首都师范大学学报(自然科学版)
第41卷 第4期 Journal of Capital Normal University No. 4
2020年8月 (Natural Science Edition) Aug. ,2020

随机生产下零售商二次降价的供应链协调模型*

王 宁 胡 飞

(天津大学数学学院, 天津 300350)

摘要:在随机生产模型的基础上,研究了零售商二次降价模型的最优策略. 零售商利用价格效应和有限理性消费心理对销量进行预测,制造商通过制定弹性订单合同来降低随机生产所带来的风险,提高总体供应链的利润. 在此前提下,本文分析了集成模型和分散模型下各成员的最优决策,并通过收益共享合同使得分散模型在一定的参数限制下达到协调. 并给出数值实例来验证结论.

关键词:随机生产;弹性订单合同;价格效应;供应链协调

中图分类号:O221.3 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2020.04.001

0 引 言

制造商和零售商之间的协调是供应链管理中的一个重要决策. 在供应链协调下,制造商和零售商通过设置适当契约参数使得双方利益均达到集中模型下的最优值. 各种各样的合同被广泛地运用到供应链协调中,如收益共享合同和数量折扣合同等. 因为单一的传统合同并不能解决所有供应链的协调问题,所以越来越多的学者开始注重混合合同的重要性.

很多学者在不同的条件下拓展传统契约使供应链达到协调. Taylor[1]表明在需求受到零售商销售努力的影响下,设计合理的回扣和退货合同可以达到协调和双赢的效果. He 等[2]探究了在随机需求下供应链的协调问题,表明当需求受销售努力和销售价格同时影响时,传统的契约并不能使供应链达到协调,但基于退款惩罚的退货契约能够使供应链达到协调. Hu 等[3]基于产出和需求双重不确定的情况下,提出了1种弹性订单策略来分担随机产出给供应商带来的风险. He 和 Zhan[4]提出了1个基于批发价合同的新型退货契约使得供应链达到协调. Pang 等[5]在三级供应链中提出了1项基于回扣和惩罚政策的收益共享合同来实现协调.

在很多生产过程中,产品的产量并不确定,受很多因素的影响. 如天气可以影响农作物的收成等. 由于交通运输受多种灾害的影响,所有的交通运输过程都可以看做随机生产过程[6]. Mukhopadhyay 和 Ma[7]在3种不同的情况下,提出了1种基于不确定需求和随机生产的最优采购和生产策略. He 和 Zhang[8]提出了几种分担随机产出风险的方法,并比较了不同方法的优劣. He[9]在闭环供应链中,分析了不同的供应链风险分担契约,通过理论分析和算例说明,不同的供给风险分担契约可能导致回收价格决策和再制造产量决策偏离集中回收结构下的决策.

随着市场竞争的激烈化,零售商通过下调价格来占据市场份额,零售商二次降价销售成为当前市场的常见现象,基于零售商二次降价的供应链协调模型更是供应链研究的热点话题. 华晴云[10]考虑了在二次降价销售中的最优生产策略,但没有考虑契约模型下的协调问题. 刘海军和陈菊红[11]考虑了基于零售商二次降价的回购契约协调供应链的条件. 周海坚[12]在二次竞争降价销售下,研究了批发价契约、回购契约及回购加补贴契约的协调情况.

本文研究的是在降低随机产出风险的情况下,考虑零售商二次降价的两级供应链的协调问题. 制造商和零售商都是风险中性并且以最大化各自的利益为目标. 制造商和销售商通过协商制定了1个弹性订单策略来降低随机生产所带来的风险,在此

收稿日期:2019-04-10
*国家自然科学基金(71572125)

基础上,本文讨论了如何制定契约使供应链在二次降价销售过程中达到协调.

1 模型描述和符号说明

本文所研究的销售期共分为 2 个阶段. 在第 1 个阶段,零售商原价销售,每一个消费者对产品价值有 1 个随机的估计值 V, 假设消费者是理性的,即当产品的效用剩余 >0 时,消费者才会购买,以此得到第 1 阶段的销量;在销售的第 2 个阶段,零售商采取降价销售,降价销售会给产品带来 1 个附加的购买效应,假设第 2 阶段的消费者同样是有限理性且与第 1 阶段的消费者不重合,即不会重复购买,那么会得到第 2 阶段的产品销量.

假设消费者对产品价值的估计值为随机变量 V, 服从分布函数为 F 的随机分布. 第 1 销售阶段(原价销售阶段)的产品价格为 p_1, 第 2 销售阶段(降价销售阶段)的销售价格为 p_2, 且 $p_1 > p_2 > 0$. 那么,消费者在第 1 阶段的消费剩余为 $V - p_1$, 当消费剩余 >0 时,消费者会购买产品,即 $V - p_1 > 0$, 那么, 第 1 阶段的销量为

$$Q_1 = \int_{D_1} \mathrm{d}F(v), \tag{1.1}$$

式中 $D_1 = \{v \mid v - p_1 \geqslant 0, v > 0\}$.

在产品销售的第 2 阶段,由于产品降价,消费者对产品的估值上会额外附加 1 个因为产品降价产生的交易效用. 假设交易效用与降价幅度呈正比,即设

$$u(p_1, p_2) = \gamma(p_1 - p_2), \tag{1.2}$$

式中 γ 表示消费者对价格变化的敏感系数, $0 < \gamma < 1$. 消费者在第 2 阶段的消费剩余可表示为 $V + \gamma(p_1 - p_2) - p_2$, 所以第 2 阶段消费者购买产品的必要条件为 $V + \gamma(p_1 - p_2) - p_2 > 0$.

假设第 1 和 2 阶段的消费者不重合,那么第 2 阶段产品的销量可表示为

$$Q_2 = \int_{D_2 \setminus D_1} \mathrm{d}F(v), \tag{1.3}$$

式中 $D_2 = \{v \mid v + \gamma(p_1 - p_2) - p_2 \geqslant 0, v > 0\}$.

本文继续沿用 Chiang 等[13]的假设,设随机变量 V 服从 $U[0,1]$, 即 V 的最大估值为 1. 当 $p_1 > 1$ 时,即此时第 1 阶段销售价格高于所有消费者的最大估值,认为这个价格是不合理的,因此 p_1 的合理定义域为 $[0,1]$.

由以上假设,可以计算得出第 1 和 2 阶段的销量分别为

$$Q_1 = 1 - p_1, \quad p_1 \in [0,1], \tag{1.4}$$

$$Q_2 = \begin{cases} p_1, & p_2 \leqslant \gamma p_1/(1+\gamma), \\ (1+\gamma)(p_1 - p_2), & p_2 > \gamma p_1/(1+\gamma). \end{cases} \tag{1.5}$$

可以直观得出在 $p_2 \leqslant \gamma p_1/(1+\gamma)$ 条件下,总订单为 1. 该情况下不管价格如何调整,销量是不变的,认为在此基础上的研究没有意义. 因此,在接下来模型中,讨论的订单销量均是在条件

$$p_2 > \gamma p_1/(1+\gamma)$$

下进行的.

2 集中模型

在零售商二次销售模型中,零售商先将订单 (Q_1, Q_2) 提供给制造商,制造商根据订单确定生产总量 L, 制造商的生产成本为 c, 假设生产率 θ 是随机的,其随机变量的概率密度函数和分布函数分别是 $f(\cdot)$ 和 $F(\cdot)$, 且随机变量的期望已知为 μ. 制造商的实际供货量 θL 可能 $> (Q_1 + Q_2)$, 也可能 $< (Q_1 + Q_2)$. 因此,制造商提出了 1 个弹性订单策略来降低随机生产的风险. 制造商在观察了零售商制定的订单之后,制造商制定了 1 个最低供货阈值 Q_1, 制造商最少要满足零售商第 1 阶段的订单,如果 $\theta L < Q_1$, 那么制造商将以每单位 c_e 的成本采取紧急生产. 在这里,假设紧急生产的产率是完美的;如果 $\theta L > Q_1$, 小于总订单,那么零售商将接受实际供货量;如果 θL 大于总订单,那么产品将以每单位 s 的价格剩余.

基于以上模型,首先讨论在集中模型下的最优决策,供应链的总期望利润是由制造商和零售商各自的期望利润函数组成. 则该集成式供应链的总利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi^C(p_1, p_2, L) = {} & p_1 Q_1 + p_2 \cdot E_\theta[\min((\theta L - Q_1)^+, \\ & Q)] - cL - c_e \cdot E_\theta(Q_1 - \theta L)^+ + \\ & s \cdot E_\theta(\theta L - Q_1 - Q_2)^+, \end{aligned} \tag{2.1}$$

式中 Q_1 和 Q_2 分别由式(1.4)和(1.5)给出.

对目标函数求一阶导数为

$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial p_1} = 1 - 2p_1 + p_2 + (p_2 - s)\gamma \bar{F}\left(\frac{Q_1 + Q_2}{L}\right) + (c_e - p_2) F\left(\frac{Q_1}{L}\right),$$

$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial p_2} = L \int_{\frac{Q_1}{L}}^{\frac{Q_1+Q_2}{L}} \theta f(\theta) \mathrm{d}\theta + Q_2 -$$

$$(p_2 - s)(1+\gamma)\bar{F}\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right),$$

$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial L} = (p_2 - s)\int_0^{\frac{Q_1+Q_2}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta -$$

$$(p_2 - c_e)\int_0^{\frac{Q_1}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta - c + s\mu.$$

记边界值的导数为 $\frac{\partial \Pi^C}{\partial L}\Big|_{L=0} = c_e\mu - c > 0$,很容易得到,$L = 0$ 并不是最优值,从理论上来讲,边界值 $p_1 = c, p_2 = c$ 是不能被排除的,但是这与实际情况相悖.因此,认为在集成模型下,肯定存在最优值 (p_1^C, p_2^C, L^C) 使得 $\frac{\partial \Pi^C}{\partial L} = \frac{\partial \Pi^C}{\partial q_1} = \frac{\partial \Pi^C}{\partial q_2} = 0$. 要供应链达到协调,那么必须使合同下利润函数的一阶导数在 (p_1^C, p_2^C, L^C) 处为 0.

定理 1　对于给定的 (p_1^C, p_2^C),在集中式供应链模型中,整个供应链的 Π^C 是关于 L 的凹函数,且最优的总生产量 L^C 满足

$$(p_2 - s)\int_{\frac{Q_1^C}{L}}^{\frac{Q_1^C+Q_2^C}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta + (c_e - s)\int_0^{\frac{Q_1^C}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta = c - s\mu. \tag{2.2}$$

证明　对目标函数求一阶导数可得:

$$\frac{\partial \Pi^C}{\partial L} = (p_2^C - s)\int_0^{\frac{Q_1^C+Q_2^C}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta -$$

$$(p_2^C - c_e)\int_0^{\frac{Q_1^C}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta - c + s\mu,$$

$$\frac{\partial^2 \Pi^C}{\partial L^2} = -(p_2^C - s)\left(\frac{Q_1^C + Q_2^C}{L^3} f\left(\frac{Q_1^C + Q_2^C}{L}\right) - \frac{Q_1^C}{L^3} f\left(\frac{Q_1^C}{L}\right)\right) -$$

$$(c_e - s)\frac{Q_1^C}{L^3} f\left(\frac{Q_1^C}{L}\right) < 0.$$

则目标函数关于 L 是凹函数. 最优 L 可以通过求解目标函数的一阶最优性条件得到.

3　分散模型

3.1　非合作的 Stackelberg 博弈模型

制造商和生产商作为独立个体,将会以最大化自身的期望利润为目标,而忽略了供应链整体的利益. 将分散模型当作 Stackelberg 博弈,其中,制造商是主导者,零售商是跟随者,利用 Stackelberg 逆向归纳法,先求解零售商的最优解. 零售商的总利润函数为

$$\Pi_R^D = (p_1 - w)Q_1 + (p_2 - w)\cdot \min((\theta L - Q_1)^+, Q_2). \tag{3.1}$$

制造商的总利润函数为

$$\Pi_M^D = wQ_1 + w\min((\theta L - Q_1)^+, Q_2) - c_e E_\theta (Q_1 - \theta L)^+ + sE_\theta(\theta L - Q_1 - Q_2)^+ - cL. \tag{3.2}$$

定理 2　在非合作的分散式供应链模型下,对于任意给定的 $L > 0$,零售商为最大化自身利润,最优定价应同时满足

$$(p_2 - w)\left[\gamma\bar{F}\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right) - F\left(\frac{Q_1}{L}\right)\right] = 2p_1 - p_2 - 1, \tag{3.3}$$

$$(p_2 - w)(1+\gamma)\bar{F}\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right) = L\int_{\frac{Q_1}{L}}^{\frac{Q_1+Q_2}{L}} F(\theta)\,\mathrm{d}\theta + Q_2. \tag{3.4}$$

证明　在 Stackelberg 博弈中,零售商的期望函数 Π_R^D 的一阶导数和二阶导数为

$$\frac{\partial \Pi_R^D}{\partial p_1} = 1 - 2p_1 + p_2 + (p_2 - w)\left[\gamma\bar{F}\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right) - F\left(\frac{Q_1}{L}\right)\right],$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_R^D}{\partial p_1^2} = -2 + (p_2 - w)\left[-\frac{\gamma^2}{L} f\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right) + \frac{1}{L} f\left(\frac{Q_1}{L}\right)\right] < 0,$$

$$\frac{\partial \Pi_R^D}{\partial p_2} = L\int_{\frac{Q_1}{L}}^{\frac{Q_1+Q_2}{L}} F(\theta)\,\mathrm{d}\theta + Q_2 - (p_2 - w)(1+\gamma)\bar{F}\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right),$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_R^D}{\partial p_2^2} = -(1+\gamma)F\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right) - (p_2 - w)(1+\gamma) f\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right) - (1+\gamma) < 0.$$

可以得知,使利润函数达到最优值的解是边界点或者是平稳点,可知边界点并不能使利润函数达到最大,因此,平稳点是最优解. 即满足平稳点应同时满足目标函数的一阶最优性条件.

定理 3　制造商的利润函数是关于 L 的凹函数,其中最优总生产量 L^D 满足方程

$$(w - s)\int_{\frac{Q_1^D}{L}}^{\frac{Q_1^D+Q_2^D}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta + (c_e - s)\int_0^{\frac{Q_1^D}{L}} \theta f(\theta)\,\mathrm{d}\theta = c - s\mu. \tag{3.5}$$

证明　对分散模型下制造商的利润函数求关于总生产量的一阶导数

$$\frac{\partial \Pi_{\mathrm{M}}^{D}}{\partial L}=(w-s)\int_{0}^{\frac{Q_1^D+Q_2^D}{L}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta-$$

$$(s-c_e)\int_{0}^{\frac{Q_1^D}{L}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta-c+s\mu,$$

$$\frac{\partial \Pi_{\mathrm{M}}^{D}}{\partial L}=-(w-s)\frac{Q_1^D+Q_2^D}{L^3}f\left(\frac{Q_1^D+Q_2^D}{L}\right)-$$

$$(c_e-s)\frac{Q_1^D}{L^3}f\left(\frac{Q_1^D}{L}\right)<0.$$

则目标函数关于 L 是凹函数. L^D 可以通过求解目标函数的一阶最优性条件得到. 比较式(3.5)和式(2.2)直接得出,非合作的分散式供应链并不能达到协调.

3.2 基于惩罚退款的收益共享契约

研究显示,常规的供应链契约并不能使基于随机产出风险分担的两级供应链达到协调,在原有的利益分享契约上进行改进创新,提出了 1 种基于惩罚退款的收益共享契约. 制造商设置了1 个目标 K,其中 $Q_1^C<K<(Q_1^C+Q_2^C)$. 为了促使零售商接受收益共享契约,本文提出了 2 种惩罚和退款形式,当制造商的实际供货量 $<K$ 时,制造商将给零售商 $\delta_1(K-\theta L)^+$ 的惩罚,又因为制造商的最低供货量是 Q_1, 那么惩罚不超过 $\delta_1(K-Q_1)^+$. 同时,对于订单 $>K$ 的部分,制造商将会给零售商 $\delta_2(Q_1+Q_2-K)^+$ 的退款. 令 $\rho(0<\rho<1)$ 作为收益共享契约的参数,先得到零售商的期望利润函数为

$$\Pi_{\mathrm{R}}^{S}=\rho[p_1Q_1+p_2\cdot\min((\theta L-Q_1)^+,Q_2)]-$$
$$wQ_1-w\min((\theta L-Q_1)^+,Q_2)+$$
$$\delta_1E_\theta[\min((K-\theta L)^+,K-Q_1)]+$$
$$\delta_2E_\theta(Q_1+Q_2-K)^+. \tag{3.6}$$

定理 4 对于给定的 $L>0$, 当契约参数满足 $\delta_1=c_e\rho-w$ 和 $\delta_2=(w-\rho s)\bar{F}\left(\frac{Q_1^C+Q_2^C}{L^C}\right)$ 时,零售商的最优决策 $p_1^S=p_1^C,p_2^S=p_2^C$.

证明 对目标函数 Π_{R}^{S} 求一阶导数可得:

$$\frac{\partial \Pi_{\mathrm{R}}^{S}}{\partial p_1}=\rho(1-2p_1+p_2)-(\rho p_2-w-\delta_1)F\left(\frac{Q_1}{L}\right)+$$

$$(\rho p_2-w)\gamma\bar{F}\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right)+\delta_2\gamma,$$

$$\frac{\partial \Pi_{\mathrm{R}}^{S}}{\partial p_2}=\rho\left(L\int_{\frac{Q_1}{L}}^{\frac{Q_1+Q_2}{L}}F(\theta)\mathrm{d}\theta+Q_2\right)-$$

$$(\rho p_2-w)(1+\gamma)\bar{F}\left(\frac{Q_1+Q_2}{L}\right)-(1+\gamma)\delta_2.$$

对比集中模型下的最优解,可以得出当契约参数满足以上条件时,集中模型下的最优解与收益共享契约的最优解相等.

由定理 4 得到零售商的最优决策 (p_1^S,p_2^S), 在此基础下,考虑制造商的最优决策,制造商的利润函数为

$$\Pi_{\mathrm{M}}^{S}=(1-\rho)[p_1Q_1+p_2\cdot\min((\theta L-Q_1)^+,Q_2)]+$$
$$wQ_1+w\min((\theta L-Q_1)^+,Q_2)-$$
$$\delta_1E_\theta[\min((K-\theta L)^+,K-Q_1)]-\delta_2E_\theta(Q_1+Q_2-K)^+-c_eE_\theta(Q_1-\theta L)^+-cL+sE_\theta(\theta L-Q_1-Q_2)^+. \tag{3.7}$$

定理 5 制造商的利润函数关于 L 是凹函数,且 $L^S=L^C$ 当且仅当等式 $(\rho c_e-w)\int_{\frac{Q_1^C}{L^C}}^{\frac{K}{L^C}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta=(\rho p_2^C-w)\int_{\frac{Q_1^C}{L^C}}^{\frac{Q_1^C+Q_2^C}{L^C}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta$ 成立.

证明 由定理 4 可知, $p_1^S=p_1^C,p_2^S=p_2^C$. 基于此,对制造商的利润函数求其一阶导数

$$\frac{\partial \Pi_{\mathrm{M}}^{S}}{\partial L}=[(1-\rho)p_2+w]\int_{\frac{Q_1^C}{L^C}}^{\frac{Q_1^C+Q_2^C}{L^C}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta+$$

$$\delta_1\int_{\frac{Q_1^C}{L^C}}^{\frac{K}{L^C}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta+c_e\int_{0}^{\frac{Q_1^C}{L^C}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta+s\int_{\frac{Q_1^C+Q_2^C}{L^C}}^{+\infty}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta-c.$$

将 $\delta_1=c_e\rho-w$ 代入,与定理 1 作对比,当且仅当等式

$$(\rho c_e-w)\int_{\frac{Q_1^C}{L^C}}^{\frac{K}{L^C}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta=(\rho p_2^C-w)\int_{\frac{Q_1^C}{L^C}}^{\frac{Q_1^C+Q_2^C}{L^C}}\theta f(\theta)\mathrm{d}\theta$$

成立时,最优决策相等.

命题 1 假设定理 4 和 5 均满足,那么新型收益共享契约能够协调供应链.

制造商所提出的契约是收益共享契约和惩罚退款契约的结合,这个契约是由 (δ_1,δ_2,K) 3 个参数构成, K 不仅平衡了制造商对零售商的惩罚退款,还促使制造商做出与集中模型下相同的最优生产决策;同理,通过适当地调节参数 (δ_1,δ_2), 使零售商做出与集中模型下相同的最优决策.

由命题 1 可知,当供应链达到协调时,制造商和零售商的期望利润函数由以下公式可得:

$$\Pi_{\mathrm{R}}^{C}=\rho\Pi^{C*}+G(K), \tag{3.8}$$

$$\Pi_{\mathrm{M}}^{C}=(1-\rho)\Pi^{C*}-G(K), \tag{3.9}$$

式中 $G(K)=(1-\rho)\Pi^{C*}-\Pi_{\mathrm{M}}^{S}(p_1^C,p_2^C,L^C)$.

命题 2 在新型收益共享契约能够使供应链

达到协调的前提下,当 $G(K)=0$ 时,通过改变参数 ρ 可以实现对最优供应链利润的调节.

4　数字实例

为了使前面的分析均在合理范围内成立,对参数进行以下限制:$0 \leqslant \gamma < 1, s < c < w < c_e$. 令模型中的参数初始值为 $s=0.1, c=0.2, c_e=0.6$, $w=0.4, \rho=\dfrac{\Pi_{\mathrm{R}}^{D*}+\Delta/2}{\Pi^{C*}}$, 其中 $\Delta=\Pi^{C*}-\Pi_{\mathrm{R}}^{D*}-\Pi_{\mathrm{M}}^{D*}$. 本文中的参数是为了契合模型对参数进行标准化之后的赋值.

在新型共享利益契约下,供应链可以达到协调(表 1). 分析了在 $\gamma=0.3$ 下,随机生产分布的不同对最优决策和利润的影响,当分布方差不同,期望相同时,分析随机分布处于 $U(0.2,1.2)$ 和 $U(0.4,1)$ 下最优值的变化,在集中模型中,期望相同,方差越小,利润越大,这与事实相符;当随机生产的变化幅度偏小时,风险更小,供应链的利润更高. 当分布的方差相同、期望不同时,随机变量的期望越大,在集中模型中供应链的整体利润越大,在分散模型中,制造商的利润在方差不变的情况下,与期望的变化成正比.

表 1　不同分布下供应链的最优决策和最优利润

模型	分布	p_1^*	p_2^*	L^*	Π_{R}^*	Π_{M}^*	Π_{SC}^*
集中	(0.2,1.2)	0.794 0	0.529 3	0.689 0	—	—	0.147 9
	(0.3,1.3)	0.788 5	0.516 1	0.693 0	—	—	0.171 4
	(0.4,1.0)	0.801 6	0.550 4	0.730 9	—	—	0.163 0
分散	(0.2,1.2)	0.839 0	0.758 8	0.306 4	0.089 5	0.016 2	0.105 7
	(0.3,1.3)	0.915 6	0.804 7	0.244 9	0.078 6	0.019 2	0.097 8
	(0.4,1.0)	0.896 8	0.830 9	0.218 9	0.071 7	0.016 3	0.088 0
协调	(0.2,1.2)	0.794 0	0.529 3	0.689 0	0.110 6	0.037 3	0.147 9
	(0.3,1.3)	0.802 4	0.554 1	0.715 0	0.115 4	0.056 0	0.171 4
	(0.4,1.0)	0.801 6	0.550 4	0.730 9	0.109 2	0.053 8	0.163 0

在随机分布为 $U(0.2,1.2)$ 时,各个利润函数随价格敏感系数的变化趋势见图 1,由图 1 可知集中模型的总利润与价格敏感系数成正比,同时也表明制造商和零售商的利益在协调契约的影响下,得到明显提高. 在随机分布为 $U(0.2,1.2)$ 时,弹性订单合同对总体供应链利润的影响见图 2. 表明了在集中模型下,弹性合同下的利润增长率随价格敏感度的变化曲线. 可以直观感受到弹性订单合同能够增加供应链的期望利润,降低随机生产风险.

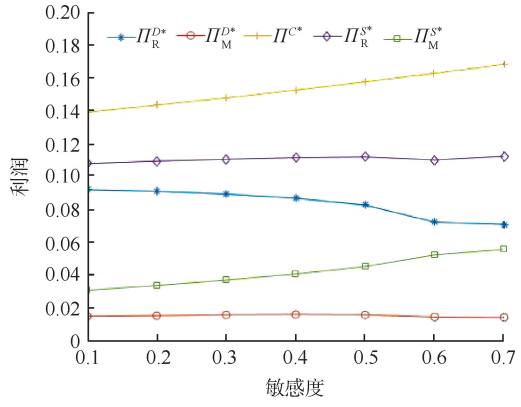


图 1　价格敏感系数对利润的影响

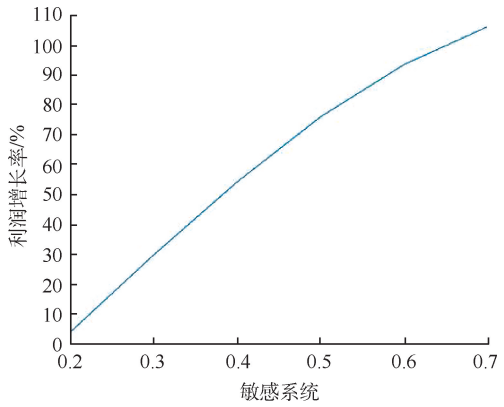


图 2　在弹性订单政策下价格敏感度对利润增长率的影响

5　结　论

本文考虑的是在随机生产的基础上,对零售商二次降价模型进行了分析. 制造商和零售商进行协商,提出了弹性订单合同使得集中模型下的最优利润得到提升,在分散模型中,利用 Stackelberg 博弈理论,求出当制造商作为主导者时,上下游双方的最优决策与集中模型下的最优决策进行比较,并不

能达到最优.于是提出了能够使供应链达到协调的新型契约,在一定条件下,可以通过改变参数来实现剩余利润的分配,使得上下游双方在协调模型中的利润能够达到最优.

参 考 文 献

[1] TAYLOR T A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects[J]. Management Science, 2002, 48(8):992 – 1007.

[2] HE Y, ZHAO X, ZHAO L, et al. Coordinating a supply chain with effort and price dependent stochastic demand[J]. Applied Mathematical Modelling, 2009, 33(6):2777 – 2790.

[3] HU F, LIM C C, LU Z. Coordination of supply chains with a flexible ordering policy under yield and demand uncertainty [J]. International Journal of Production Economics, 2013, 146(2):686 – 693.

[4] HE Y, ZHAN X. Coordination in multi-echelon supply chain under supply and demand uncertainty[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 139(1):106 – 115.

[5] PANG Q, CHEN Y, HU Y. Three-level supply chain coordination under disruptions based on revenue-sharing contract with price dependent demand[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2014, 2014(7):1 – 11.

[6] YANO C A, LEE H L. Lot sizing with random yields: a review[J]. Operations Research, 1995, 43(2):311 – 334.

[7] MUKHOPADHYAY S K, MA H. Joint procurement and production decisions in remanufacturing under quality and demand uncertainty[J]. International Journal of Production Economics, 2009, 120(1):5 – 17.

[8] HE Y, ZHANG J. Random yield risk sharing in a two-level supply chain[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 112(2):769 – 781.

[9] HE Y. Supply risk sharing in a closed-loop supply chain[J]. International Journal of Production Economics, 2017, 183:39 – 52.

[10] 华晴云. 不确定性下供应链中的最优生产策略[D]. 天津:天津大学,2016.

[11] 刘海军,陈菊红. 考虑零售商二次降价的供应链回购契约[J]. 中国管理科学,2009(17):343 – 346.

[12] 周海坚. 基于回购的二次降价销售供应链契约研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.

[13] CHIANG W K, CHHAJED D, HESS J D. Direct marketing, indirect profits: a strateg analysis of dual-channel supply chain design[J]. Management Science,2003,49(1):1 – 20.

[14] LI J C, ZHOU Y W, HUANG W. Production and procurement strategies for seasonal product supply chain under yield uncertainty with commitment-option contracts[J]. International Journal of Production Economics, 2016, 183:208 – 222.

Coordination of Supply Chains with Retailer's Second Price Reduction Under Random Yield

WANG Ning HU Fei

(School of Mathematics, Tianjin University, Tianjin 300350)

Abstract: This paper studied the optimal decisions of supply chains with retailer's second price reduction under random yield. Retailer predicted the demand by using price effect and limited rational consumption, and the manufacturer proposed the contract of elastic order to reduce the risk brought by the random yield, and enhanced the profit of the centralized supply chain. This paper analyzed the optimal policies of the centralized scenario and decentralized scenario, and took revenue sharing contract to make the decentralized model achieve coordination under certain restrictions. Numerical examples were given to verify the conclusion.

Keywords: random yield; flexible order contract; price effect; supply chain coordination