

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2016.04.012

考虑价格竞争及风险规避的闭环供应链协调机制研究

邹浩, 刘纯霞

(湖南财政经济学院 工商管理系, 湖南 长沙 410205)

摘要: 以1个供应商和2个价格竞争零售商组成的闭环供应链为研究对象, 并考虑供应商和零售商双向风险规避特性, 研究了闭环供应链的协调机制问题。通过对分散决策模型和集中决策模型的分析, 构建了收益共享契约协调模型。最后, 通过算例仿真分析了批发价格、销售价格、回收价格与风险规避系数的关系, 并验证了模型的科学性和合理性。

关键词: 价格竞争; 风险规避; 闭环供应链; 收益共享契约; 仿真分析

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2016)04-0060-07

On Coordination Mechanisms Governing the Closed-Loop Supply Chain in View of Price Competition and Risk Aversion Factors

ZOU Hao, LIU Chunxia

(Department of Business Administration, Hunan University of Finance and Economics, Changsha 410205, China)

Abstract: A study has been carried out on the coordination mechanisms governing the closed-loop supply chain, with one supplier and two competitive retailers subjects under investigation, and a bidirectional risk aversion involved in the process taken into account. A coordination model of revenue sharing contract has been established on the basis of the analysis of characteristics of decentralized decision-making model and centralized decision-making model. Thus, the feasibility and rationality of the model have been verified by analyzing with numerical simulations the inter-relationship between the wholesale price, sales price, recycling price and the coefficient of risk aversion.

Keywords: price competition; risk aversion; closed-loop supply chain; revenue sharing contract; simulation analysis

1 背景知识

闭环供应链主要指在产品正向销售过程中, 同时考虑逆向的废旧品回收再造过程, 由此而形成的一个闭环回路系统^[1]。它通过废旧品的回收再造, 扩大了其销售市场, 提高了利润空间, 也实现了绿色环保的理念, 现在已经成为大部分企业提升竞争力的一种方式。

近年来已有不少学者从闭环供应链结构设计、协调机制、回收渠道等方面进行了深入研究。R. C. Savaskan等^[2]基于第三方回收、制造商回收、销售商回收3种回收渠道, 研究了闭环供应链决策过程, 并进行了比较分析; 徐兵等^[3]考虑需求和回收确定情形下, 基于博弈论和均衡理论研究了闭环供应链为分散式、集中式、分散与集中结合式3种模式下

收稿日期: 2016-03-14

基金项目: 湖南省社会科学基金资助项目(15YBA062), 湖南省高校科学研究基金资助项目(15C0238), 湖南财政经济学院青年教师科研基金资助项目(Q201411)

作者简介: 邹浩(1986-), 男, 湖南望城人, 湖南财政经济学院讲师, 硕士, 主要研究方向为物流与供应链管理,

E-mail: 290336567@qq.com

的决策过程;吴忠和等^[4]基于市场随机需求和零售商销售成本信息不对称情形,研究了闭环供应链回购契约应对突发事件的策略过程;林欣怡等^[5]考虑两生命周期下零售商的竞争过程,研究了闭环供应链的定价与协调策略,结论表明,零售商竞争将导致销售价格下降,销售量上涨;曹晓刚等^[6]考虑随机市场需求情形,研究了2个零售商竞争下的闭环供应链定价与协调过程,并通过收入费用共享契约实现供应链的协调;王玉燕^[7]探讨了市场需求和成本同时扰动下,闭环供应链的协调策略和生产策略,并设计了新的数量折扣契约实现闭环供应链的协调。

以上关于闭环供应链的研究,都是基于风险中性的情形。而在现实生活中,参与者为了降低自身风险,在决策过程中往往具有风险偏好特性。M. Fisher等^[8]研究了服装销售过程中,决策者为了降低风险而降低实际订购量的行为;郭福利等^[9]考虑1个风险规避的零售商和1个风险中性的供应商,研究了收益共享契约对供应链的协调过程,结论表明,收益共享契约能够实现供应链的协调,并且契约参数受风险规避系数影响;肖复东等^[10]研究了零售商具有需求风险规避度时,闭环供应链不同回收渠道下的决策过程,结论表明,零售商风险规避度将影响闭环供应链的最优决策;叶飞等^[11]研究了零售商与供应商同时具有风险规避特性下的供应链激励协作问题,并设计了收益共享契约来协调供应链;史成东等^[12]采用 loss-averse 函数描述零售商的风险规避特性,研究了在政府补贴情形下的闭环供应链决策过程,并设计了收益共享契约对决策模型进行协调;高攀等^[13]基于再制造成本不确定情形,研究了制造商风险规避特性下闭环供应链的差别定价协调问题,并设计了收益共享-风险共担契约对供应链进行协调;高鹏等^[14]研究了风险规避制造和风险中性经销商构成的闭环供应链协调决策过程,重点分析了风险规避度对零售价格、回收价格及效用函数的影响。

以上关于风险规避特性的研究,都没有涉及零售商价格竞争的情形。因此,针对以上问题,本文考虑由1个供应商和2个价格竞争零售商构成的闭环供应链,并且假设供应商和零售商都具有风险规避特性,基于传统的闭环供应链协调理论,构建了相应的供应链收益共享契约协调模型,并通过算例对模型结果进行了分析。

2 符号说明及基本假设

考虑由1个供应商和2个竞争零售商组成的闭环

供应链,其中 $D_i(i=1, 2)$ 为零售商产品销售量; $Q_i(i=1, 2)$ 为零售商废旧品回收量; $p_i(i=1, 2)$ 为2个零售商的单位产品销售价格; $c_1=c_2=c_r$ 为2个零售商单位产品边际销售成本; $c_{r1}=c_{r2}=c_{r,z}$ 为2个零售商废旧产品回收单位成本; w_m 为供应商给2个零售商的单位产品批发价格; c_m 为供应商单位产品生产成成本; $c_{m,z}$ 为供应商通过废旧品回收再造的单位生产成本; $p_{ri}(i=1, 2)$ 为2个零售商废旧产品的单位回收价格; p_m 为供应商给2个零售商的单位回收价格,且满足 $p_{ri}<p_m<c_m-c_{m,z}$; $U(\pi_m)$, $U(\pi_{ri})$, $U(\pi)$ 分别表示制造商、零售商和供应链整体的效用函数; d, c, o 分别表示分散决策、集中决策和收益共享契约决策情形。

为研究方便,给定如下基本假设。

假设1 供应商和2个零售商作为理性的经济人,各自以利益最大化原则进行决策,同时供应商和2个零售商都具有风险规避性。

假设2 2个零售商销售过程具有非独立性,表现为 Cournot 竞争^[15],零售商 i 的产品市场销售量为 $D_i=a-\beta p_i+\gamma p_{3-i}(i=1, 2)$,其中 a 为产品销售市场的随机总容量, a 服从均值为 \bar{a} 、标准差为 δ_a 的正态分布, β 为销售价格 p_i 的敏感系数, γ 为2个零售商之间销售价格竞争替代系数,且满足 $\beta>\gamma>0$ 。

假设3 2个零售商废旧产品回收过程具有非独立性,表现为 Cournot 竞争^[15],零售商 i 的废旧产品回收量为 $Q_i=b+hp_{ri}+\lambda p_{r(3-i)}(i=1, 2)$,其中 b 为废旧品随机总容量, b 服从均值为 \bar{b} 、标准差为 δ_b 的正态分布; h 为回收价格 p_{ri} 的敏感系数; λ 为2个零售商之间回收价格竞争替代系数,且满足 $h>\lambda>0$ 。

假设4 供应商风险规避因子为 η_m ,2个零售商风险规避因子为 η_r ,都采用均值-方差的方法^[16]来衡量其期望效用,则效用函数可以表示为

$$U(\pi) = E(\pi) - \eta \sqrt{\text{Var}(\pi)}。$$

3 分散无协调决策过程

在分散式无协调决策过程中,供应商和2个零售商遵循 Stackelberg 博弈过程,即供应商首先确定最优单位产品批发价格 w_m 和废旧品单位回收价格 p_m ,接着2个零售商确定自身的产品单位销售价格 p_i 和废旧品单位回收价格 p_{ri} 。此时供应商和零售商的效用函数可以分别表示为:

$$U(\pi_m^d) = \sum_{i=1}^2 \left\{ (w_m - c_m) \bar{D}_i + (c_m - c_{m,z} - p_m) \bar{Q}_i - \eta_m \left[(w_m - c_m)^2 \delta_a^2 + (c_m - c_{m,z} - p_m)^2 \delta_b^2 \right] \right\}; \quad (1)$$

$$U(\pi_{ri}^d) = (p_i - w_m - c_i)\bar{D}_i + (p_m - p_{ri} - c_{ri})\bar{Q}_i - \eta_r \left[(p_i - w_m - c_i)^2 \delta_a^2 + (p_m - p_{ri} - c_{ri})^2 \delta_b^2 \right]. \quad (2)$$

由逆向推导法则, 零售商先确定最优产品销售价格 p_i 和废旧品回收价格 p_{ri} , 接着供应商确定最优产品批发价格 w_m 和废旧品回收价格 p_m 。因此根据一阶可导最优的原则有

$$\frac{\partial U(\pi_{ri}^d)}{\partial p_i} = 0, \quad \frac{\partial U(\pi_{ri}^d)}{\partial p_{ri}} = 0,$$

从而可以得到分散无协调决策时零售商确定的最优销售价格 p_i^d 和回收价格 p_{ri}^d 表达式分别为:

$$p_i^d = \frac{\bar{a} + (\beta + 2\eta_r \delta_a^2)(w_m + c_r)}{2\beta - \gamma + 2\eta_r \delta_a^2}, \quad i=1,2; \quad (3)$$

$$p_{ri}^d = \frac{(p_m - c_{ri})(h + 2\eta_r \delta_b^2) - \bar{b}}{2h - \lambda + 2\eta_r \delta_b^2}, \quad i=1,2. \quad (4)$$

再将 p_i^d 和 p_{ri}^d 代入到供应商的效用函数 $U(\pi_m^d)$, 并令 $\frac{\partial U(\pi_m^d)}{\partial w_m} = 0, \frac{\partial U(\pi_m^d)}{\partial p_m} = 0$, 从而可以得到分散无协调决策时供应商确定的最优产品批发价格 w_m^d 和回收价格 p_m^d , 其表达式分别为:

$$w_m^d = \left[\bar{a}(\beta + 2\eta_r \delta_a^2) + (c_m - c_r)(\beta - \gamma)(\beta + 2\eta_r \delta_a^2) + 2c_m \eta_m \delta_a^2 (2\beta - \gamma + 2\eta_r \delta_a^2) \right] \cdot \left[2(\beta - \gamma)(\beta + 2\eta_r \delta_a^2) + 2\eta_m \delta_a^2 (2\beta - \gamma + 2\eta_r \delta_a^2) \right]^{-1}; \quad (5)$$

$$p_m^d = \left[-\bar{b} \times (h + 2\eta_r \delta_b^2) + (c_m - c_{m,z} + c_{r,z})(h - \lambda)(h + 2\eta_r \delta_b^2) + 2(c_m - c_{m,z}) \times \eta_m \delta_b^2 (2h - \lambda + 2\eta_r \delta_b^2) \right] \cdot \left[2(h - \lambda)(h + 2\eta_r \delta_b^2) + 2\eta_m \delta_b^2 (2h - \lambda + 2\eta_r \delta_b^2) \right]^{-1}. \quad (6)$$

将 w_m^d 和 p_m^d 代入式 (3) (4), 即可求得零售商确定的最优销售价格 p_i^d 和回收价格 p_{ri}^d 。进而分散决策无协调决策下, 供应商、零售商以及供应链整体的效用函数值可以分别表示为:

$$U(\pi_m^d) = \sum_{i=1}^2 \left\{ (w_m^d - c_m)\bar{D}_i + (c_m - c_{m,z} - p_m^d)\bar{Q}_i - \eta_m \left[(w_m^d - c_m)^2 \delta_a^2 + (c_m - c_{m,z} - p_m^d)^2 \delta_b^2 \right] \right\}; \quad (7)$$

$$U(\pi_m^d) = (p_i^d - w_m^d - c_i)\bar{D}_i + (p_m^d - p_{ri}^d - c_{ri})\bar{Q}_i - \eta_r \left[(p_i^d - w_m^d - c_i)^2 \delta_a^2 + (p_m^d - p_{ri}^d - c_{ri})^2 \delta_b^2 \right]; \quad (8)$$

$$U(\pi^d) = U(\pi_m^d) + \sum_{i=1}^2 U(\pi_{ri}^d). \quad (9)$$

4 集中控制决策过程

在集中控制决策过程中, 供应商和 2 个零售商作

为一个整体共同面对销售市场和废旧品回收市场。在综合考虑风险和收益的基础上, 系统选择合适的批发价格 w_m^d 、销售价格 p_i^c 、回收价格 p_m^c 和 p_{ri}^c , 以期实现整条供应链的效用函数最大。此时, 供应链整体的效用函数可以表示为

$$U(\pi^c) = \sum_{i=1}^2 \left\{ (p_i - c_m - c_i)\bar{D}_i + (c_m - c_{m,z} - c_{ri} - p_{ri})\bar{Q}_i - \eta_r (p_i - w_m - c_i)^2 \delta_a^2 - \eta_r (p_m - p_{ri} - c_{ri})^2 \delta_b^2 - \eta_m \left[(w_m - c_m)^2 \delta_a^2 + (c_m - c_{m,z} - p_m)^2 \delta_b^2 \right] \right\}. \quad (10)$$

根据一阶可导最优的必要条件, 可得到

$$\frac{\partial U(\pi^c)}{\partial p_i} = 0, \quad \frac{\partial U(\pi^c)}{\partial p_{ri}} = 0, \quad \text{从而可求得集中决策下零售商确定的最优销售价格 } p_i^c \text{ 和回收价格 } p_{ri}^c, \text{ 其表达式分别为:}$$

$$p_i^c = \frac{\bar{a} + (\beta - \gamma)(c_m + c_r) + 2\eta_r \delta_a^2 (w_m + c_r)}{2\beta - 2\gamma + 2\eta_r \delta_a^2} \quad (i=1,2); \quad (11)$$

$$p_{ri}^c = \frac{(h - \lambda)(c_m - c_{m,z} - c_{r,z}) + 2\eta_r \delta_b^2 (p_m - c_{r,z}) - \bar{b}}{2h - 2\lambda + 2\eta_r \delta_b^2} \quad (i=1,2). \quad (12)$$

将 p_i^c 和 p_{ri}^c 代入供应链整体的效用函数 $U(\pi^c)$, 并

令 $\frac{\partial U(\pi^c)}{\partial w_m} = 0, \frac{\partial U(\pi^c)}{\partial p_m} = 0$, 从而可求得在集中决策下供应商确定的最优批发价格 w_m^d 和回收价格 p_m^c , 其表达式分别为:

$$w_m^c = \left[\eta_r \delta_a^2 (\bar{a} + (\beta - \gamma)(c_m - c_r))(\beta - \gamma + \eta_r \delta_a^2) + 2\eta_m \delta_a^2 \cdot c_m (\beta - \gamma + \eta_r \delta_a^2) \right] \cdot \left[2\eta_r \delta_a^2 (\beta - \gamma)(\beta - \gamma + \eta_r \delta_a^2) + 2\eta_m \delta_a^2 (\beta - \gamma + \eta_r \delta_a^2)^2 \right]^{-1}; \quad (13)$$

$$p_m^c = \left[\eta_r \delta_b^2 ((h - \lambda)(c_m - c_{m,z} + c_{r,z}) - \bar{b})(h - \lambda + \eta_r \delta_b^2) + 2\eta_m \delta_b^2 (c_m - c_{m,z})(h - \lambda + \eta_r \delta_b^2) \right] \cdot \left[2\eta_r \delta_b^2 (h - \lambda)(h - \lambda + \eta_r \delta_b^2) + 2\eta_m \delta_b^2 (h - \lambda + \eta_r \delta_b^2)^2 \right]^{-1}. \quad (14)$$

将 w_m^d 和 p_m^c 代入式 (11) (12), 即可求得零售商确定的最优销售价格 p_i^c 和 p_{ri}^c 回收价格。在集中控制决策时, 供应链整体的效用函数值可以表示为

$$U(\pi^c) = \sum_{i=1}^2 \left\{ (p_i^c - c_m - c_i)\bar{D}_i + (c_m - c_{m,z} - c_{ri} - p_{ri}^c)\bar{Q}_i - \eta_r (p_i^c - w_m^c - c_i)^2 \delta_a^2 - \eta_r (p_m^c - p_{ri}^c - c_{ri})^2 \delta_b^2 - \eta_m \left[(w_m^c - c_m)^2 \delta_a^2 + (c_m - c_{m,z} - p_m^c)^2 \delta_b^2 \right] \right\}. \quad (15)$$

5 收益共享契约协调过程

收益共享契约一般是指供应商向零售商提供一个合适的批发价格,零售商则将一定比例的销售收入支付给供应商,以此实现各成员风险共担、利润共享的目的。而在闭环供应链中,零售商的收益包括产品销售收入和废旧品回收收入两部分,因此闭环供应链时的收益共享契约协调机制为:供应商向零售商提供一个合适的批发价格 w_m 和回收价格 p_m ,零售商则将销售收益和回收收益按照一定比例 $1-s$ 支付给供应商。此时供应商和零售商的效用函数可以分别表示为:

$$U(\pi_m^o) = \sum_{i=1}^2 \{ [(1-s)p_i + w_m - c_m] \bar{D}_i + \frac{1}{2} [(1-s)p_m + c_m - c_{m,z} - p_m] \bar{Q}_i - \eta_m [(1-s)p_i + w_m - c_m]^2 \delta_a^2 - \eta_m (c_m - c_{m,z} - sp_m)^2 \delta_b^2 \}; \quad (16)$$

$$U(\pi_{ri}^o) = (sp_i - w_m - c_i) \bar{D}_i + (sp_m - p_{ri} - c_{ri}) \bar{Q}_i - \eta_r [(sp_i - w_m - c_i)^2 \delta_a^2 + (sp_m - p_{ri} - c_{ri})^2 \delta_b^2]; \quad (17)$$

同理,根据优化的一阶必要条件,令零售商关于销售价格和回收价格的偏导数 $\frac{\partial U(\pi_{ri}^o)}{\partial p_i} = 0, \frac{\partial U(\pi_{ri}^o)}{\partial p_{ri}} = 0,$

从而可求得收益共享契约决策下,零售商确定的最优销售价格 p_i^o 和最优废旧品回收价格 p_{ri}^o 的表达式分别为:

$$p_i^o = \frac{s\bar{a} + (\beta + 2s\eta_r \delta_a^2)(w_m + c_r)}{2s\beta - s\gamma + 2s^2\eta_r \delta_a^2} \quad (i=1, 2); \quad (18)$$

$$p_{ri}^o = \frac{(sp_m - c_{ri})(h + 2\eta_r \delta_b^2) - \bar{b}}{2h - \lambda + 2\eta_r \delta_b^2} \quad (i=1, 2)。 \quad (19)$$

如果该收益共享契约能够实现闭环供应链的协调,则零售商应该满足契约决策下的最优销售价格和最优废旧品回收价格与集中控制决策情形一致,即: $p_i^o = p_i^c, p_{ri}^o = p_{ri}^c$ 。从而在收益共享契约形式下,供应商确定的最优批发价格 w_m^o 和回收价格 p_m^o 可以分别表示为:

$$w_m^o = \left[(s\bar{a} + 2s\eta_r \delta_a^2 c_r) ((2-2s)\eta_r \delta_a^2 - \gamma) + \beta c_r (2\beta - 2\gamma + 2\eta_r \delta_a^2) - (\beta - \gamma)(c_m + c_r)(2s\beta - s\gamma + 2s^2\eta_r \delta_a^2) \right] \left[2s\eta_r \delta_a^2 ((2s-2)\eta_r \delta_a^2 + \gamma) - \beta(2\beta - 2\gamma + 2\eta_r \delta_a^2) \right]^{-1}; \quad (20)$$

$$p_m^o = \left[((h-\lambda)(c_m - c_{m,z}) + \lambda c_{r,z})(2h - \lambda + 2\eta_r \delta_b^2) - \lambda(b + 2\eta_r \delta_b^2 c_{r,z} + c_{r,z}h) \right] \cdot \left[s(h + 2\eta_r \delta_b^2)(2h - 2\lambda + 2\eta_r \delta_b^2) - 2\eta_r \delta_b^2(2h - \lambda + 2\eta_r \delta_b^2) \right]^{-1}。 \quad (20)$$

将 w_m^o 和 p_m^o 代入式 (18) (19), 即可求得零售商确定的最优销售价格和回收价格。进而在收益共享契约决策时, 供应商、零售商和供应链整体的效用函数值可以分别表示为:

$$U(\pi_m^o) = \sum_{i=1}^2 \{ [(1-s)p_i^o + w_m^o - c_m] \bar{D}_i + [(1-s)p_m^o + c_m - c_{m,z} - p_m^o] \bar{Q}_i - \eta_m [(1-s)p_i^o + w_m^o - c_m]^2 \delta_a^2 - \eta_m (c_m - c_{m,z} - sp_m^o)^2 \delta_b^2 \}; \quad (22)$$

$$U(\pi_{ri}^o) = (sp_i^o - w_m^o - c_i) \bar{D}_i + (sp_m^o - p_{ri}^o - c_{ri}) \bar{Q}_i - \eta_r [(sp_i^o - w_m^o - c_i)^2 \delta_a^2 + (sp_m^o - p_{ri}^o - c_{ri})^2 \delta_b^2]; \quad (23)$$

$$U(\pi^o) = U(\pi_m^o) + \sum_{i=1}^2 U(\pi_{ri}^o)。 \quad (24)$$

同时在实施收益共享契约之后,也应该保证供应商以及2个零售商的效用函数至少不低于分散决策过程情形。因此, 供应商与零售商进行契约合作时还必须满足以下条件:

$$U(\pi_m^o) \geq U(\pi_m^d), U(\pi_{ri}^o) \geq U(\pi_{ri}^d)。 \quad (25)$$

将具体参数值代入式 (25), 即可求出供应商与零售商之间收益共享契约比例系数 s 。

6 算例分析

假设某闭环供应链由1个供应商和2个零售商构成, 供应商和零售商都具有风险规避性, 同时在产品销售和回收过程中, 2个零售商都具有价格竞争, 2个节点之间缔结了如上所述的收益共享协调契约。其它具体参数值为: $c_m=25, c_{m,z}=10, c_1=c_2=c_r=5, c_{r1}=c_{r2}=c_{r,z}=2, \beta=12, \gamma=7, h=15, \lambda=10, a$ 服从均值为 $\bar{a}=800$ 、标准差为 $\delta_a=5$ 的正态分布, b 服从均值为 $\bar{b}=50$ 、标准差为 $\delta_b=2$ 的正态分布。

将上述参数代入式 (5) (6) (13) (14), 即可得到分散无协调决策和集中控制决策下供应商确定的批发价格和回收价格同风险规避系数 η_m 和 η_r 的关系, 如图 1~4 所示。

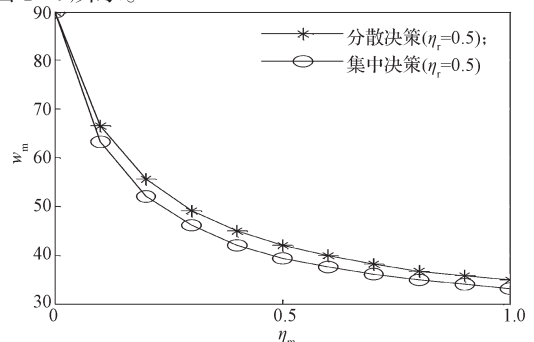


图1 η_r 固定下 w_m 与 η_m 的关系图

Fig. 1 The diagrams of w_m and η_m under η_r fixed

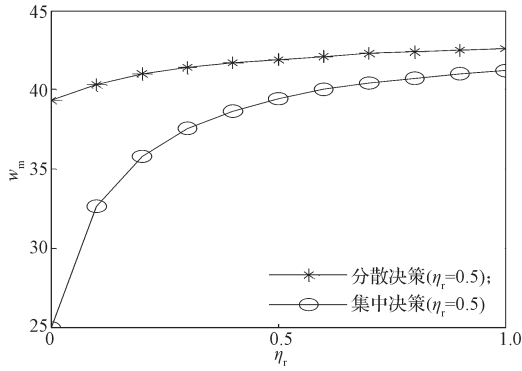


图2 η_r 固定下 w_m 与 η_r 的关系图

Fig. 2 The diagrams of w_m and η_r under η_m fixed

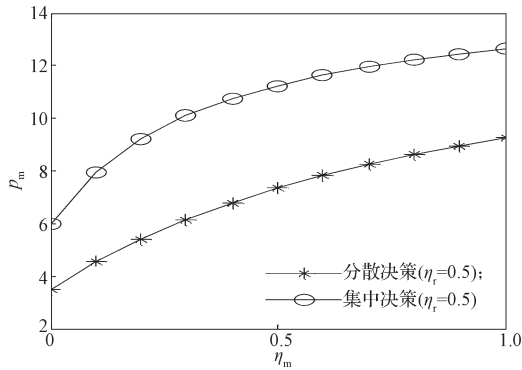


图3 η_r 固定下 p_m 与 η_m 的关系图

Fig. 3 The diagrams of p_m and η_m under η_r fixed

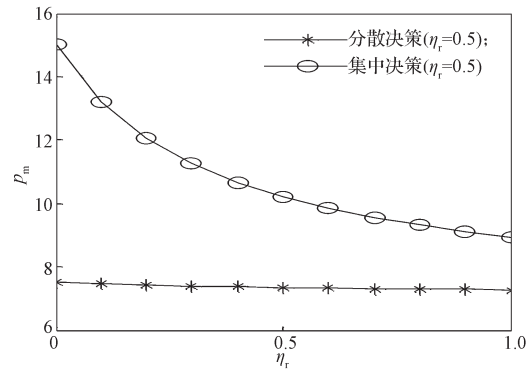


图4 η_m 固定下 p_m 与 η_r 的关系图

Fig. 4 The diagrams of p_m and η_r under η_m fixed

由图1~2可知,分散无协调决策下的批发价格 w_m 基本高于集中控制决策情形;同时批发价格 w_m 随零售商风险规避系数 η_r 增加而增加,随供应商风险规避系数 η_m 增加而减少。这可以理解为,当供应商风险规避系数较高时,为了减少风险供应商采取降低批发价格的策略。由图3~4可知,集中控制决策下的回收价格 p_m 完全高于分散无协调决策情形;同时回收价格 p_m 随零售商风险规避系数 η_r 增加而减少,随供应商风险规避系数 η_m 增加而增加,这可以理解为当供应商风险规避系数较高时,为了保证收益供应商采取提高回收价格的策略。

将上述参数代入式(3)(4)(11)(12),即可得

到分散无协调决策和集中控制决策下零售商确定的产品销售价格和回收价格同风险规避系数 η_m 和 η_r 的关系,如5~8所示。

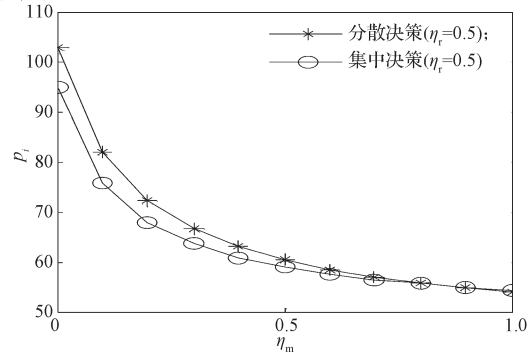


图5 η_r 固定下 p_i 与 η_m 的关系图

Fig. 5 The diagrams of p_i and η_m under η_r fixed

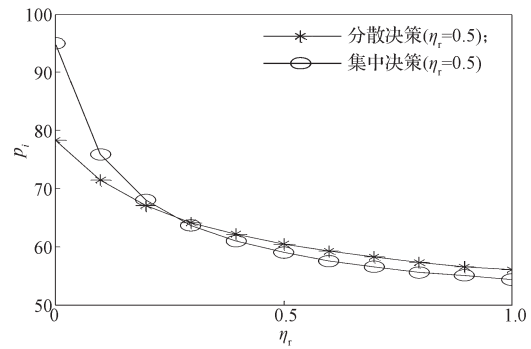


图6 η_m 固定下 p_i 与 η_r 的关系图

Fig. 6 The diagrams of p_i and η_r under η_m fixed

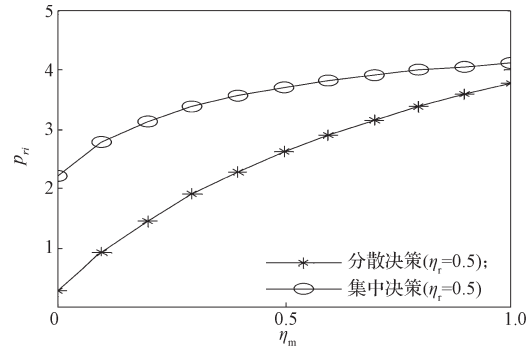


图7 η_r 固定下 p_{ri} 与 η_m 的关系图

Fig. 7 The diagrams of p_{ri} and η_m under η_r fixed

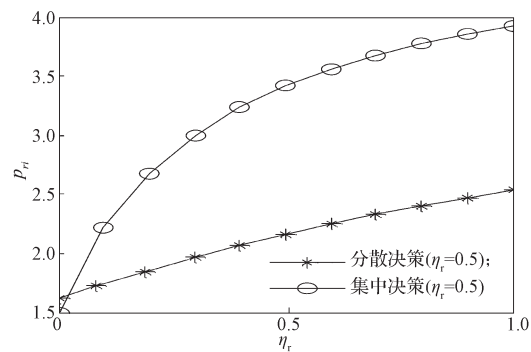


图8 η_m 固定下 p_{ri} 与 η_r 的关系图

Fig. 8 The diagrams of p_{ri} and η_r under η_m fixed

由图 5~6 可知,当零售商风险规避系数 η_r 固定时,销售价格 p_i 在分散无协调决策下基本高于集中控制决策情形;而当供应商风险规避系数 η_m 固定时,随着零售商风险规避系数 η_r 的增加,分散决策下的销售价格 p_i 也高于集中决策情形;同时销售价格 p_i 都随零售商风险规避系数 η_r 和供应商风险规避系数 η_m 增加而减少,这可以理解为当供应链整体风险规避系数较高时,为了减少风险零售商采取降低销售价格的策略。由图 7~8 可知,分散无协调决策下的回收价格 p_{ri} 基本低于集中控制决策情形;同时回收价格 p_{ri} 都随零售商风险规避系数 η_r 和供应商风险规避系数 η_m 增加而增加,这可以理解为当供应链整体风险规避系数较高时,为了增加整条链的收益零售商采

取提高回收价格的策略。

考虑收益共享契约协调情形,取 $\eta_r=0.6, \eta_m=0.4$,将其代入式(25),则可求得收益分配系数的取值范围:

$$0.0627 \leq s \leq 0.2551. \quad (26)$$

收益分配系数 s 的具体取值取决于供应商和零售商之间的博弈能力,一般是通过谈判并考虑各自对整条供应链的贡献来决定。收益分配系数只要满足式(26),零售商和供应商的收益都将高于分散无协调决策情形下的收益。为简便起见,表 1 列出了不同决策过程中,供应商与零售商的收益分配方案值及对比情况。

表 1 不同决策过程中供应链成员利润分配对比情况表

Table 1 A contrast table of profit distribution between supply chain members in different decision-making processes

决策过程	D_i	Q_i	$2\pi_r$	π_m	π	s	η_r	η_m
分散式	491	59	7 690.396	12 406.323	20 096.719		0.6	0.4
集中式	502	67			20 402.406		0.6	0.4
收益共	502	67	7 746.130	12 656.276	20 402.406	0.10	0.6	0.4
享契约	502	67	7 940.254	12 462.152	20 402.406	0.25	0.6	0.4

从表 1 可以看出,在分散无协调决策过程中,零售商价格竞争及双边风险规避的闭环供应链都无法实现协调,其利润小于集中控制决策情形。而通过合理的设置收益分配系数,采用收益共享契约进行协调时,不仅激励零售商扩大了产品订购量和废旧品回收量,也使各方利润得到优化,并实现供应链的协调。

7 结语

基于零售商价格竞争情形,同时考虑供应商和零售商风险规避特性,研究了二级闭环供应链协调机制问题。通过对分散无协调决策模型和集中控制决策模型的分析,构建了具有风险规避特性和价格竞争的收益共享契约协调模型,并对模型的求解过程进行了分析,探讨了收益分配系数在供应链成员之间的分配过程,最后通过算例,对批发价格、销售价格、回收价格与风险规避系数的关系进行了仿真分析。研究结论表明,零售商价格竞争且双边风险规避特性下,收益共享契约能够实现闭环供应链的协调。本文没有考虑公平偏好、非对称信息、顾客策略等特性,这些都将成为进一步研究方向。

参考文献:

[1] GUIDE J V D, JAYARAMAN B V, LINTON C J D.

Building Contingency Planning for Closed Loop Supply Chains with Product Recovery[J]. Journal of Operations Management, 2003, 21(3): 259-279.

[2] SAVASKAN R C, BHATTACHARYA S, WASSERMAN L N V. Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing[J]. Management Science Journal of the Institute for Operations Research & the Management Sciences, 2004, 50(2): 239-252.

[3] 徐兵, 杨金梅. 需求和回收确定下闭环供应链的竞争与链内协调研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(2): 48-55.

XU Bing, YANG Jinmei. Research on the Competition of Closed-Loop Supply Chains and Coordinative Contract Design Within Supply Chain Under Determinant Functions of Product Demand and Used Product Supply[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(2): 48-55.

[4] 吴忠和, 陈宏, 赵千. 非对称信息下闭环供应链回购契约应对突发事件策略研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(6): 97-106.

WU Zhonghe, CHEN Hong, ZHAO Qian. Closed-Loop Supply Chain Coordination Under Asymmetric Information and Disruptions with Buy Back Contract[J]. Chinese Journal of Management Science, 2013, 21(6): 97-106.

[5] 林欣怡, 黄永, 达庆利, 等. 两周期零售商竞争下的闭环供应链的定价和协调策略研究[J]. 运筹与管理, 2013, 22(2): 27-33.

LIN Xinyi, HUANG Yong, DA Qingli, et al. Research of Pricing and Coordinating Policies on Closed-Loop Supply Chain with Competing Retailers in Two Periods[J].

- Operations Research and Management Science, 2013, 22(2): 27-33.
- [6] 曹晓刚, 闻 卉. 随机需求下考虑零售商竞争的闭环供应链定价与协调[J]. 运筹与管理, 2015, 24(1): 34-39.
CAO Xiaogang, WEN Hui. Pricing and Coordination of Closed-Loop Supply Chain Considering Competition Between Retailers Under Stochastic Demand[J]. Operations Research and Management Science, 2015, 24(1): 34-39.
- [7] 王玉燕. 需求与成本双扰动时闭环供应链的生产策略和协调策略[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(5): 1149-1157.
WANG Yuyan. Adjusted Production Strategy and Coordination Strategy in Closed-Loop Supply Chain when Demand and Cost Disruptions[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(5): 1149-1157.
- [8] FISHER M, RAMAN A. Reducing the Cost of Demand Uncertainty Through Accurate Response to Early Sales[J]. Operations Research, 1996, 44(1): 87-99.
- [9] 郭福利, 陈菊红. 零售商具有风险规避的供应链收益共享契约设计[J]. 工业工程, 2010, 13(2): 6-10.
GUO Fuli, CHEN Juhong. On Supply Chain Revenue Sharing Contract Design with Risk-Aversion Retailer[J]. Industrial Engineering Journal, 2010, 13(2): 6-10.
- [10] 肖复东, 聂佳佳, 赵冬梅. 考虑零售商风险规避的闭环供应链回收策略研究[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(5): 60-67.
XIAO Fudong, NIE Jiajia, ZHAO Dongmei. Research on Collecting Strategies in the Closed-Loop Supply Chain with Risk Aversion Retailer[J]. Industrial Engineering and Management, 2011, 16(5): 60-67.
- [11] 叶 飞, 林 强. 风险规避型供应链的收益共享机制研究[J]. 管理工程学报, 2012, 26(1): 113-118.
YE Fei, LIN Qiang. Revenue Sharing Contract Mechanisms of Risk-Averse Supply Chains[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2012, 26(1): 113-118.
- [12] 史成东, 闫厚强, 闫秀霞, 等. Loss-Averse 测度下考虑政府补贴的双第三方回收再制造闭环供应链[J]. 中国管理科学, 2015, 23(7): 152-158.
SHI Chengdong, YAN Houqiang, YAN Xiuxia, et al. Closed Loop Supply Chain with Product Remanufacturing by Double Third Party Reclaim Under Government Subsidy, Loss-Averse Measure and Cournot Portray[J]. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23(7): 152-158.
- [13] 高 攀, 王 旭, 景 熠. 考虑风险规避的闭环供应链差别定价协调模型[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(5): 1427-1431.
GAO Pan, WANG Xu, JING Yi. Coordination and Differential Price of Closed-Loop Supply Chain with Risk Aversion[J]. Application Research of Computers, 2013, 30(5): 1427-1431.
- [14] 高 鹏, 聂佳佳, 谢忠秋. 制造商风险规避下闭环供应链专利授权经营策略[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(3): 680-688.
GAO Peng, NIE Jiajia, XIE Zhongqiu. Patent Authorization Strategy of Closed-Loop Supply Chain Under Manufacturer Risk Aversion[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(3): 680-688.
- [15] YAO Z, LEUNG S C H, LAI K K. Manufacturer's Revenue-Sharing Contract and Retail Competition[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 186: 637-651.
- [16] LAU H S, LAU H L. Manufacturer's Pricing Strategy and Return Policy for a Single-Period Commodity[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 116(2): 291-304.

(责任编辑: 申 剑)