

文章编号: 1001-0920(2011)01-0145-04

考虑生产能力约束和销售成本递增情形下的供应链协调

陈菊红, 郭福利, 苏菊宁

(西安理工大学 经济与管理学院, 西安 710054)

摘要: 制造商的生产能力受到限制时, 单位产品生产成本会随产量的提高而增加; 订货量增加时, 零售商会尽力实现自己的销售目标, 销售成本会增加, 此情形下收益共享契约无法实现供应链的完美协调. 鉴于此, 通过对契约模型修订, 研究发现单位产品生产成本增加时, 制造商会提高批发价格, 但会主动替零售商承担一部分递增的销售成本, 且承担比例与其分享零售商销售收益份额成正比, 此时可实现供应链的完美协调. 数值分析验证了所得结论.

关键词: 生产成本; 销售成本; 收益共享契约; 供应链

中图分类号: F274

文献标识码: A

Supply chain coordination with production capacity restriction and sale cost increasing

CHEN Ju-hong, GUO Fu-li, SU Ju-ning

(School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China. Correspondent: GUO Fu-li, E-mail: gzh371@sohu.com)

Abstract: When the manufacturer's production capacity is limited, the unit production cost will increase with the increasing outputs. And with the increasing of order quantities, the retailer will do his best to meet sales targets, so the sale cost will increase. Under these conditions, the revenue sharing contract can not coordinate supply chain perfectly. Therefore, the contact model is modified, it is found that the manufacturer will increase the wholesale price with the unit product manufacturing cost increasing, but it will shares with the retailer the sale cost initiatively, and the relationship between the sharing ratio and the proportion of the retailer's revenue is positive correlation. Under this circumstance, the supply chain can be coordinated perfectly. Finally, a numerical example verifies the conclusions.

Key words: production cost; sale cost; revenue sharing contract; supply chain

1 引言

契约是一种有效的供应链协调手段. 文献[1]研究得出收益共享契约可以实现供应链的协调, 制造商、零售商以及整个供应链的收益均会提高. [2]在考虑缺货成本的前提下验证了收益共享契约能够实现改进供应链整体运作绩效的作用, 并探讨了收益共享契约参数变化对供应链成员绩效的影响. [3]分析了突发事件对供应链的影响, 研究得出收益共享契约可以协调需要依赖于价格的供应链系统. 此外, 回购契约^[4]、价格折扣契约^[5]、批量折扣契约^[6]、数量折扣契约^[7]及其组合^[8]同样可以实现对供应链的协调.

上述文献几乎均假设制造商、零售商、两者的单位(生产、销售)成本或边际成本为常数, 这意味着有无限的生产能力, 即有无限可用的生产资源. 事实上,

任何一个节点企业的资源都是有限的. 文献[9]对考虑资源约束情形的供应链协调进行了研究. [10]探讨了需求和生产成本同时发生扰动时的供应链协调问题, 并建立了相应的协调机制. 同时, 零售商为了销售更多数量的商品, 需要提高其销售努力水平, 由此会产生更多的销售成本. [11-13]对考虑零售商成本变化时的供应链协调问题进行了研究. 由此可见, 单位产品生产成本和销售成本的变化情况已成为影响供应链协调的重要因素之一, 并且受到了关注. 鉴于此, 本文综合考虑单位产品生产成本和销售成本递增, 建立了基于收益共享契约的协调模型, 研究此情形下的供应链协调问题.

2 问题描述

以一个制造商和一个零售商组成的两阶供应链

收稿日期: 2009-11-04; 修回日期: 2010-01-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70602017); 陕西省高校重点学科建设项目(107-00X902).

作者简介: 陈菊红(1964-), 女, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理等研究; 郭福利(1981-), 男, 博士, 从事物流与供应链管理的研究.

为研究对象, 制造商和零售商均是独立的决策者, 其中制造商是主导者, 零售商是追随者, 两者之间的信息完全公开. 制造商给定一套契约参数, 零售商据此确定其最优订购量. 假设市场需求 D 是一个随机变量, 其分布函数 $F(x) (0 \leq x < +\infty)$ 可微且严格递增, $F(0) = 0, \bar{F}(x) = 1 - F(x)$. 制造商的生产成本为 $c_1Q + e_1Q^2 (0 < e_1 < 1)$, 其中 Q 为制造商实际生产的数量^[14]. 零售商的销售成本为 $c_2Q + e_2Q^2 (0 < e_2 < 1)$. 制造商按照零售商的订单生产, 即制造商的生产数量等于零售商的订购数量, 此处 Q 指零售商的订购量. 制造商向零售商提供的批发价格为 w , 商品的市场价格 p 不变, ϕ 为契约参数. 假设零售商占其销售收入的份额为 ϕ , 则制造商获得的份额为 $(1 - \phi)$. 制造商和零售商均是风险中性和完全理性的, 且根据期望利润最大化原则进行决策. 为了突出重点, 在该模型中不考虑销售过程中出现的缺货损失 (事实上, 考虑缺货损失只会使模型结构复杂, 并不改变问题的本质)^[15], 假设销售季节末商品的残值为零. 零售商的期望销售量用 $S(Q)$ 表示, 有 $S(Q) = \int_0^Q \bar{F}(x)dx$.

3 模型建立与分析

3.1 确定性模型

由文献 [1-2] 可知, 当单位产品生产成本和销售成本均为固定值时, 满足

$$w = \phi(c_1 + c_2) - c_2,$$

$$E\Pi_d^{R*} / E\Pi_{sc}^* \leq \phi \leq 1 - E\Pi_d^{S*} / E\Pi_{sc}^*.$$

收益共享契约可以实现供应链的完美协调^[16]. 其中: $E\Pi_d^{R*}$ 和 $E\Pi_d^{S*}$ 分别为分散状态下零售商和制造商的最优期望收益, $E\Pi_{sc}^*$ 为集中控制状态下供应系统链的最优期望收益, Q_d^* 和 Q_{sc}^* 分别为分散状态下零售商的最优订购量和集中控制下供应链系统的最优生产量.

3.2 单位产品生产成本和销售成本同时递增情形下的协调模型

3.2.1 分散状态

分散状态下, 当批发价格 w_2 (为了区分确定性模型中的批发价格 w_1) 给定时, 零售商的最优订购量 Q'_d 满足

$$p - w_2 - c_2 = pF(Q'_d) + 2e_2Q'_d.$$

当给出随机变量 x 所服从的具体分布函数时, 可以求出 Q'_d 的表达式, 则零售商的最优期望收益为

$$E\Pi_d^{R'} = p \int_0^{Q'_d} \bar{F}(x)dx - w_2Q'_d - c_2Q'_d - e_2Q'^2_d. \quad (1)$$

制造商的最优期望收益为

$$E\Pi_d^{S'} = w_2Q'_d - c_1Q'_d - e_1Q'^2_d. \quad (2)$$

3.2.2 集中控制状态

集中控制状态下整个供应链的最优期望生产量 Q'_{sc} 满足

$$p - c_1 - c_2 = pF(Q'_{sc}) + 2e_1Q'_{sc} + 2e_2Q'^2_{sc}.$$

则整个供应链系统的最优期望收益为

$$E\Pi_{sc}' = p \int_0^{Q'_{sc}} \bar{F}(x)dx - c_1Q'_{sc} - e_1Q'^2_{sc} - c_2Q'_{sc} - e_2Q'^2_{sc}. \quad (3)$$

3.2.3 收益共享契约状态

收益共享契约状态下, 制造商以一个较低的批发价格 $w (w < c_1 + e_1Q)$ 向零售商供货, 同时在销售季节末, 零售商将其销售收入份额的 $(1 - \phi)$ 返还给制造商. 此时零售商的最优订购量 Q'_r 满足

$$\phi p - w - c_2 = \phi pF(Q'_r) + 2e_2Q'^2_r.$$

则零售商的最优期望收益为

$$E\Pi_r^{R'} = \phi p \int_0^{Q'_r} \bar{F}(x)dx - wQ'_r - c_2Q'_r - e_2Q'^2_r. \quad (4)$$

制造商的最优期望收益为

$$E\Pi_r^{S'} = (1 - \phi) \int_0^{Q'_r} \bar{F}(x)dx + (w - c_1)Q'_r - e_1Q'^2_r. \quad (5)$$

由于 $\phi < 1$, 有 $\partial E\Pi_r^{R'} / \partial Q < \partial E\Pi_{sc} / \partial Q$, 集中控制状态下整个供应链的最优生产量 Q'_{sc} 不可能是收益共享契约下零售商的最优订购量 Q'_r . 由此可见, 在这种情形下, 收益共享契约无法实现供应链的完美协调. 正如文献 [1] 所指出, 考虑零售商努力水平 (销售成本递增) 时收益共享契约无法实现供应链的协调.

3.3 模型修订

上述情形下, 制造商会提高批发价格, 零售商的单位进货成本和销售成本均会随之增加, 进而造成零售商所面临的市场增加, 导致收益共享契约无法实现供应链的完美协调. 为了起到更好的协调作用, 制造商应替零售商分担一部分市场风险, 本文假设制造商替零售商分担一部分销售成本, 且分担比例与其分享零售商收益的比例成正比. 此时, 收益共享契约状态下零售商的最优期望收益为

$$E\Pi_{rt}^{R'} = \phi p \int_0^Q \bar{F}(x)dx - wQ - \phi c_2Q - \phi e_2Q^2. \quad (6)$$

零售商的最优订购量 Q'_{rt} 满足

$$\phi p - w - \phi c_2 = \phi pF(Q'_{rt}) + 2\phi e_2Q'^2_{rt}. \quad (7)$$

则零售商的最优期望收益为

$$E\Pi_r^{R''} = \phi p \int_0^{Q'_{rt}} \bar{F}(x)dx - wQ'_{rt} - \phi e_2Q'^2_{rt} - \phi c_2Q'_{rt}. \quad (8)$$

制造商的最优期望收益为

$$E\Pi_r^{S''} =$$

$$(1-\phi)p\int_0^{Q'_{rt}}\bar{F}(x)dx+wQ'_{rt}-(1-\phi)c_2Q'_{rt}-e_2Q'_{rt}{}^2-c_1Q'_{rt}-e_1Q'_{rt}{}^2. \quad (9)$$

同理,若确保收益共享契约实现对供应链的协调,则需满足 $E\Pi_r^{S''}+E\Pi_r^{R''}=E\Pi'_{sc}$. 转化为 $Q'_{rt}=Q'_{sc}$,并由此得出 $w=\phi(c_1+2e_1Q)$.

可以看出,当制造商替零售商分担一部分销售成本时,批发价格不再受零售商销售成本的影响,而且当契约参数 ϕ 一定时,随着制造商生产数量的增加,批发价格会相应提高.将 $w=\phi(c_1+2e_1Q)$ 代入式(7)和(8),有

$$E\Pi_r^{R''}=\phi p\int_0^{Q'_{sc}}\bar{F}(x)dx-\phi c_1Q'_{sc}-2\phi e_1Q'_{sc}{}^2-\phi c_2Q'_{sc}-\phi e_2Q'_{sc}{}^2, \quad (10)$$

$$E\Pi_r^{S''}=(1-\phi)p\int_0^{Q'_{sc}}\bar{F}(x)dx-(1-\phi)c_1Q'_{sc}+2\phi e_1Q'_{sc}{}^2-(1-\phi)(c_2Q'_{sc}+e_2Q'_{sc}{}^2)-e_1Q'_{sc}{}^2. \quad (11)$$

同理,在此状态下,为了保证制造商和零售商都能接受收益共享契约,需要做到两者的收益均能实现pareto改进,并使如下2个不等式同时成立:

$$E\Pi_r^{R''}\geq E\Pi_d^{R''}, E\Pi_r^{S''}\geq E\Pi_d^{S'}. \quad (12)$$

将式(9)和(10)代入(11)可得

$$E\Pi_d^{R'}/E\Pi'_{sc}\leq\phi\leq 1-E\Pi_d^{S'}/E\Pi'_{sc}.$$

只有保证契约参数 ϕ 的取值在上述范围之内,供应链参与双方才会接受该契约,契约参数 ϕ 的值取决于制造商和零售商相互的地位和谈判能力.

4 算例分析

通过一个数值例子来表明上述研究结论.假设随机变量 $x\sim U(a,b)$,可得单位产品生产成本和销售成本递增时,分散状态下零售商的最优订购量为

$$Q'_d=\frac{(b-a)(p-w_2-c_2)+ap}{p+2e_2(b-a)}.$$

集中控制状态下整个供应链的最优生产量为

$$Q'_{sc}=\frac{(b-a)(p-c_1-c_2)+ap}{p+2e_1(b-a)+2e_2(b-a)}.$$

收益共享契约状态下零售商的最优订购量为

$$Q'_r=\frac{(b-a)(\phi p-w_2-c_2)+\phi ap}{\phi p+2e_2(b-a)}.$$

模型修订后,收益共享契约状态下零售商的最优订购量为

$$Q'_{rt}=\frac{(b-a)(\phi p-w_2-\phi c_2)+\phi ap}{\phi p+2\phi e_2(b-a)}.$$

取 $a=200, b=1000, c_1=8, e_1=0.002, c_2=1, e_2=0.001$,销售价格 $p=20$,确定性状态下制造商的批发价格 $w_1=14$,单位产品生产成本递增时的批发价格 $w_2=16$.

4.1 确定性模型

分散状态下零售商的最优订购量 $Q'_d=400$,零售商的最优期望收益 $E\Pi_d^{R^*}=2000$,制造商的最优期望收益 $E\Pi_d^{S^*}=2400$.集中控制状态下整个供应链的最优期望生产量为 $Q'_{sc}=640$,供应链的最优期望收益 $E\Pi'_{sc}=5120$.契约参数 ϕ 的取值范围为 $0.4<\phi<0.53$,在上述取值范围内,供应链参与双方均会接受该契约.其中当 $\phi=0.45$ 时,批发价格 $w=3.05$,零售商期望收益 $E\Pi_r^{R^*}=2304$,制造商的期望收益 $E\Pi_r^{S^*}=2816$.可见,在允许的取值范围内,制造商、零售商以及整个供应链的收益均有一定程度的提高,收益共享契约实现了供应链参与双方的pareto改进.

4.2 单位产品生产成本和销售成本同时递增协调模型

分散状态下零售商的最优订购量 $Q'_d=296$,零售商的最优期望收益 $E\Pi_d^{R'}=1181$,制造商的最优期望收益 $E\Pi_d^{S'}=2193$.集中控制状态下供应链的最优期望生产量 $Q'_{sc}=516$,供应链系统的最优期望收益 $E\Pi'_{sc}=4137$.契约参数 ϕ 的取值范围为 $0.29<\phi<0.47$,在该取值范围内,供应链参与双方均会接受该契约.其中当 $\phi=0.45$ 时,批发价格 $w=4.06$,零售商的期望收益 $E\Pi_r^{R'}=1862$,制造商的期望收益 $E\Pi_r^{S'}=2275$.同理,收益共享契约实现了供应链参与双方收益的pareto改进.

此外,由上述两个模型的对比分析可知,与确定性状态相比,当单位产品生产成本和销售成本递增时,无论分散还是收益共享契约状态,制造商均会提高批发价格.零售商考虑到单位进货成本和销售成本的递增会减少订购量,从而造成制造商、零售商以及整个供应链的收益降低.

5 结论

本文针对由一个制造商和一个零售商组成的两阶供应链,且制造商为Stackleberg博弈主导者时,单位产品生产成本和销售成本同时递增的情形进行了分析.建立了基于收益共享契约的协调模型,得出收益共享契约无法实现供应链的完美协调;然后对模型进行了修订,使制造商在提高批发价格的同时,替零售商分担一部分销售成本,分担比例与其分享零售商的销售收益份额成正比关系.在此基础上,收益共享契约实现了供应链的完美协调,并给出了供应链的协调策略,以使得供应链在达到最大收益的情况下,制造商和零售商的收益均实现pareto改进.同时研究发现,当单位产品生产成本和销售成本同时递增时,与确定性状态相比,制造商、零售商和整个供应链的收益均有一定程度的下降.

参考文献(References)

- [1] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contract: Strengths and limitations[J]. *Management Science*, 2005, 15(1): 30-44.
- [2] 邱若臻, 黄小原. 供应链收入共享契约协调的随机期望值模型[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(4): 30-34.
(Qiu R Z, Huang X Y. The random expected value model of revenue-sharing contract coordination in supply chain[J]. *Chinese J of Management Science*, 2006, 14(4): 30-34.)
- [3] 于辉, 陈剑. 需求依赖于价格的供应链应对突发事件[J]. *系统工程理论与实践*, 2007, 27(3): 36-41.
(Yu H, Chen J. Response to the disruption of supply chain with price-depended demand[J]. *Systems Engineering — Theory and Practice*, 2007, 27(3): 36-41.)
- [4] 叶飞, 李怡娜. 基于 Stackelberg 模型与 NASH 协商模型的供应链回购契约机制研究[J]. *管理工程学报*, 2007, 21(3): 39-43.
(Ye F, Li Y N. Research on buy-back contract mechanism of supply chain based on stackelberg model and nash negotiation model[J]. *J of Industrial Engineering/Engineering Management*, 2007, 21(3): 39-43.)
- [5] 胡劲松, 王虹. 三级供应链应对突发事件的价格折扣契约研究[J]. *中国管理科学*, 2007, 15(3): 103-107.
(Hu J S, Wang H. The price discount contract analysis of three-level supply chain under disruption[J]. *Chinese J of Management Science*, 2007, 15(3): 103-107.)
- [6] 周永务. 随机需求下两层供应链协调的一个批量折扣模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(7): 25-31.
(Zhou Y W. A quantity discount model for two-echelon supply chain coordination under stochastic demand[J]. *Systems Engineering — Theory and Practice*, 2006, 26(7): 25-31.)
- [7] Li J L, Liu L W. Supply chain coordination with quantity discount policy[J]. *Int J of Production Economics*, 2006, 101(1): 89-98.
- [8] 刘斌, 陈剑, 刘思峰. 一类短生命周期产品供应链的联合契约[J]. *系统工程*, 2005, 23(3): 55-62.
(Liu B, Chen J, Liu S F. The combined contract of supply chain for a short-life-cycle product[J]. *Systems Engineering*, 2005, 23(3): 55-62.)
- [9] 戴道明, 程刚, 杨善林. 考虑资源约束和变质期的订货批量与定价的联合决策[J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(1): 81-88.
(Dai D M, Cheng G, Yang S L. Joint optimal dynamic pricing and capacitated lot sizing problem with perishable inventory[J]. *Systems Engineering — Theory and Practice*, 2009, 29(1): 81-88.)
- [10] 雷东, 高成修, 李建斌. 需求和生产成本同时发生扰动时的供应链协调[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(9): 51-59.
(Lei D, Gao C X, Li J B. Supply chain coordination with demand and production cost disruption[J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 2006, 26(9): 51-59.)
- [11] Taylor T A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effect[J]. *Management Science*, 2002, 48(48): 992-1007.
- [12] 曲道刚, 郭亚军. 分销商需求与其努力相关时混合渠道供应链协调研究[J]. *中国管理科学*, 2008, 16(3): 89-94.
(Qu D G, Guo Y J. Coordination of supply chain with hybrid distribution channels when retailer's demand relies on its sales effort[J]. *Chinese J of Management Science*, 2008, 16(3): 89-94.)
- [13] 徐最, 朱道立, 朱文贵. 销售努力水平影响需求情况下的供应链回购契约[J]. *系统工程理论与实践*, 2008, 4(4): 1-11.
(Xu Z, Zhu D L, Zhu W G. Supply chain coordination under buy-back contract with sales effort effects[J]. *Systems Engineering — Theory and Practice*, 2008, 4(4): 1-11.)
- [14] Varian H. *Microeconomics analysis*[M]. Norton, 1984.
- [15] 索寒生, 金以慧. 两阶段供需链企业间的博弈分析[J]. *计算机集成制造系统*, 2003, 9(7): 546-550.
(Suo H S, Jin Y H. Research on game in two-stage supply chain enterprises[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2003, 9(7): 546-550.)
- [16] Li S J, Hua Z S. A note on channel performance under consignment contract with revenue sharing[J]. *European J of Operational Research*, 2008, 184(2): 793-796.
- [13] Zhou Y, Chen X, Wang Z. Optimal ordering quantities for multi-products with stochastic demand: Return-CVaR model[J]. *Int J of Production Economics*, 2008, 112(2): 782-795.
- [14] Rockafellar R T, Uryasev S. Optimization of conditional value-at-risk[J]. *J of Risk*, 2000, 2(3): 21-42.
- [15] Rockafellar R T, Uryasev S. Conditional value-at-risk for general loss distribution[J]. *J of Banking and Finance*, 2002, 26(7): 1443-1471.

(上接第144页)