其连续非负, 且二阶可微, 满足 $z'(e) > 0$, $z''(e) \leq 0$, 这表示市场需求是关于销售努力的增函数, 但努力的边际效用是递减的. ξ 为独立于 e 的连续随机变量, 其与销售期的长度 t 有关, $f(\cdot | t)$ 和 $F(\cdot | t)$ 分别表示销售期为 t 时 ξ 的概率密度函数和分布函数. X 的概率密度函数和分布函数分别为 $f(x | e, t) = f(x - z(e)t | t)$, $F(x | e, t) = F(x - z(e)t | t)$.

T 表示总销售期. 供应商单位产品的生产成本 c_s , 销售商销售费用 c_r 和单位产品的市场价格 p 都是外生给定的, 且 $c_s + c_r < p$. 供应商给零售商的单位产品批发价格为 w 且 $w < c_s$. 经销的产品符合报童类产品属性, 销售商只有一次订货机会且发生在销售期的期初, 订货量为 Q , 在期末仍有产品剩余时, 剩余产品的单位净值为 v 且 $v < p$. ϕ , φ 分别为在商定的收益共享契约中销售商的收入分享比例和促销成本承担比例, 根据实际

意义可得 $0 < \phi, \varphi < 1$.

在本文的研究中, 假定销售期中销售商的促销努力水平是可变的. 供销双方除了销售期期初商定收益共享契约外, 在销售期中也可根据已发生的情况, 重新商定收益共享契约. 如图1所示, 在期初 a_0 时刻双方商定的收益共享契约为 ϕ_T, φ_T , 此时供应链实现协调, 销售商的最优订购量和最优单位时间促销努力水平分别为 Q^*, e_T^* , 供应商的最优的单位产品批发价格为 w^* . 在期中 a_1 时刻, 此时剩余销售期为 t , 剩余待售产品数量为 q , 因为销售商的促销努力水平是可变的, 所以销售商不必要一直维持 e_T^* 的促销努力水平, 销售商可重新选择促销努力水平以使自己在剩余销售期的利润最大化. 在 a_1 时刻, 双方可重新达成收益共享契约 $\phi_{t,q}, \varphi_{t,q}$, 在此契约下, 实现剩余销售期的供应链协调, 即, 供应商和销售商在剩余销售期的利润总和达到供应链的利润总和, 此时, 销售商的最优单位时间促销努力水平为 $e_{t,q}^*$. 研究的问题是 $\phi_T, \varphi_T, Q^*, e_T^*, w^*$ 及 $\phi_{t,q}, \varphi_{t,q}, e_{t,q}^*$ 满足怎样的条件? ϕ_T, φ_T 与 $\phi_{t,q}, \varphi_{t,q}$ 的关系是怎样的?

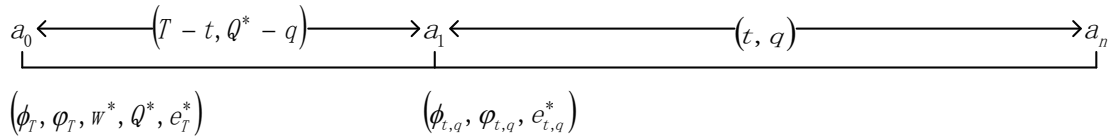


图1 动态收益共享契约

Fig. 1 Dynamic revenue sharing contract

3 供应链协调

3.1 销售期期初的收益共享契约

在销售期期初 a_0 时刻, 供销双方商定供应链协议时, 都是以整个销售期的各自期望利润最大化为目标的. 根据上节假设, 供销双方的决策目标函数及相关变量如下所示.

总销售期内销售商的期望销售量

$$S_T(Q, e_T) = \int_{z(e_T)T}^Q f(x - z(e_T)T | T) dx + Q \int_Q^\infty f(x - z(e_T)T | T) dx. \quad (1)$$

总销售期内销售商的期望销售剩余量

$$I_T(Q, e_T) = Q - S_T(Q, e_T). \quad (2)$$

总销售期内集中决策下供应链的期望总利润

$$\Pi L_T(Q, e_T) = pS_T(Q, e_T) + vI_T(Q, e_T) - (c_s + c_r)Q - g(e_T)T. \quad (3)$$

总销售期内分散决策下零售商的期望利润

$$\Pi R_T(Q, e_T, \phi_T, \varphi_T) = \phi_T pS_T(Q, e_T) + \phi_T vI_T(Q, e_T) - (w + c_r)Q - \varphi_T g(e_T)T. \quad (4)$$

总销售期内分散决策下供应商的期望利润

$$\Pi S_T(w, \phi_T, \varphi_T) = (1 - \phi_T)pS_T(Q, e_T) + (1 - \phi_T)vI_T(Q, e_T) + (w - c_s)Q - (1 - \varphi_T)g(e_T)T. \quad (5)$$

下面来具体分析, 决策变量 $w, Q, e_T, \phi_T, \varphi_T$ 要满足哪些条件才能实现供应链协调.

引理1 集中决策下, 销售商的最优订货量 Q^* 和最优促销努力水平 e_T^* 满足以下条件

$$F(Q^* - z(e_T^*)T | T) = \frac{p - c_s - c_r}{p - v}, \quad (6)$$

$$\frac{g'(e_T^*)}{z'(e_T^*)} = p - c_s - c_r. \quad (7)$$

证明 对式(3)求关于 Q 的一阶和二阶偏导, 得

$$\frac{\partial \Pi_L T(Q, e_T)}{\partial Q} = (p - c_s - c_r) - (p - v) F(Q - z(e_T) T | T), \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_L T(Q, e_T)}{\partial Q^2} = -(p - v) f(Q - z(e_T) T | T). \quad (9)$$

因为 $p > v$, 所以式(9)小于零, 因此式(3)是关于 Q 的严格凹函数, 令 $\frac{\partial \Pi_L T}{\partial Q} = 0$ 可得

$$Q_0 = F^{-1} \left(\frac{p - c_s - c_r}{p - v} | T \right) + z(e_T) T, \quad (10)$$

令 $A = F^{-1} \left(\frac{p - c_s - c_r}{p - v} | T \right)$, 将式(10)代入式(3)得

$$\Pi_L T(Q_0, e_T) = (p - c_s - c_r) (A + z(e_T) T) - (p - v) \int_{z(e_T) T}^{A + z(e_T) T} F(x - z(e_T) T | T) dx - g(e_T) T. \quad (11)$$

令 $u = x - z(e_T) T$, 则式(11)可简化为

$$\Pi_L T(Q_0, e_T) = (p - c_s - c_r) (A + z(e_T) T) - (p - v) \int_0^A F(u | T) du - g(e_T) T. \quad (12)$$

对式(12)求关于 e_T 的一阶和二阶偏导, 得

$$\frac{\partial \Pi_L T(Q_0, e_T)}{\partial e_T} = (p - c_s - c_r) z'(e_T) T - g'(e_T) T, \quad (13)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_L T(Q_0, e_T)}{\partial e_T^2} = (p - c_s - c_r) z''(e_T) T - g''(e_T) T. \quad (14)$$

因为 $p > c_s + c_r$, $z''(e) \leq 0$, $g''(e) > 0$, 所以式(14)小于零. 因此, 令 $\frac{\partial \Pi_L T}{\partial e_T} = 0$ 可得 e_T^* 满足式(7), 将 e_T^* 代入(10), 可得 Q^* 满足式(6). 证毕.

引理 2 分散决策下, 销售商的最优订货量 Q^d 和最优促销努力水平 e_T^d 满足以下条件

$$F(Q^d - z(e_T^d) T | T) = \frac{\phi_T p - w - c_r}{\phi_T (p - v)}, \quad (15)$$

$$\frac{g'(e_T^d)}{z'(e_T^d)} = \frac{\phi_T p - w - c_r}{\phi_T}. \quad (16)$$

证明 对式(4)求关于 Q 的一阶和二阶偏导, 得

$$\frac{\partial \Pi R_T(Q, e_T, \phi_T, \varphi_T)}{\partial Q} = (\phi_T p - w - c_r) - \phi_T (p - v) F(Q - z(e_T) T | T), \quad (17)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi R_T(Q, e_T, \phi_T, \varphi_T)}{\partial Q^2} = -\phi_T (p - v) f(Q - z(e_T) T | T). \quad (18)$$

因为 $p > v$, $\phi > 0$, 所以式(18)小于零. 因此式(4)是关于 Q 的严格凹函数, 令 $\frac{\partial \Pi R_T}{\partial Q} = 0$ 可得

$$Q_0 = F^{-1} \left(\frac{\phi_T p - w - c_r}{\phi_T (p - v)} | T \right) + z(e_T) T, \quad (19)$$

令 $B = F^{-1} \left(\frac{\phi_T p - w - c_r}{\phi_T (p - v)} | T \right)$, 将式(19)代入式(4)得

$$\begin{aligned} \Pi R_T(Q_0, e_T, \phi_T, \varphi_T) = & (\phi_T p - w - c_r)(B + z(e_T)T) - \\ & \phi_T(p - v) \int_0^B F(u | T) du - (1 - \varphi_T)g(e_T)T. \end{aligned} \quad (20)$$

对式(20)求关于 e 的一阶和二阶偏导, 得

$$\frac{\partial \Pi R_T(Q_0, e_T, \phi_T, \varphi_T)}{\partial e_T} = (\phi_T p - w - c_r)z'(e_T)T - \varphi_T g'(e_T)T, \quad (21)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi R_T(Q_0, e_T, \phi_T, \varphi_T)}{\partial e_T^2} = (\phi_T p - w - c_r)z''(e_T)T - \varphi_T g''(e_T)T. \quad (22)$$

$\phi_T p - w - c_r$ 表示的实际意义是销售商出售一件产品所能够获得的收益, 可知其大于零. 又因为 $z''(e) \leq 0, g''(e) > 0, 0 < \varphi < 1$, 所以式(22)小于零. 因此, 令 $\frac{\partial \Pi R_T}{\partial e_T} = 0$ 可得 e_T^d 满足式(16), 将 e_T^d 代入式(19), 可得 Q^d 满足式(15). 证毕.

定理 1 要使供应链实现协调, 销售商的收入分享比例 ϕ_T 和供应商的促销成本承担比例 φ_T 要满足以下条件

$$\phi_T = \varphi_T = \frac{w + c_r}{c_s + c_r}. \quad (23)$$

证明 要使供应链实现协调, 就要使销售商的决策使整个供应链的绩效达到集中控制下整个的最优水平, 即 $e_T^d = e_T^*, Q^d = Q^*$. 因此通过比较式(6)和式(15), 式(7)和式(16), 可得

$$\phi_T = \frac{w + c_r}{c_s + c_r}, \quad (24)$$

$$\varphi_T = \frac{\phi_T p - w - c_r}{p - c_s - c_r}. \quad (25)$$

由式(24)和式(25)可得式(23), 可知 ϕ_T, φ_T 的取值与供应商给零售商的单位产品批发价格为 w 有关. 将式(6), 式(7), 式(23)代入式(4)可得零售商的期望收益

$$\Pi R_T(Q^*, e_T^*, \phi_T, \varphi_T) = \varphi_T \Pi L_T(Q^*, e_T^*). \quad (26)$$

此时供应商的期望收益

$$\Pi S_T(w^*, \phi_T, \varphi_T) = (1 - \varphi_T) \Pi L_T(Q^*, e_T^*), \quad (27)$$

其中最优批发价格 $w^* = (c_s + c_r)\varphi_T - c_r$.

因为 $c_s > w$ 所以 $0 < \varphi_T < 1$, 所以 $0 < \Pi S_T(w^*, \phi_T, \varphi_T), \Pi R_T(Q^*, e_T^*, \phi_T, \varphi_T) < \Pi L_T(Q^*, e_T^*)$. 因此采用式(23)契约参数的生成方式, 能够实现供应链协调. 证毕.

由式(23), 式(26), 式(27)可知, 在供应链实现协调的前提下, w 的取值反映了供销双方对整个供应链收益分享的比例, w 越小供应商分配的收益更大, 销售商分配的收益更小; 反之 w 越大供应商分配的收益更小, 销售商分配的收益更大.

3.2 销售期中的收益共享契约

随着时间的流逝, 假设在销售期中的 a_1 时刻, 剩余的销售期为 t , 待售的产品数量为 q . 在此时刻, 供销双方重新商定收益共享契约时, 将以剩余销售期内的各自期望利润最大化为决策依据, 因为已产生的收入和支出都是常数, 不能再更改. 根据第2节的假设, 双方的决策目标函数及相关变量如下所示.

剩余销售期内销售商的期望销售量

$$S_{t,q}(e_{t,q}) = \int_{z(e_{t,q})t}^q f(x - z(e_{t,q})t | t) x dx + q \int_q^\infty f(x - z(e_{t,q})t | t) dx. \quad (28)$$

剩余销售期内销售商的期望销售剩余量

$$I_{t,q}(e_{t,q}) = q - S_{t,q}(e_{t,q}). \quad (29)$$

剩余销售期内集中决策下供应链的期望总利润

$$\Pi L_{t,q}(e_{t,q}) = pS_{t,q}(e_{t,q}) + vI_{t,q}(e_{t,q}) - g(e_{t,q})t. \quad (30)$$

剩余销售期内分散决策下零售商的期望利润

$$\Pi R_{t,q}(e_{t,q}, \phi_{t,q}, \varphi_{t,q}) = \phi_{t,q}pS_{t,q}(e_{t,q}) + \phi_{t,q}vI_{t,q}(e_{t,q}) - \varphi_{t,q}g(e_{t,q})t. \quad (31)$$

剩余销售期内分散决策下供应商的期望利润

$$\Pi S_{t,q}(\phi_{t,q}, \varphi_{t,q}) = (1 - \phi_{t,q})pS_{t,q}(e_{t,q}) + (1 - \phi_{t,q})vI_{t,q}(e_{t,q}) - (1 - \varphi_{t,q})g(e_{t,q})t. \quad (32)$$

下面来具体分析, 决策变量 $e_{t,q}, \phi_{t,q}, \varphi_{t,q}$ 要满足哪些条件才能实现供应链协调.

引理 3 集中决策下, 剩余销售期内, 销售商的最优促销努力水平 $e_{t,q}^*$ 满足以下条件

$$(p - v)F(q - z(e_{t,q}^*)t | t)z'(e_{t,q}^*) = g'(e_{t,q}^*). \quad (33)$$

证明 对式(30)求关于 $e_{t,q}$ 的一阶和二阶导数, 得

$$\frac{d\Pi L_{t,q}(e_{t,q})}{de_{t,q}} = (p - v)F(q - z(e_{t,q})t | t)z'(e_{t,q})t - g'(e_{t,q}), \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Pi L_{t,q}(e_{t,q})}{de_{t,q}^2} &= (p - v)F(q - z(e_{t,q})t | t)z''(e_{t,q})t - \\ &\quad (p - v)f(q - z(e_{t,q})t | t)[z'(e_{t,q})]^2t^2 - g''(e_{t,q})t. \end{aligned} \quad (35)$$

因为 $p > v, z''(e) \leq 0, g''(e) > 0$, 所以式(35)小于零. 因此, 令 $\frac{d\Pi L_{t,q}}{de_{t,q}} = 0$ 可得 $e_{t,q}^*$ 满足式(33). 证毕.

引理 4 分散决策下, 剩余销售期内, 销售商的最优促销努力水平 $e_{t,q}^d$ 满足以下条件

$$(p - v)F(q - z(e_{t,q}^d)t | t)z'(e_{t,q}^d)t = \frac{\varphi_{t,q}}{\phi_{t,q}}g'(e_{t,q}^d). \quad (36)$$

证明 对式(31)求关于 $e_{t,q}$ 的一阶和二阶偏导, 得

$$\frac{\partial \Pi R_{t,q}(e_{t,q}, \phi_{t,q}, \varphi_{t,q})}{\partial e_{t,q}} = \phi_{t,q}(p - v)F(q - z(e_{t,q})t | t)z'(e_{t,q})t - \varphi_{t,q}g'(e_{t,q})t, \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Pi R_{t,q}(e_{t,q}, \phi_{t,q}, \varphi_{t,q})}{\partial e_{t,q}^2} &= \phi_{t,q}(p - v)F(q - z(e_{t,q})t | t)z''(e_{t,q})t - \\ &\quad \phi_{t,q}(p - v)f(q - z(e_{t,q})t | t)[z'(e_{t,q})]^2t^2 - \varphi_{t,q}g''(e_{t,q})t. \end{aligned} \quad (38)$$

因为 $p > v, z''(e) \leq 0, g''(e) > 0, 0 < \phi_{t,q}, \varphi_{t,q} < 1$, 所以式(38)小于零. 因此, 令 $\frac{\partial \Pi R_{t,q}}{\partial e_{t,q}} = 0$ 可得 $e_{t,q}^*$ 满足式(36). 证毕.

定理 2 要使供应链在剩余销售期内实现协调, 供销双方重新达成的销售商的收入分享比例 $\phi_{t,q}$ 和促销成本承担比例 $\varphi_{t,q}$ 需满足以下条件

$$\phi_{t,q} = \varphi_{t,q}. \quad (39)$$

证明 要使供应链实现协调, 就要剩余销售期内, 使销售商的决策使整个供应链的绩效达到集中控制下整个的最优水平, 即 $e_{t,q}^d = e_{t,q}^*$. 因此通过比较式(33)和式(36), 可得式(39). 将式(39)代入式(32)可得供应商的期望收益

$$\Pi S_{t,q}(\phi_{t,q}, \varphi_{t,q}) = (1 - \varphi_{t,q})\Pi L_{t,q}(e_{t,q}^*), \quad (40)$$

此时零售商的期望收益

$$\Pi R_{t,q}(e_{t,q}^*, \phi_{t,q}, \varphi_{t,q}) = \varphi_{t,q}\Pi L_{t,q}(e_{t,q}^*). \quad (41)$$

因为 $0 < \varphi_{t,q} < 1$, 所以 $0 < \Pi S_{t,q}(\phi_{t,q}, \varphi_{t,q}), \Pi R_{t,q}(e_{t,q}^*, \phi_{t,q}, \varphi_{t,q}) < \Pi L_{t,q}(e_{t,q}^*)$, 所以采用式(39)契约参数的生成方式, 能够实现供应链协调. 证毕.

定理3 在销售商促销努力可变的情况下, 供销双方在销售期期初达成的收益共享契约就能在整个销售期中实现供应链的协调, 而不需要在期中重新调整契约参数.

证明 由定理1和定理2可知, 销售期初和期中使供应链实现协调的收益共享契约分别满足式(23)和式(39), 显然式(23)包含式(39), 即期初最优收益共享契约满足的条件是期中最优收益共享契约满足的条件的充分条件. 证毕.

4 数值分析

假设某服饰生产商 S 和零售商 R 组成两阶段供应链. 夏天快到了, 零售商 R 向生产商 S 订购一批夏装, 订货量为 Q ; 销售期为一季度, 即 $T = 90$ 天; 零售价格 p 在整个销售期中保持不变, 为100元; 销售期结束后商品的残余价值 v 为40元; 供应商的单位生产成本 c_s 为50元, 零售商的单位销售成本 c_r 为10元.

零售商 R 实施促销努力能够改变市场需求, 假定每天每实施1单位的促销, 能够在当天增加两单位的市场需求, 即 $z(e) = 2e$; 促销成本是关于 e 的增函数, 满足关系式 $g(e) = 5e^2$; 在不实施促销努力时, 假定市场需求服从均匀分布 $\xi \sim U(10t, 50t)$, 其中 t 为剩余销售期.

特殊的, 在销售期初确定供应链契约时, 剩余的销售期即为 T , 此时 $\xi \sim U(900, 4500)$. 表1展示了在期初不同的契约参数下均能实现供应链协调, 从表1可以看出, 实现供应链实现协调时, 销售商的最优订货量为4 740, 最优单位时间促销努力程度为8, 取得的供应链的最大利润为112 800, 供应商的最优订货量 w^* 与 ϕ_T 和 φ_T 有关, 其关系满足式(23). 供应商的收益与 ϕ_T, φ_T 成反比, 而销售商的收益正相反, 其关系分别满足式(26)和式(27).

表1 期初实现供应链协调的部分收益共享契约
Table 1 Partial revenue sharing contracts at the beginning of the sales period

ϕ_T	φ_T	w^*	Q^*	e_T^*	ΠL_T	ΠS_T	ΠR_T
0.3	0.3	8.0	4 740	8.0	112 800.0	78 960.0	33 840.0
0.4	0.4	14.0	4 740	8.0	112 800.0	67 680.0	45 120.0
0.5	0.5	20.0	4 740	8.0	112 800.0	56 400.0	56 400.0
0.6	0.6	26.0	4 740	8.0	112 800.0	45 120.0	67 680.0
0.7	0.7	32.0	4 740	8.0	112 800.0	33 840.0	78 960.0

假定供应商选择的批发价格为20, 此时销售商的收入分享比例 ϕ_T 与供应链的总收益 ΠL_T 的关系如图2所示.

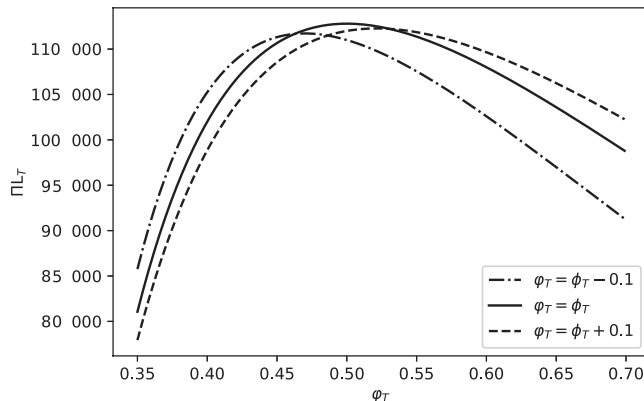


图2 期初 ϕ_T 与 ΠL_T 的关系

Fig. 2 The relationship between the ϕ_T and the ΠL_T

将图2局部放大, 可得图3.

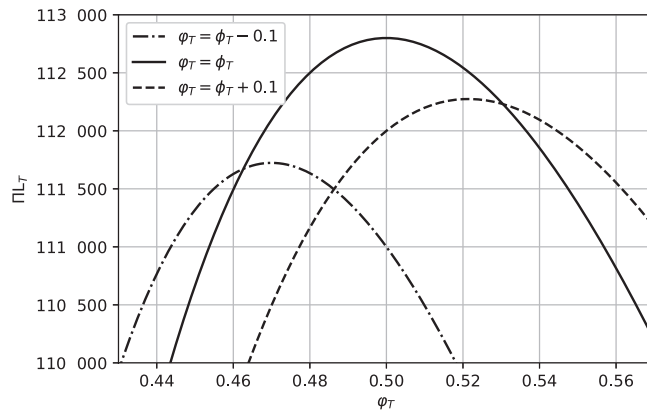


图3 期初 ϕ_T 与 Π_{LT} 的关系(局部)

Fig. 3 The relationship between the ϕ_T and the Π_{LT} (segment)

由图3可知当 $\phi_T = \varphi_T = 0.5$ 时, 供应链总收益最大, 此时实现供应链协调, 这也与表1中的结果相同. 而当 $\phi_T \neq \varphi_T$ 或 $\phi_T = \varphi_T \neq 0.5$ 时, 都不能实现供应链协调. 这表明, 在期初实现供应链协调的收益共享契约 ϕ_T, φ_T , 除了满足 $\phi_T = \varphi_T$ 条件外, 还必须满足 $\phi_T = (w^* + c_r) / (c_s + c_r)$.

随着销售活动的进行, 假设在期中 a_1 时刻, 此时剩余待售产品数量为 $q = 3\,840$, 剩余销售期为 $t = 60$, 易得 $\xi \sim U(600, 3\,000)$. 表2展示了在期中不同的契约参数下均能实现供应链协调, 从表2中可以看出, 实现剩余销售期供应链实现协调时, 销售商的最优单位时间促销努力程度为10.13, 取得的供应链的最大收益为301 987.50. 供应商的收益与 $\phi_{t,q}, \varphi_{t,q}$ 成反比, 而销售商的收益正相反, 其关系分别满足式(40)和式(41).

表2 期中实现剩余销售期供应链协调的部分收益共享契约

Table 2 Partial revenue sharing contracts during the sales period

$\phi_{t,q}$	$\varphi_{t,q}$	$e_{t,q}^*$	$\Pi_{LT,t,q}$	$\Pi_{ST,t,q}$	$\Pi_{RT,t,q}$
0.3	0.3	10.13	301 987.50	211 391.25	90 596.25
0.4	0.4	10.13	301 987.50	181 192.50	120 795.00
0.5	0.5	10.13	301 987.50	150 993.75	150 993.75
0.6	0.6	10.13	301 987.50	120 795.00	181 192.50
0.7	0.7	10.13	301 987.50	90 596.25	211 391.25

销售期期中, 销售商的收入分享比例 $\phi_{t,q}$ 与供应链的总收益 $\Pi_{LT,t,q}$ 的关系如图4所示.

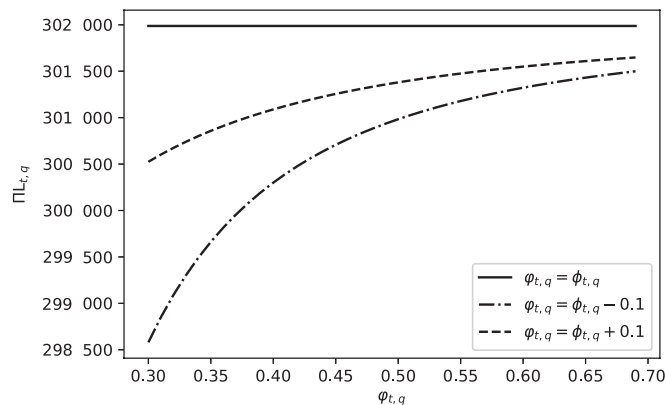


图4 期中 $\phi_{t,q}$ 与 $\Pi_{LT,t,q}$ 的关系

Fig. 4 The relationship between the $\phi_{t,q}$ and the $\Pi_{LT,t,q}$

由图4可知当 $\phi_{t,q} = \varphi_{t,q}$ 时, 供应链总收益最大, 此时实现供应链协调, 这也与表2中的结果相同, 而当 $\phi_{t,q} \neq \varphi_{t,q}$ 时, 不能实现供应链协调. 相比于期初实现供应链协调的条件, 期中实现供应链协调的条件更

为宽松,因此在期初达成的能够使供应链协调的收益共享契约,在整个销售期内都能使供应链协调,不需要在期中变更收益共享契约.

5 结束语

相较于现有的考虑促销努力的供应链协调研究,本文从时间和空间上扩展了关于促销努力的研究假设,促销努力不是在销售期初确定并一成不变的,而是随环境变化的可变因素,更符合实际情况.在此基础上本文构建了可变促销努力下的动态供应链收益共享契约模型,研究发现,当双方商定的收益共享契约具有公平特征时,即,获得多少比例的收益就承担多少比例的促销成本,则该契约在整个销售期中,无论实际面临的销售情况是怎样的,都能实现供应链协调;而且,在销售期期初的使供应链协调的契约也具有公平特征,因此在期初达成的契约,在整个销售期内都能使供应链协调,当双方不需要中途变更剩余销售期内收益分配比例时,就不需要中途修改契约.但本文也有不足之处,研究结论是在风险中性和信息完全等理想条件下得出的,在考虑风险偏好和信息不对称时,是否有同样的结论还有待进一步研究.

参考文献:

- [1] Caliskan-Demirag O, Chen Y, Li J. Customer and retailer rebates under risk aversion. *International Journal of Production Economics*, 2011, 133(2): 736–750.
- [2] SeyedEsfahani M M, Biazaran M, Gharakhani M. A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer-retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 2011, 211(2): 263–273.
- [3] Kunter M. Coordination via cost and revenue sharing in manufacturer-retailer channels. *European Journal of Operational Research*, 2012, 216(2): 477–486.
- [4] 侯玉梅, 田 歆, 马利军, 等. 基于供应商促销与销售努力的供应链协同决策. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(12): 3087–3094.
Hou Y M, Tian X, Ma L J, et al. Coordination and decision of a supply chain with supplier's promotion and sales effort. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2013, 33(12): 3087–3094. (in Chinese)
- [5] Krishnan H, Kapuscinski R, Butz D A. Coordinating contracts for decentralized supply chains with retailer promotional effort. *Management Science*, 2004, 50(1): 48–63.
- [6] 代建生, 孟卫东. 风险规避下具有促销效应的收益共享契约. *管理科学学报*, 2014, 17(5): 25–34.
Dai J S, Meng W D. Revenue sharing contract for a risk-averse supply chain with promotional effect. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(5): 25–34. (in Chinese)
- [7] Ma P, Shang J, Wang H. Enhancing corporate social responsibility: Contract design under information asymmetry. *Omega: International Journal of Management Science*, 2017, 67(4): 19–30.
- [8] 胡本勇, 曲佳莉. 基于双重努力因素的供应链销量担保期权模型. *管理工程学报*, 2015, 29(1): 74–81.
Hu B Y, Qu J L. Supply chain sale-surety-option model based on the double effort factors. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2015, 29(1): 74–81. (in Chinese)
- [9] 陈国鹏, 张旭梅, 肖 剑. 在线渠道折扣促销下的双渠道供应链合作广告协调研究. *管理工程学报*, 2016, 30(4): 203–209.
Chen G P, Zhang X M, Xiao J. Coordination model for cooperative advertising in dual-Channel supply chain when online channel implements discount promotion. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2016, 30(4): 203–209. (in Chinese)
- [10] 代建生. 销售努力下基于CVaR的供应链协调. *系统工程学报*, 2017, 32(2): 252–264.
Dai J S. Supply chain coordination with sales effort based on CVaR. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(2): 252–264. (in Chinese)
- [11] Li S, Zhu Z, Huang L. Supply chain coordination and decision making under consignment contract with revenue sharing. *International Journal of Production Economics*, 2009, 120(1): 88–99.
- [12] 余 牛, 李建斌, 刘志学. 电子商务产品定价与返利策略优化及协调研究. *管理科学学报*, 2016, 19(11): 18–32.
Yu N, Li J B, Liu Z X. Optimization of pricing and rebate strategies and coordination for e-commerce product. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(11): 18–32. (in Chinese)
- [13] Hao L, Guo H, Easley R F. A mobile platform's In-App advertising contract under agency pricing for app sales. *Production and Operations Management*, 2016, 26(2), 189–202.

- [14] Tang S Y, Kouvelis P. Pay-back-revenue-sharing contract in coordinating supply chains with random yield. *Production and Operations Management*, 2014, 23(12): 2089–2102.
- [15] 王先甲, 周亚平, 钱桂生. 生产商规模不经济的双渠道供应链协调策略选择. *管理科学学报*, 2017, 20(1): 17–31.
Wang X J, Zhou Y P, Qian G S. The selection of dual-channel supply chain coordination strategy considering manufacturer's diseconomies of scale. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(1): 17–31. (in Chinese)
- [16] 罗春林, 田 歆. 基于收益共享的风险厌恶供应链协调研究. *系统工程学报*, 2015, 30(2): 210–217.
Lou C L, Tian X. Risk averse supply chain coordination with revenue-sharing contract. *Journal of Systems Engineering*, 2015, 30(2): 210–217. (in Chinese)
- [17] 赵 霞, 吴方卫, 蔡 荣. 随机产出与需求下二级供应链协调合同研究. *管理科学学报*, 2014, 17(8): 34–47.
Zhao X, Wu F W, Cai R. Research on coordination of two-stage supply chain under random yield and random demand with contracts. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(8): 34–47. (in Chinese)
- [18] Kouvelis P, Zhao W. Supply chain contract design under financial constraints and bankruptcy costs. *Management Science*, 2015, 62(8): 2341–2357.
- [19] Zhang J, Liu G, Zhang Q, et al. Coordinating a supply chain for deteriorating items with a revenue sharing and cooperative investment contract. *Omega: International Journal of Management Science*, 2015, 56(4): 37–49.
- [20] 张李浩, 范体军, 杨惠霄. 基于RFID技术的供应链投资决策及协调策略研究. *中国管理科学*, 2015, 23(8): 112–121.
Zhang L H, Fan T J, Yang H X. Decision-making and coordination of supply chain with an investment on RFID technology. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(8): 112–121. (in Chinese)
- [21] Yenipazarli A. To collaborate or not to collaborate: Prompting upstream eco-efficient innovation in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 2017, 260(2): 571–587.
- [22] 郑本荣, 杨 超, 杨 珺. 专利保护下双渠道闭环供应链的定价与协调决策. *系统工程学报*, 2017, 32(1): 103–113.
Zheng B R, Yang C, Yang J. Pricing and coordination strategy of dual-channel closed-loop supply chain under patent protection. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(1): 103–113. (in Chinese)
- [23] 肖 群, 马士华. 风险厌恶零售商考虑信息预测成本的协调机制. *管理科学学报*, 2016, 19(11): 45–53.
Xiao Q, Ma S H. The compartment model and simulation for the industrial system of circulatory economy. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(11): 45–53. (in Chinese)
- [24] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations. *Management Science*, 2005, 51(1): 30–44.
- [25] 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.
- [26] Wang Y, Jiang L, Shen Z J. Channel performance under consignment contract with revenue sharing. *Management Science*, 2004, 50(1): 34–47.

作者简介:

罗新星 (1956—), 男, 湖南新化人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 供应链管理, 管理信息系统, Email: star@mail.csu.edu.cn;

张 鹏 (1991—), 男, 山西运城人, 硕士生, 研究方向: 供应链管理, 区块链, Email: zhangpeng32@foxmail.com.