

考虑质量控制和损失规避的供应链协调研究

王道平, 赵超[†], 程延平

(北京科技大学 东凌经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 研究质量控制和各成员均损失规避背景下的供应链协调问题,应用损失规避效应函数刻画制造商和零售商的损失规避行为,通过分析比较分散决策和集中决策两种模式下的最优策略,引入批发价格-质量成本分担契约构建供应链协调模型,研究表明,该契约能够使质量控制与损失规避背景下的供应链实现协调. 通过算例对损失规避程度、产品合格率和销售价格等参数进行灵敏度分析,揭示了损失规避和质量控制等因素与最优产品质量水平、最优订货量以及供应链效用之间的关系.

关键词: 质量控制; 损失规避; 批发价格-质量成本分担契约; 供应链协调

中图分类号: F270

文献标志码: A

Coordination of supply chain considering quality control and loss aversion

WANG Dao-ping, ZHAO Chao[†], CHENG Yan-ping

(Dolinks School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper considers the supply chain coordination problem based on quality control and loss aversion. The behavior of loss-averse manufacturers and loss-averse retailers is portrayed by the loss-averse utility. Then, the optimal strategies of the manufacturer and retailer are analyzed at the decentralized supply chain and centralized supply chain respectively. And a supply chain coordination contract model is constructed by combining the wholesale price contract and the quality cost sharing contract, and the study shows that the supply chain considering quality control and loss aversion can achieve coordination using the contract. Furthermore, under the decentralized and centralized supply chain, a numerical example is given to conduct sensitivity analysis on parameters of the proposed model, and the parameters include loss aversion, qualified rate of products, wholesale price and so on. Through the analysis, the relationship among loss-averse, quality control and optimal product quality, optimal order quality, supply chain utility can be revealed.

Keywords: quality control; loss-averse; wholesale price-quality cost sharing contract; coordination of supply chain

0 引言

在经济全球化的时代,市场竞争日趋激烈,市场需求对产品质量水平敏感性增加,质量越来越成为企业和产业核心竞争力的体现. 随着经济一体化的发展,单个企业力量薄弱,需要依靠供应链的协调运作来全面高效地提升产品质量. 在供应链的管理模式下,产品质量水平在各成员间的协调、控制和优化成为企业响应客户需求、构建稳定的供应链以及获取核心竞争力的需要. 与传统单一企业内部的产品质量管理不同,供应链环境下产品质量水平的管理和控制不仅与供应链成员的质量控制技术有关,也与供应链成员的行为动机有很大的关系. 因此,合理引入契

约、协调成员质量行为、考虑供应链成员普遍存在的行为特征,是供应链产品质量提升的关键. 与此同时,许多供应链成员会基于损失规避原则进行决策,因此研究质量控制下损失规避供应链协调问题具有十分重要的理论价值和现实意义.

近年来,产品质量问题日益凸显,质量作为消费者购买决策的重要影响因素,已经成为企业争夺市场的聚焦点,供应链中产品质量控制是质量管理的重要保障,很多学者开始关注供应链质量控制,且研究多着眼于质量检验决策和质量控制的成本问题. Jraisat等^[1]研究了生鲜果蔬供应链中产品质量控制对产品质量提升的重要作用,通过问卷调查等形式说明了

收稿日期: 2017-07-04; 修回日期: 2017-09-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71172169).

责任编委: 刘士新.

作者简介: 王道平(1964—),男,教授,博士生导师,从事供应链管理和知识管理等研究;赵超(1988—),女,博士生,从事供应链管理的研究.

[†]通讯作者. E-mail: zchao363@163.com

质量控制供应链管理中的重要作用; Balachandran等^[2]研究了单边道德风险和双边道德风险情况下,如何通过质量检验和外部损失信息确定对供应商质量缺陷的惩罚措施,从而影响供应链的质量决策; Wan等^[3]考虑了零售商对制造商提供产品的质量检验策略,分析得出当损失成本大于某一临界点时, all-or-none 检查策略是最优的; Hsieh^[4]在非合作博弈假设下研究质量投入和检验策略,分析了质量检验和缺陷惩罚对双方均衡策略和利润的影响; Jiang等^[5]考虑检验水平有限和外部损失成本分担的情形,构建了产品质量控制模型,得出了不同参数关系下的供应链质量控制博弈的纳什均衡解,分析了各种质量策略下的最优检验率影响因素; 申强等^[6]将研究扩展到四级供应链质量控制优化问题,考虑了延期支付和贷款首付比例两种激励策略对供应链产品质量控制优化决策的影响. 在质量控制成本研究方面, Hwang等^[7]分析了购买方分别采用检验和认证两种方式促进供应商提高质量努力时的质量控制成本,引入额外代理成本,为检验水平不断提高时认证的广泛应用提供了依据; 朱立龙等^[8]从分销渠道角度研究供应链质量控制策略,分析了市场份额比例、利润分配比例、质量成本系数等因素对3种不同混合渠道下质量控制策略的影响,并得出不同影响因素下的最优策略.

很多学者研究了供应链质量管理中成员间的行为协调问题,利用契约或质量合同协调供应链. 刘强等^[9]综述了近年来供应链各方合作和非合作两种情形下质量控制与协调方面的研究,给出了质量控制与协调的分析框架,指出现有研究仅涉及分析框架中的少部分内容,存在众多领域有待研究,现有研究尚未形成规模; Hu等^[10]通过比较企业质量控制和供应链协调兼达时4种契约模型的决策选择和收益,证明收益共享契约、奖励惩罚契约和特许经营契约不仅能够协调供应链,同时也能使供应链成员企业实现质量控制的目的; 洪江涛等^[11]以传统两级供应链为研究对象,应用微分博弈的方法分析了不同博弈情形下制造商和供应商的最优质量协调策略,证明合作质量管理博弈是供应链质量管理的最理想情形; Ma等^[12]应用质量合同设计的方法,协调两阶段供应链协调,通过设置合理参数,引导付出质量努力的制造商与付出促销努力的零售商合作,实现供应链协调; 肖迪等^[13]详细分析了收益共享契约对供应链质量控制与协调机制的优势和局限,通过供应商与零售商合作以及使用批发价格契约下供应链成员的博弈均衡比较,得出收益共享契约在销售量的变化对产品质量改进敏感

程度高时协调效果好的结论.

上述研究成果均假定供应链成员是风险中性,但有学者研究发现,供应链成员很多时候并非按这一原则决策^[14-15]. 近年来,越来越多的学者开始关注供应链成员损失规避行为. Wang等^[16]研究了由风险中性的供应商和损失规避的零售商组成的供应链,运用多重心里账户和效用函数分别评价超订成本和失售成本的建模方法,分析了有限理性环境下零售商订单决策行为以及收益共享契约的协调功能; 代建生等^[17]运用 CVaR 方法研究了供应链中回购契约的设计问题,分析了销售商风险规避度对契约设计和供应商收益的影响,得出销售商风险规避程度越高,供应商收益越低的结论; Hou等^[18]采用博弈及优化理论探讨了竞争环境下风险规避参与者的均衡定价及质量水平,分析了风险规避度对供应链成员均衡定价和质量水平的影响; 刘云志等^[19]在研究有关质量水平的供应链协调中考虑了损失规避的因素,构建了批发价格-质量成本分担契约协调供应链,分析了损失规避的零售商订货量与质量水平之间的关系,但文中只考虑了零售商损失规避,且未考虑产品质量控制问题.

综上所述,众多学者对供应链中产品质量控制问题或损失规避问题进行了深入研究,并取得了丰硕的成果,但鲜有研究同时将质量控制和损失规避纳入供应链协调问题. 文献[19]虽然考虑了质量水平与损失规避的供应链协调问题,但未涉及产品质量控制问题,且文中只考虑了零售商单方损失规避行为. 产品质量对企业形象和声誉有重要影响,质量控制是产品质量提升的重要环节,现实中企业普遍存在损失规避行为,因此本文研究供应链成员在损失规避背景下进行质量控制的供应链协调问题.

1 模型建立与求解

1.1 问题描述和模型建立

考虑由损失规避的制造商和零售商组成的二级供应链,制造商以批发价格 w 向零售商提供单位生产成本为 c 的商品,零售商以销售价格 p 出售产品给顾客,零售商的订货量为 q ,产品的市场需求 x 为随机变量; 销售中若出现缺货现象,制造商和零售商分别承担 c_s 和 c_r 的单位缺货成本,且 $c_s < c_r$; 在销售季末,若零售商仍有未售完产品,则将其统一处理,剩余产品单位处理收益为 v . 为保证客观合理性,假设 $p > w > c > v > 0$.

为了提高产品的销售量,制造商会采取一系列措施提高产品质量水平 e ,其付出的质量努力成本为 c_e ,且 $c_e = \eta e^2/2$,其中 η 为质量努力成本系数. 假定随机

需求量 x 的期望为 $E(x) = \mu_0$, 以产品质量水平为条件的市场需求条件分布函数为 $G(x|e)$, 相应的概率密度函数为 $g(x|e)$. 同时, 零售商为了控制产品质量, 采取对制造商产品进行检验的措施, 设其检测的产品合格率为 p_c , 检验成本为 c_i , 且 $c_i = a + bq$. 对于检验不合格的产品, 零售商可向制造商索赔损失, 设单位赔偿金额为 c_c .

根据上述问题描述, 可得风险中性的制造商和零售商的利润分别为

$$\pi_m = q(w - c) - qc_c(1 - p_c) - c_s \max\{x - qp_c, 0\} - \frac{\eta e^2}{2}, \quad (1)$$

$$\pi_r = p \min\{x, qp_c\} - wq + qc_c(1 - p_c) - (\alpha + bq) + v \max\{qp_c - x, 0\} - c_r \max\{x - qp_c, 0\}. \quad (2)$$

由式(1)和(2)可得风险中性的制造商和零售商的期望利润分别为

$$E\pi_m = q(w - c - c_c(1 - p_c) + c_s p_c) - c_s \mu_0 - \frac{\eta e^2}{2} - c_s \int_0^{qp_c} G(x|e) dx, \quad (3)$$

$$E\pi_r = q(pp_c - w + c_c(1 - p_c) + c_r p_c) - (\alpha + bq) - (p + c_r - v) \int_0^{qp_c} G(x|e) dx - c_r \mu_0. \quad (4)$$

由式(1)和(2)可将制造商和零售商的利润具体表示为 π_m 和 π_r , 如下所示:

$$\pi_m = \begin{cases} q(w - c - c_c(1 - p_c)) - \frac{\eta e^2}{2}, & x \leq qp_c; \\ q(w - c - c_c(1 - p_c)) - c_s(x - qp_c) - \frac{\eta e^2}{2}, & x > qp_c; \end{cases} \quad (5)$$

$$\pi_r = \begin{cases} x(p - v) - q(w - c_c(1 - p_c) - vp_c + b) - \alpha, & x \leq qp_c; \\ q(pp_c - w + c_c(1 - p_c) + c_r p_c - b) - c_r x - \alpha, & x > qp_c. \end{cases} \quad (6)$$

由式(5)可求解风险中性制造商的利润盈亏平衡需求点 $k_m(q)$ 如下:

$$k_m(q) = \frac{q(w - c - c_c(1 - p_c)) - \frac{\eta e^2}{2} + qp_c c_s}{c_s}. \quad (7)$$

由式(6)可求解风险中性零售商的两个利润盈亏平衡需求点 $k_1(q)$ 和 $k_2(q)$ 如下:

$$k_1(q) = \frac{q(w - c_c(1 - p_c) - vp_c + b) + \alpha}{(p - v)}, \quad (8)$$

$$k_2(q) = \frac{q(pp_c - w + c_c(1 - p_c) + c_r p_c - b) - \alpha}{c_r}. \quad (9)$$

由此可知: 当 $x > k_m(q)$ 时, 制造商是亏损的, 即 $\pi_m < 0$; 当 $x < k_1(q)$ 或者 $x > k_2(q)$ 时, 零售商是亏损的, 即 $\pi_r < 0$. 制造商和零售商若想盈利, 市场需求量 x 需分别满足 $x < k_m(q)$ 和 $k_1(q) < x < k_2(q)$. 考虑如下损失规避效用函数:

$$u(w) = \begin{cases} w - w_0, & w \geq w_0; \\ \lambda(w - w_0), & w < w_0. \end{cases} \quad (10)$$

其中: w_0 为初始财富值. 参数 λ 表示损失规避程度, 若 $\lambda = 1$, 表示风险中性; 若 $\lambda > 1$, 表示损失规避, 且随着 λ 的增加, 损失规避程度增加. 为了计算方便, 这里假设 $w_0 = 0$, 即初始财富值为零.

由式(5)和(7)可得损失规避型制造商的期望效用为

$$Eu(\pi_m) = E\pi_m + (\lambda - 1) \int_{k_m(q)}^{+\infty} \left(q(w - c - c_c(1 - p_c)) - c_s(x - qp_c) - \frac{\eta e^2}{2} \right) dG(x|e). \quad (11)$$

由式(6)、(8)和(9)可得损失规避型零售商的期望效用为

$$Eu(\pi_r) = E\pi_r + (\lambda - 1) \left(\int_0^{k_1(q)} (x(p - v) - \alpha - q(w - c_c(1 - p_c) - vp_c + b)) dG(x|e) + \int_{k_2(q)}^{+\infty} (q(pp_c + c_r p_c - b - w + c_c(1 - p_c)) - c_r x - \alpha) dG(x|e) \right). \quad (12)$$

式(11)和(12)分别表示损失规避制造商和零售商的期望效用为其在风险中性条件下的期望利润与其在损失规避行为下的超量订货与缺货所遭受的损失之和.

1.2 分散决策模型

在分散决策下, 制造商和零售商作为独立的经济个体, 分别根据自身效用最大化原则作出最优决策, 即制造商根据效用最大化原则确定最优的产品质量水平 e^* , 零售商根据效用最大化原则确定最优的订货量 q^* , 这里假设制造商的产品质量水平和零售商订货量的最优反应函数分别为 $e(q)$ 和 $q(e)$.

对于 $\forall e \in [0, +\infty)$, 求取式(12)关于 q 的一阶和二阶导数如下:

$$dEu(\pi_r)/dq =$$

$$(\lambda - 1)((-w + c_c(1 - p_c) + vp_c - b)G(k_1(q)|e) + (A - b)(1 - G(k_2(q)|e))) + A - p_c(p + c_r - v)G(qp_c|e) - b, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} d^2Eu(\pi_r)/dq^2 = & (\lambda - 1) \left(- \left(\frac{(w - c_c(1 - p_c) - vp_c + b)^2}{p - v} \right) g(k_1(q)|e) - \right. \\ & \left. \frac{(pp_c - w + c_c(1 - p_c) + c_r p_c - b)^2}{c_r} g(k_2(q)|e) \right) - \\ & p_c^2(p + c_r - v)g(qp_c|e). \end{aligned} \quad (14)$$

其中 $A = pp_c - w + c_c(1 - p_c) + p_c c_r$.

因为 $p - v > 0, \lambda > 1$, 所以 $\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} < 0$, 即 $Eu(\pi_r)$ 是关于 q 的严格凹函数, 且存在唯一最优订货量 q^* 满足 $\frac{dEu(\pi_r)}{dq} \Big|_{q=q^*} = 0$ 时, 零售商可以获得最大效用.

同理可得 $\frac{d^2Eu(\pi_m)}{de^2} < 0$, 即 $Eu(\pi_m)$ 是关于 e 的严格凹函数, 且存在唯一最优质量水平 e^* 满足 $\frac{dEu(\pi_m)}{de} \Big|_{e=e^*} = 0$ 时, 制造商可以获得最大效用.

若 $\lambda = 1$, 即零售商为风险中性时, 由式(13)可得其最优订货量 q_0^* 满足

$$G(q_0^* p_c | e) = \frac{A - b}{p_c(p + c_r - v)}. \quad (15)$$

命题1 对于 $\forall e \in [0, +\infty)$, 当满足一定条件时, 零售商损失规避系数与最优订货量之间具有下列关系: 1) 当满足条件 $B > 0$ 时, 有 $q^* > q_0^*$, 且最优订货量随损失规避程度的增加而增大; 2) 当满足条件 $B = 0$ 时, 有 $q^* = q_0^*$, 且损失规避程度对最优订货量无影响; 3) 当满足条件 $B < 0$ 时, 有 $q^* < q_0^*$, 且最优订货量随损失规避程度的增加而减小. 其中

$$\begin{aligned} B = & (-w + c_c(1 - p_c) + vp_c - b)G(k_1(q^*)|e) + \\ & (A - b)(1 - G(k_2(q^*)|e)). \end{aligned}$$

证明 由式(13)可知

$$\begin{aligned} \frac{dEu(\pi_r)}{dq} \Big|_{q=q^*} = & (\lambda - 1)((-w + c_c(1 - p_c) + vp_c - \\ & b)G(k_1(q^*)|e) + (A - b)(1 - G(k_2(q^*)|e))) + \\ & A - p_c(p + c_r - v)G(q^* p_c | e) - b = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

进一步, 整理可得

$$\begin{aligned} G(q^* p_c | e) = & \frac{A - b}{p_c(p + c_r - v)} + \frac{\lambda - 1}{p_c(p + c_r - v)}((-w + c_c(1 - p_c) + \\ & vp_c - b)G(k_1(q^*)|e) + (A - b)(1 - G(k_2(q^*)|e))), \end{aligned} \quad (17)$$

即

$$\begin{aligned} G(q^* p_c | e) = & G(q_0^* p_c | e) + \frac{\lambda - 1}{p_c(p + c_r - v)}((-w + c_c(1 - p_c) + \\ & vp_c - b)G(k_1(q^*)|e) + (A - b)(1 - G(k_2(q^*)|e))). \end{aligned} \quad (18)$$

进一步, 依据隐函数定理可得

$$\begin{aligned} \frac{dq^*}{d\lambda} = & - \left(\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq d\lambda} / \frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \right) \Big|_{q=q^*} = \\ & - \frac{(-w + c_c(1 - p_c) + vp_c - b)G(k_1(q)|e) - \frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \Big|_{q=q^*}}{\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \Big|_{q=q^*}} \cdot \\ & \frac{(A - b)(1 - G(k_2(q)|e))}{\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \Big|_{q=q^*}}. \end{aligned} \quad (19)$$

由于 $p - v > 0, \lambda > 1$, $\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \Big|_{q=q^*} < 0$, 可得如下结论:

1) 若

$$\begin{aligned} & (A - b)(1 - G(k_2(q^*)|e)) + (c_c(1 - p_c) - \\ & w + vp_c - b)G(k_1(q^*)|e) > 0, \end{aligned}$$

则 $G(q^*|e) > G(q_0^*|e)$, 即 $q^* > q_0^*$, 且 $dq^*/d\lambda > 0$, 即最优订货量随损失规避程度的增加而增大;

2) 若

$$\begin{aligned} & (A - b)(1 - G(k_2(q^*)|e)) + (c_c(1 - p_c) - \\ & w + vp_c - b)G(k_1(q^*)|e) = 0, \end{aligned}$$

则 $G(q^*|e) = G(q_0^*|e)$, 即 $q^* = q_0^*$, 且 $dq^*/d\lambda = 0$, 即损失规避程度对最优订货量无影响;

3) 若

$$\begin{aligned} & (A - b)(1 - G(k_2(q^*)|e)) + (c_c(1 - p_c) - \\ & w + vp_c - b)G(k_1(q^*)|e) < 0, \end{aligned}$$

则 $G(q^*|e) < G(q_0^*|e)$, 即 $q^* < q_0^*$, 且 $dq^*/d\lambda < 0$, 即最优订货量随损失规避程度的增加而减小. $\square$

命题1揭示了在制造商产品质量水平一定的情况下, 零售商风险中性时最优订货量与损失规避时最优订货量的关系, 以及零售商选择损失规避时的最优订货量与损失规避系数之间的关系.

命题2 对于 $\forall e \in [0, +\infty)$, 当满足一定条件时, 零售商损失规避系数与检测合格率之间具有下列关系: 1) 当满足条件 $C > 0$ 时, 零售商损失规避系数随着检测合格率的提高而增大; 2) 当满足条件 $C = 0$ 时, 检测合格率对零售商的损失规避系数没有影响; 3) 当满足条件 $C < 0$ 时, 零售商损失规避系数随着检测合格率的提高而减小. 其中

$$C = v(\lambda - 1)G(k_1(q^*)|e) - q^*(p + c_r - v)G(q^*p_c|e).$$

证明 由隐函数定理可知

$$\begin{aligned} dq^*/dp_c = & - \left(\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dqdp_c} / \frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \right) \Big|_{q=q^*} = \\ & - \frac{v(\lambda - 1)G(k_1(q^*)|e) - q^*(p + c_r - v)G(q^*p_c|e)}{\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \Big|_{q=q^*}}. \end{aligned} \quad (20)$$

由 $\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} \Big|_{q=q^*} < 0$, 可知 dq^*/dp_c 的正负与式(20)中分子的正负一致, 所以当分子确定时, 零售商损失规避系数与检测合格率之间的关系可以确定, 即满足上述命题结论. $\square$

命题2揭示了在制造商质量水平一定的情形下, 零售商的最优订货量与检测合格率之间的关系.

命题3 在分散式决策下, 制造商产品质量水平的最优反应函数 $e(q)$ 是关于零售商订货量 q 的严格递增函数, 零售商订货量的最优反应函数 $q(e)$ 是关于制造商产品质量水平 e 的严格递增函数.

证明 由式(11)和(12)可知, 最优反应函数 $e(q)$ 和 $q(e)$ 分别满足如下公式:

$$c_s \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx + \eta e(\lambda + G(k_m(q|e)) - \lambda G(k_m(q|e))) = 0, \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & (\lambda - 1)((-w + c_c(1 - p) + vp_c - b)G(k_1(q)|e) + (A - b)(1 - G(k_2(q)|e))) + \\ & A - p_c(p + c_r - v)G(qp_c|e) - b = 0. \end{aligned} \quad (22)$$

依据隐函数定理, 有

$$\begin{aligned} de(q)/dq = & - \frac{d^2Eu(\pi_m)}{dedq} / \frac{d^2Eu(\pi_m)}{de^2} \Big|_{q=q^*} = \\ & \left(-c_s p_c \frac{\partial G(qp_c|e)}{\partial e} - \eta e(1 - \lambda) \frac{\partial G(k_m(q|e))}{\partial q} \right) / \\ & \left(c_s \int_0^{qp_c} \frac{\partial^2 G(x|e)}{\partial e^2} dx + \eta(\lambda + G(k_m(q|e)) - \lambda G(k_m(q|e))) \right), \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} dq(e)/de = & - \frac{d^2Eu(\pi_r)}{dqde} / \frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2} = \\ & \frac{p_c(p + c_r - v) \frac{\partial G(qp_c|e)}{\partial e}}{\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2}} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{(\lambda - 1) \left((w - c_c(1 - p_c) - vp_c + b) \frac{\partial G(k_1(q)|e)}{\partial e} \right)}{\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2}} + \\ & \frac{(\lambda - 1)(A - b) \frac{\partial G(k_2(q)|e)}{\partial e}}{\frac{d^2Eu(\pi_r)}{dq^2}}. \end{aligned} \quad (24)$$

因为 $p > w > c > v > 0, \lambda > 1$, 且由于产品质量水平能够提高产品的需求量, 所以条件分布函数 $G(x|e)$ 是关于产品质量水平 e 的单调减函数, 即 $\frac{\partial G(x|e)}{\partial e} < 0$. 但由于市场总需求有限, 需求增加的速度会减慢, 故 $G(x|e)$ 是关于产品质量水平 e 的严格凸函数, 即 $\frac{\partial^2 G(x|e)}{\partial^2 e} > 0$, 所以 $\frac{de(q)}{dq} > 0, \frac{dq(e)}{de} > 0$. $\square$

命题3表明, 在分散决策下, 零售商订货量与制造商质量水平正相关, 零售商订货量的提高可以促进产品质量提升, 产品质量水平的提升可以提高零售商的订货量.

在分散决策下, 制造商最优产品质量水平 e^* 与零售商最优订货量 q^* 为式(21)和(22)所构成的方程组的解, 即

$$\begin{cases} e = \frac{-c_s \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx}{\eta(\lambda + G(k_m(q|e)) - \lambda G(k_m(q|e)))}, \\ G(qp_c|e) = \frac{(\lambda - 1)((c_c(1 - p)) - w + vp_c - b)G(k_1(q)|e) + (\lambda - 1)((A - b)(1 - G(k_2(q)|e))) + A - b}{p_c(p + c_r - v)}. \end{cases} \quad (25)$$

1.3 集中决策模型

在集中决策下, 制造商和零售商统一制定最优策略使供应链总效用达到最大, 假设集中决策下制造商产品质量水平和零售商订货量的最优反应函数分别为 $e_c(q)$ 和 $q_c(e)$. 集中决策下供应链的利润为

$$\begin{aligned} \pi = & p \min\{x, qp_c\} + v \max\{qp_c - x, 0\} - (c_r + c_s) \max\{x - qp_c, 0\} - cq - \frac{\eta e^2}{2} - (\alpha + bq). \end{aligned} \quad (26)$$

根据式(23)可以得到集中决策下供应链的期望利润为

$$\begin{aligned} E\pi = & q(pp_c - c + p_c(c_s + c_r)) - (p + c_s + c_r - v) \int_0^{qp_c} G(x|e) dx - (c_r + c_s)\mu_0 - (\alpha + bq) - \frac{\eta e^2}{2}. \end{aligned} \quad (27)$$

由式(26)可求解得到风险中性供应链的两个利润盈亏平衡需求点 $k_3(q)$ 和 $k_4(q)$ 为

$$k_3(q) = \frac{-vqp_c + cq + \frac{\eta e^2}{2} + (\alpha + bq)}{p - v}, \quad (28)$$

$$k_4(q) = \frac{pp_c + (c_r + c_s)qp_c - cq - \frac{\eta e^2}{2} - (\alpha + bq)}{c_r + c_s}. \quad (29)$$

再结合式(28)和(29)可得损失规避下供应链的期望效用为

$$\begin{aligned} Eu(\pi) = & E\pi + (\lambda - 1) \int_0^{k_3(q)} (px + v(qp_c - x) - cq - \\ & \frac{\eta e^2}{2} - (\alpha + bq)) dG(x|e) + (\lambda - 1) \int_{k_4(q)}^{+\infty} (pp_c - \\ & (c_r + c_s)(x - qp_c) - cq - \frac{\eta e^2}{2} - (\alpha + bq)) dG(x|e). \end{aligned} \quad (30)$$

根据式(30),制造商的产品质量水平和零售商订货量的最优反应函数 $e_c(q)$ 和 $q_c(e)$ 分别满足如下公式:

$$(p + c_r + c_s - v) \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx + \eta e(\lambda + G(k_m(q|e)) - \lambda G(k_m(q|e))) = 0, \quad (31)$$

$$\begin{aligned} (pp_c - c + (c_s + c_r)p_c - b) - p_c(p + \\ c_r + c_s - v)G(qp_c|e) + (\lambda - 1)((vp_c - \\ c - b)G(k_3(q)|e) + (pp_c + (c_s + c_r)p_c - \\ b - c)(1 - G(k_4(q)|e))) = 0. \end{aligned} \quad (32)$$

命题4 集中决策下,制造商产品质量水平的最优反应函数是关于订货量 q_c 的严格递增函数,零售商订货量的最优反应函数是关于产品质量水平 e_c 的严格增函数.

命题4的证明过程与命题3类似,此处不再赘述.

集中决策下,制造商最优产品质量水平 e_c^* 与零售商最优订货量 q_c^* 为如下方程组的解:

$$\begin{cases} e = \\ \frac{-(p + c_r + c_s - v) \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx}{\eta(\lambda + G(k_m(q|e)) - \lambda G(k_m(q|e)))}, \\ G(qp_c|e) = \\ \frac{pp_c - c + (p_c(c_r + c_s))}{p_c(p + c_r + c_s - v)} - \\ \frac{b(\lambda - 1)((vp_c - c - b)G(k_3(q)|e))}{p_c(p + c_r + c_s - v)} - \\ \frac{b(\lambda - 1)(pp_c + p_c(c_r + c_s) - c - b)(1 - G(k_4(q)|e))}{p_c(p + c_r + c_s - v)}. \end{cases} \quad (33)$$

命题5 考虑损失规避与产品质量水平控制的二级供应链在分散决策下无法达到协调.

证明 如果供应链能达到协调,则应同时满足 $e^* = e_c^*$ 和 $q^* = q_c^*$. 假设 $e^* = e_c^*$, 由式(25)和(33)可得

$$\begin{aligned} -c_s \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx = \\ -(p + c_r + c_s - v) \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx, \end{aligned} \quad (34)$$

即 $p + c_r - v = 0$.

因为 $p > v, c_r > 0$, 所以 $p + c_r - v \neq 0$ 恒成立, 故假设不成立, 即考虑损失规避与产品质量水平控制的二级供应链在分散决策下无法达到协调. $\square$

1.4 质量成本分担契约

基于上述分析,供应链在分散条件下无法达到协调,为此引入批发价-质量成本分担契约来协调供应链. 假定契约参数为 (w, ε) , 在此契约下,零售商分担制造商 $(1 - \varepsilon)(0 < \varepsilon < 1)$ 比例的产品质量努力成本,制造商承担 ε 比例的产品质量努力成本. 在批发价-质量成本分担契约下,制造商和零售商的期望效用 $Eu(\pi_{mq})$ 和 $Eu(\pi_{rq})$ 分别为

$$\begin{aligned} Eu(\pi_{mq}) = \\ E\pi_{mq} + (\lambda - 1) \int_{k_{mq}(q)}^{+\infty} \left(q(w - c - c_c(1 - p_c)) - c_s(x - qp_c) - \varepsilon \frac{\eta e^2}{2} \right) dG(x|e), \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} Eu(\pi_{rq}) = \\ E\pi_{rq} + (\lambda - 1) \left(\int_0^{k_{1q}(q)} \left(x(p - v) - \alpha - (1 - \varepsilon) \frac{\eta e^2}{2} - q(w - c_c(1 - p_c) - vp_c + b) \right) dG(x|e) + \right. \\ \left. \int_{k_{2q}(q)}^{+\infty} \left(q(pp_c - w + c_c(1 - p_c) + c_r p_c - b) - c_r x - \alpha - (1 - \varepsilon) \frac{\eta e^2}{2} \right) dG(x|e) \right). \end{aligned} \quad (36)$$

引入质量成本分担契约的分散决策下,最优产品质量水平和最优订货量分别为 q_q^* 和 e_q^* , 满足如下方程组:

$$\begin{cases} e = \\ \frac{-c_s \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx}{\varepsilon \eta(\lambda + G(k_m(q|e)) - \lambda G(k_m(q|e)))}, \\ G(qp_c|e) = \\ \frac{(\lambda - 1)((-w + c_c(1 - p) + vp_c - b)G(k_{1q}(q)|e))}{p_c(p + c_r - v)} + \\ \frac{(\lambda - 1)((A - b)(1 - G(k_{2q}(q)|e))) + A - b}{p_c(p + c_r - v)}. \end{cases} \quad (37)$$

命题6 考虑产品质量控制和损失规避的供应链在质量成本分担契约下可以达到协调,且满足

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{c_s}{p + c_r + c_s - v}, \\ w &= \frac{b + c - pp_c -}{(p + c_s + c_c - v)(b + b(\lambda - 1) \times} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{p_c(c_s + c_c)}{(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) - G(k_2(q_q^*)|e_q^*) + 1))} + \\ &\frac{A - (\lambda - 1) \times}{(p + c_s + c_c - v)(b + b(\lambda - 1) \times} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{(A(G(k_2(q_q^*)|e_q^*) - 1))}{(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) - G(k_2(q_q^*)|e_q^*) + 1))} - \\ &\frac{(\lambda - 1)(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) \times}{(p + c_s + c_c - v)(b + b(\lambda - 1) \times} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{(w - vp_c + c_c(p - 1))}{(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) - G(k_2(q_q^*)|e_q^*) + 1))}. \end{aligned} \right. \quad (38)$$

其中: $w \in (c, p)$, q_q^* 和 e_q^* 同时满足式(33)和(37).

证明 依据协调定义,有 $e_q^* = e_c^*$ 和 $q_q^* = q_c^*$, 进一步,根据式(33)和(37)有

$$\left\{ \begin{aligned} &\frac{-c_s \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx}{\varepsilon \eta (\lambda + G(k_m(q)|e) - \lambda G(k_m(q)|e))} = \\ &\frac{-(p + c_r + c_s - v) \int_0^{qp_c} \frac{\partial G(x|e)}{\partial e} dx}{\eta (\lambda + G(k_m(q)|e) - \lambda G(k_m(q)|e))}, \\ &\frac{(\lambda - 1)((vp_c - w - b + c_c(1 - p))G(k_{1q}(q)|e))}{p_c(p + c_r - v)} + \\ &\frac{(\lambda - 1)((A - b)(1 - G(k_{2q}(q)|e))) + A - b}{p_c(p + c_r - v)} = \\ &\frac{(pp_c - c + p_c(c_s + c_r))}{p_c(p + c_r + c_s - v)} - \\ &\frac{b(\lambda - 1)(vp_c - c - b)G(k_3(q)|e)}{p_c(p + c_r + c_s - v)} - \\ &\frac{b(\lambda - 1)(pp_c + p_c(c_r + c_s) - c - b)(1 - G(k_4(q)|e))}{p_c(p + c_r + c_s - v)}. \end{aligned} \right. \quad (39)$$

对方程组求解 ε 和 w 可得

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{c_s}{p + c_r + c_s - v}, \\ w &= \frac{b + c - pp_c -}{(p + c_s + c_c - v)(b + b(\lambda - 1) \times} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{p_c(c_s + c_c)}{(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) - G(k_2(q_q^*)|e_q^*) + 1))} + \\ &\frac{A - (\lambda - 1) \times}{(p + c_s + c_c - v)(b + b(\lambda - 1) \times} \rightarrow \\ &\leftarrow \frac{(A(G(k_2(q_q^*)|e_q^*) - 1))}{(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) - G(k_2(q_q^*)|e_q^*) + 1))} - \end{aligned} \right.$$

$$\frac{(\lambda - 1)(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) \times}{(p + c_s + c_c - v)(b + b(\lambda - 1) \times} \rightarrow \\ \leftarrow \frac{(w - vp_c + c_c(p - 1))}{(G(k_1(q_q^*)|e_q^*) - G(k_2(q_q^*)|e_q^*) + 1))}.$$

$w \in (c, p)$, 即满足式(38). $\square$

2 算例分析

利用 Matlab 软件对上述模型进行算例分析,具体研究考虑质量控制与损失规避的供应链协调问题,并对模型中损失规避系数、产品合格率、销售价格以及单位生产成本等系数进行灵敏度分析. 为简化分析,设市场需求函数为 $D = \beta e^{\frac{1}{2}} + \delta$, 同时假设随机需求 δ 服从 $[0, 100]$ 上的均匀分布. 其他参数取值如下: $p = 35, w = 25, c = 17, c_r = 2, c_s = 1, c_c = 1, v = 10, \lambda = 1.5, a = 3, p_c = 0.95, b = 0.05, \eta = 50, \beta = 20$.

2.1 契约效果分析

根据已经建立的模型,计算在集中决策、分散决策和引入批发价-质量成本分担契约的分散决策3种情况下的最优决策变量,零售商、制造商和供应链的期望效用以及引入契约后的契约参数如表1所示.

表1 不同决策模式下变量和效用比较

	(w, ε)	e	q	$Eu(\pi_r)$	$Eu(\pi_m)$	$Eu(\pi)$
集中决策	—	5.62	82.24	—	—	938.20
分散决策	(25, —)	2.27	48.95	248.80	169.30	418.10
引入契约	(22.95, 0.40)	5.62	82.24	722.80	215.40	938.20

从表1可以看出,当供应链中引入批发价-质量成本分担契约时,供应链达到协调. 在分散决策情况下,由于双重边际效应,导致零售商的订货量减少了40.48%. 在引入契约的分散决策下,零售商承担制造商40%的质量努力成本,制造商则以较低的批发价格将产品批发给零售商,在二者的合作下,供应链的期望效用达到了集中决策下的期望效用,产品质量水平由分散时的2.27提高到集中下的5.62,零售商的期望效用提高了1.91倍,制造商的期望效用提高了27.23%,供应链效用比分散决策时提高了1.24倍. 因此,批发价-质量成本分担契约的引入既提高了产品的最优质量水平和最优订货量,又提高了制造商、零售商和供应链的期望效用.

2.2 集中与分散决策参数灵敏度分析

对集中和分散模型中损失规避程度、产品合格率和销售价格等参数进行灵敏度分析,研究模型中参数对最优质量水平和最优订货量决策的影响,分析比

较产品质量控制程度和损失规避程度等因素在分散和集中模型中的不同影响. 对损失规避程度进行灵敏度分析, 图1和图2分别为损失规避程度对最优质量水平和最优订货量的影响图.

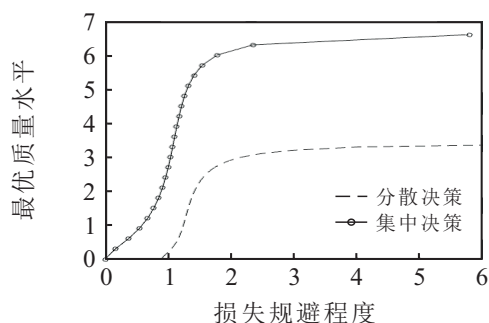


图1 损失规避程度与最优质量水平关系

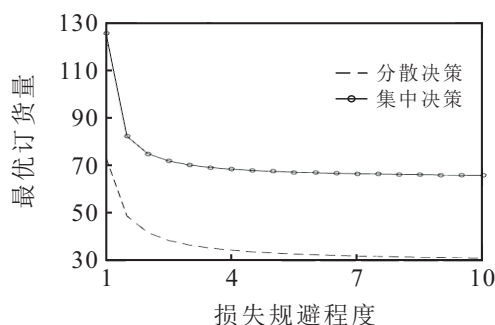


图2 损失规避程度与最优订货量的关系

从图1可以看出, 集中与分散决策下损失规避程度与最优质量水平关系曲线都呈现先上升后平缓的变化趋势, 这说明随着损失规避程度的增加, 产品的最优质量水平随之增加, 但当损失规避程度大于一定值(此处为2)后, 其对质量水平影响减弱. 这说明, 制造商和零售商的损失规避程度在一定取值范围内对产品质量水平有较大影响, 超过某一范围后, 几乎不再有影响. 此外, 在相同损失规避程度下, 集中决策下的最优质量水平高于分散决策的最优质量水平, 说明集中决策更有利于提高产品的质量水平. 图2表明, 最优订货量随着损失规避程度的增加而降低, 图中损失规避程度与最优订货量关系曲线呈现先下降后平缓的趋势. 从图2可以看出, 当损失规避程度小于2时, 损失规避程度对最优订货量的影响较大, 此后影响减弱, 且同一损失规避程度下集中决策时的最优订货量大于分散决策时的最优订货量.

图3和图4显示了集中与分散决策下零售商检测合格率与决策变量之间的关系. 从图3可以看出, 检测合格率越高产品最优质量水平越高, 且从曲线的变化趋势上可以看出, 合格率对集中决策下的产品最优质量水平的影响作用大于分散决策. 当合格率低于0.55时, 分散决策下最优质量水平大于集中决策下

的最优质量水平; 但当合格率大于0.55后, 集中决策下的最优质量水平随着合格率的增加迅速增加, 并超过分散决策. 图4表明, 最优订货量并非随着合格率的提高而一直增加, 二者呈现先促进后削减的关系, 相同产品合格率下, 集中决策的最优订货量大于分散决策下的最优订货量. 当合格率达到某一值后, 随着合格率的增加, 零售商的最优订货量会有所下降. 原因可能是当合格率很高时, 零售商需要退还给制造商的不合格产品数量随之减少, 即订货量中包含的需退货产品数量降低, 所以订货量会有所下降. 此外, 当产品合格率高时, 零售商对制造商产品质量控制的单位成本也会随之增加, 零售商质量控制策略作用变弱.

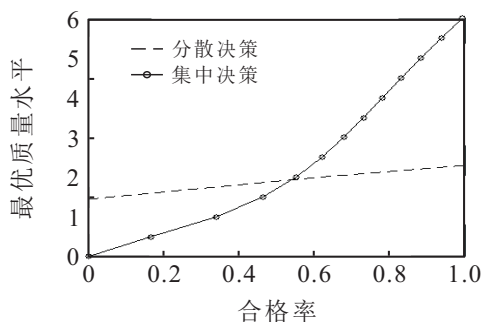


图3 合格率与最优质量水平关系

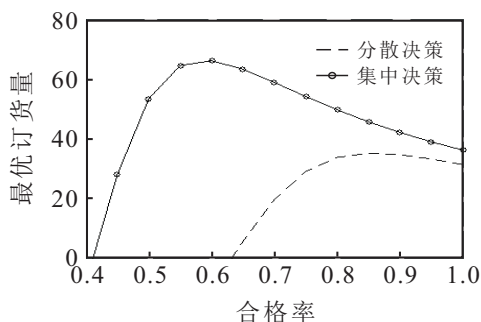
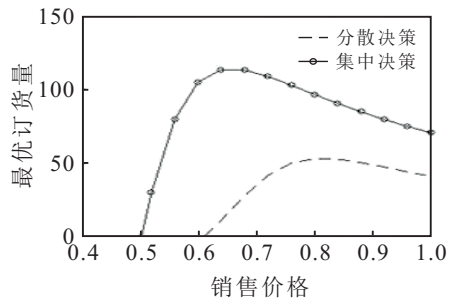


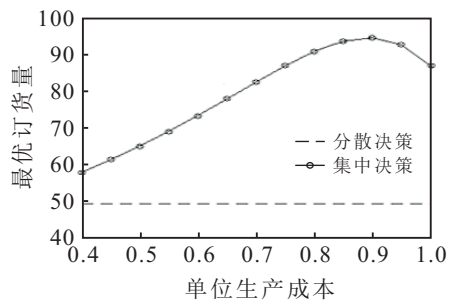
图4 合格率与最优订货量的关系

图5分别显示了销售价格、单位生产成本、批发价格和单位补偿金对最优订货量的影响关系. 从图5可以看出, 最优订货量随着销售价格、单位生产成本和批发价格的增加而呈现先增加后减小的趋势. 从图5(a)可以看出, 在销售价格相同时, 集中决策下的最优订货量大于分散决策的, 销售价格的提高促使零售商提高订货量, 但价格的大幅增加会带来需求的减少, 造成零售商商品积压, 此时零售商会减少订货量, 所以当销售价格大到一定程度后最优订货量会随之减小. 从图5(b)可以看出, 在分散决策时, 制造商的单位生产成本对最优订货量没有直接影响, 在集中决策时, 同一生产成本对应的最优订货量大于分散时的最优订货量, 当制造商生产成本过高时, 零售商会减少订货量. 图5(c)和图5(d)反映了批发价格和单位补

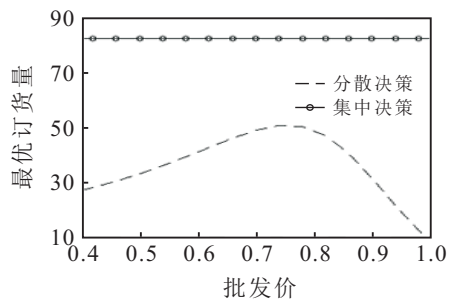
偿金不影响集中决策时的最优订货量. 分散决策时, 最优订货量先随批发价格的增加而上升, 当批发价格过高时, 最优订货量则会随之下降, 同时, 最优订货量随着单位补偿金的增加而略成下降趋势.



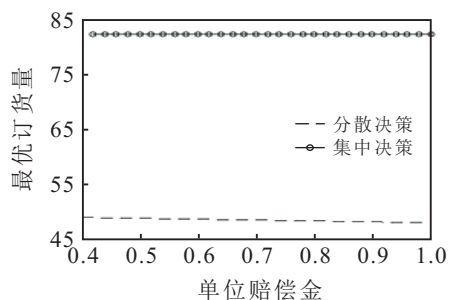
(a) 销售价格与最优订货量的关系



(b) 单位生产成本与最优订货量的关系



(c) 批发价与最优订货量的关系



(d) 单位赔偿金与最优订货量的关系

图5 各参数与最优订货量关系

2.3 损失规避与合格率对效用影响分析

损失规避程度和产品合格率对制造商、零售商和供应链整体效用有不同的影响. 从图6可以看出, 零售商和供应链整体效用随着损失规避程度的增大而升高, 制造商效用则呈现相反趋势. 从3条曲线的倾斜角度可以看出, 损失规避程度对供应链整体效用和制造商效用的影响作用明显, 对零售商效用影响较

弱. 图7表明了合格率对效用的影响情况, 合格率对制造商自身的效用影响较弱, 零售商和供应链整体效用随着产品合格率的增加而呈现上升趋势. 整体而言, 制造商和零售商的损失规避程度以及制造商的产品合格率对供应链整体效用的增加有正向影响.

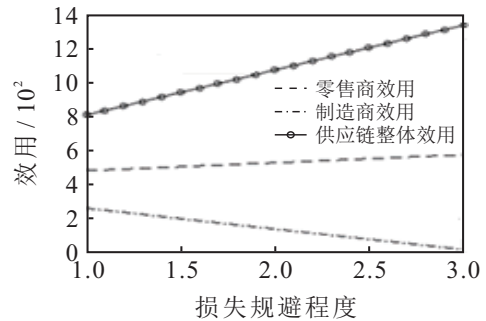


图6 损失规避程度对效用的影响

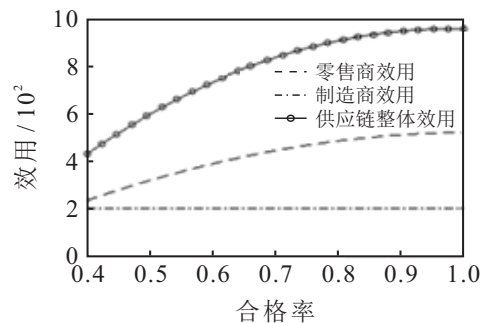


图7 合格率为对效用的影响

3 结论

本文在考虑质量控制和供应链成员均损失规避的基础上研究供应链协调问题, 构建了集中和分散两种情形下供应链决策模型, 引入了批发价格-质量成本分担契约, 并对损失规避程度、产品合格率和销售价格等参数进行了灵敏度分析, 揭示了损失规避和质量控制等因素与最优产品质量水平和最优订货量之间的关系, 最终得出如下结论.

1) 零售商订货量的增加会促使制造商最优决策时的产品质量水平提高, 制造商产品质量水平的提高, 也会促使零售商最优决策时的订货数量增加. 批发价格-质量成本分担契约的引入, 提高了分散决策下最优产品质量水平、最优订货量以及制造商和零售商的最大效用, 使分散决策下供应链的最大效用达到集中决策的水平, 实现了供应链的协调.

2) 当制造商和零售商的损失规避程度在一定取值范围内时, 随着损失规避程度的提高, 供应链最优决策时的产品质量水平会随之提高, 而零售商的订货量会随之下降. 当损失规避程度超出一定取值范围后, 其对最优产品质量水平和最优订货量的影响减弱. 此外, 供应链成员损失规避程度越高, 零售商和供

应链的效用越高.

3) 零售商通过对制造商产品进行检验来控制产品质量,零售商的最优订货量会随产品检验合格率、销售价格、单位生产成本和批发价格的增加呈现先增后减的变化趋势.

本文考虑了质量控制和供应链成员损失规避的二级供应链协调问题,并假设信息是对称的,但现实生活中,信息非对称现象普遍存在,且供应链层级更为复杂,因此在信息非对称下考虑质量控制和损失规避的多级供应链协调问题将是未来研究的重点.

参考文献(References)

- [1] Jraisat J E, Sawalha I H. Quality control and supply chain management: A contextual perspective and a case study[J]. Supply Chain Management, 2013, 18(2): 194-207.
- [2] Balachandran K R, Radhakrishnan S. Quality implications of warranties in a supply chain[J]. Management Science, 2005, 51(8): 1266-1277.
- [3] Wan H, Xu X W. Technical note: Reexamination of all-or-none inspection policies in a supply chain with endogenous product quality[J]. Naval Research Logistics, 2008, 55(3): 278-282.
- [4] Hsieh C C. Quality investment and inspection policy in a supplier manufacturer supply chain[J]. European J of Operational Research, 2010, 202(3): 717-729.
- [5] Jiang J D, Li B Y, Zhou W J. Study on supply chain quality control model under detection level limited and external-loss sharing[J]. Operations Research & Management Science, 2015, 24(1): 27-33.
- [6] 申强, 杨为民, 刘笑冰. 基于两种策略的四级供应链质量控制优化研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(10): 52-59.
(Shen Q, Yang W M, Liu X B. Study on quality control optimization of four-stage supply chain based on two strategies[J]. Chinese J of Management Science, 2016, 24(10): 52-59.)
- [7] Hwang I, Radhakrishnan S, Su L. Vendor certification and appraisal implications for supplier quality[J]. Management Science, 2006, 52(10): 1472-1482.
- [8] 朱立龙, 郭鹏菲, 孙淑慧. 三种混合分销渠道条件下供应链产品质量控制策略研究[J]. 中国管理科学, 2017, 25(3): 111-120.
(Zhu L L, Guo P F, Sun S H. Products quality control strategy of supply chain in the condition of three types of mixed distribution channel[J]. Chinese J of Management Science, 2017, 25(3): 111-120.)
- [9] 刘强, 苏秦. 供应链质量控制与协调研究评析[J]. 软科学, 2010, 24(12): 123-127.
(Liu Q, Su Q. Supply chain quality control and coordination research[J]. Soft Science, 2010, 24(12): 123-127.)
- [10] Hu J, Zhang J, Rui M J. Supply chain coordination model contract considering quality control under the condition of linear demand[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2013, 33(3): 601-609.
- [11] 洪江涛, 黄沛. 基于微分博弈的供应链质量协调研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(2): 100-107.
(Hong J T, Huang P. Study on quality coordination of supply chain based on differential game[J]. China J of Management Science, 2016, 24 (2): 100-107.)
- [12] Ma P, Wang H Y, Shang J. Contract design for two-stage supply chain coordination: Integrating manufacturer-quality and retailer-marketing efforts[J]. Int J of Production Economics, 2013, 146(2): 745-755.
- [13] 肖迪, 潘可文. 基于收益共享契约的供应链质量控制与协调机制[J]. 中国管理科学, 2015, 20(4): 67-73.
(Xiao D, Pan K W. Based on the Revenue sharing contract supply chain quality control and coordination mechanism[J]. Chinese J of Management Science, 2015, 20(4): 67-73.)
- [14] Kahn J A. Why is production more volatile than sales theory and evidence on the stockout-avoidance motive for inventory-holding[J]. The Quarterly J of Economics, 1992, 107(2): 481-510.
- [15] Fisher M, Raman A. Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales[J]. Operations Research, 1996, 44(1): 87-99.
- [16] Wang C X, Webster S. Channel coordination for A supply chain with a risk-neutral manufacturer and a loss-averse retailer[J]. Decision Sciences, 2010, 38(3): 361-389.
- [17] 代建生, 秦开大. 具有风险规避销售商的供应链最优回购契约[J]. 中国管理科学, 2016, 24(7): 72-81.
(Dai J S, Qin K D. Optimal repurchase contract of supply chain with risk aversion vendor[J]. Chinese J of Management Science, 2016, 24(7): 72-81.)
- [18] Hou L, Chen D Y, Teng C X. Equilibrium strategies study of competitive supply chain considering the quality factor under risk averse[J]. Operations Research & Management Science, 2013, 22(1): 112-119.
- [19] 刘云志, 樊治平. 考虑损失规避与产品质量水平的供应链协调契约模型[J]. 中国管理科学, 2017, 25(1): 65-76.
(Liu Y Z, Fan Z P. Measurement Contract Coordination Model considering loss avoidance and product quality level[J]. Chinese J of Management Science, 2017, 25(1): 65-76.)

(责任编辑: 齐 霁)