

## 产量和需求随机下基于收益共享契约的供应链决策

许民利<sup>1</sup>, 李舒颖<sup>2</sup>

(1. 中南大学 商学院, 长沙 410083; 2. 广西科技大学 鹿山学院, 广西 柳州 545000)

**摘要:** 针对产量和需求都随机的供应链, 在条件风险值(CVaR)的度量准则下, 建立具有风险规避型零售商的供应链最优决策模型, 探讨收益共享契约下供应链协调的条件, 并进行了数值分析. 研究表明, 零售商的风险规避以及产量的不确定性将降低最优订购量及供应链效益; 收益共享契约可以优化产量和需求随机条件下的供应链运作效率, 并在一定条件下使供应链达到协调.

**关键词:** 随机产量; 随机需求; 风险规避; 条件风险值; 收益共享契约

中图分类号: F203; F224.32

文献标志码: A

## Decision of supply chain based on revenue-sharing contract with random yield and random demand

XU Min-li<sup>1</sup>, LI Shu-ying<sup>2</sup>

(1. Business School, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Lushan College, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545000, China. Correspondent: XU Min-li, E-mail: xuminli@csu.edu.cn)

**Abstract:** Under the conditional value-at-risk(CVaR) criterion, an optimal decision-making model of the supply chain with the risk-averse retailer is built under random yield and random demand. The coordination conditions of the supply chain with revenue sharing contract are analyzed, and a numerical example is analyzed to verify the theory. The results show that the risk-aversion of the retailer and the uncertainty of yield can reduce the optimal order and the benefit of the supply chain. The revenue sharing contract can improve the benefit of the supply chain with random yield and random demand, and coordinate the supply chain under some conditions.

**Keywords:** random yield; random demand; risk-aversion; CVaR; revenue-sharing contract

### 0 引言

供应链协调已成为供应链管理领域研究的热点, 而供应的不确定性对供应链协调有着重要的影响. 供应商产出的随机性是导致供应不确定性的一个重要因素. 例如: 温度、湿度、空气中的尘粒含量以及环境洁净度稍微不达标就会影响电子产品的质量和产量; 在生物化工行业, 温度、湿度、催化剂等不可控因素会影响其最终产量; 农业的产量也会受到气候和种植技术等因素的影响. 随机产量下的供应链决策与确定性产量下的决策有着很大不同, 因此, 探讨随机产量对供应链契约的影响具有十分重要的现实意义.

研究随机需求问题的文献已经有很多, 如但斌等<sup>[1]</sup>在随机需求条件下, 针对双渠道供应链中同一产品在不同渠道间的替代性, 建立了协调双渠道供应链

的收益共享契约模型. 但是, 研究随机产量问题的文献并不太多. 例如: Shih<sup>[2]</sup>基于随机比例产出模型, 分析了随机产量下零售商的最优订货量, 并给出了求解方法. Keren<sup>[3]</sup>分析了确定性需求下不同随机产量模型的供应链库存问题, 并给出了最优决策. 彭红军等<sup>[4]</sup>研究了具有两级生产不确定和随机需求的供应链生产和订购决策问题. 文献[5-6]研究了需求和产量不确定下生产与订购决策问题, 并给出了最优订购量和生产决策模型. 文献[7-9]研究了产出随机下的供应链协调问题, 分析了随机产出对供应链参与者的最优决策和供应链协调策略的影响. Gulera等<sup>[10]</sup>研究了随机需求和乘法型随机产量的情况, 采用供应商回购和利润共享契约对供应链进行协调. Xu<sup>[11]</sup>研究了随机产量和随机需求下供应链的生产管理, 证明了期

收稿日期: 2015-07-01; 修回日期: 2015-10-14.

基金项目: 国家社会科学基金项目(14BGL196); 国家自然科学基金项目(71372061); 湖南省自然科学基金项目(2015JJ2177).

作者简介: 许民利(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理研究; 李舒颖(1989—), 女, 助教, 硕士, 从事供应链管理的研究.

权合约可以实现供应链协调. Hu 等<sup>[12]</sup>对产量和需求不确定下制造商和供应商的数量弹性契约进行了研究, 并提出一个联合契约来协调供应链. 以上文献都假设供应链成员风险中性, 而实际中供应链成员可能会具有不同的风险偏好.

目前, 已有部分学者将风险因素引入产量不确定的供应链研究中. He 等<sup>[13]</sup>分析了供应商随机产出情形下风险共享时供应商和零售商的最优决策, 但没有考虑风险态度对供应链决策的影响. 李响等<sup>[14]</sup>进行了更深一步的研究, 针对废旧品回收问题, 分别建立了不确定需求和不确定产量下的定价模型, 以证明在不同风险态度下, 供应链的定价决策是唯一的. He 等<sup>[15]</sup>分析了需求和产量不确定下多级供应链的契约协调问题, 进一步探讨了供应商风险态度对其决策的影响. 这些文献大都分析风险偏好对最优订购策略的影响, 但没有具体分析随机产量、随机需求和风险态度如何共同影响供应链契约.

风险分析工具较多, 风险价值 (VaR) 和条件风险价值 (CVaR) 是应用比较广泛的两种工具. 但是, VaR 不能满足一致性公理, 缺乏对尾部风险的度量, 缺乏次可加性, 且在求解时存在很大困难<sup>[16]</sup>; 而 CVaR 克服了 VaR 中的这些缺陷, 求解也比较方便, 考虑了超过分位点的损失风险, 在理论上更为完善, 具有很强的实用性<sup>[17]</sup>, 在风险测度中得到了广泛应用. 因此, 本文选择 CVaR 作为测度供应链成员风险偏好的分析工具.

随机需求和随机产出在实际生产中客观存在, 此情境下研究它们如何影响供应链决策具有重要的现实意义. 从已有文献看, 一些学者研究了风险中性假设下, 需求和产出随机时的供应链决策, 如文献 [13], 但风险规避或者风险寻求在实践中更为常见. 目前尚未发现研究风险规避或者风险寻求假设下需求和产量随机时供应链决策问题的相关文献. 因此, 本文基于收益共享契约, 考虑零售商风险规避态度, 构建随机需求和随机产量下的供应链决策模型, 重点考察需求和产量的随机性以及零售商的风险规避如何影响供应链契约参数, 以及收益共享契约使供应链协调的条件, 这是本文与已有文献的主要不同点.

## 1 供应链决策模型

在由一个供应商和一个零售商组成的两级供应链中: 市场需求  $X$  为连续非负随机变量, 其分布函数和密度函数分别为  $F(\cdot)$  和  $f(\cdot)$ ; 供应商生产能力  $Y$  为连续非负随机变量, 其分布函数和密度函数分别为  $G(\cdot)$  和  $g(\cdot)$ ; 供应商单位生产成本为  $c$ ; 批发价格为  $w$ ; 产品的市场单价为  $p$ , 设  $p$  是外生变量;  $q$  为零售商订货量;  $s$  为期末单位滞销产品的净残值. 假设  $s < w$

$< p$ , 没有缺货惩罚.

设  $h(q, x)$  为收益函数, 置信水平  $\beta \in [0, 1]$ , VaR 表示在给定置信水平下预期的最小可能收益值, 即

$$\text{VaR}_\beta(x) = \min\{\alpha \in R : P_r\{h(q, X) \leq \alpha\} \geq 1 - \beta\}. \quad (1)$$

Rockafellar 等<sup>[18]</sup>在 VaR 的基础上提出了条件风险价值 (CVaR) 模型. CVaR 是利润低于 VaR 部分的期望值, 用来度量低于某个分位数的利润的平均值, 它克服了 VaR 的缺点, 其定义为

$$\begin{aligned} \text{CVaR}_\beta(q) &= \\ E[h(q, X) | h(q, X) \leq \text{VaR}_\beta(q)] &= \\ (1 - \beta)^{-1} \int_{h(q, x) \leq \text{VaR}_\beta(q)} h(q, x) f(x) dx. \end{aligned} \quad (2)$$

Rockafellar 等为了解决 CVaR 定义公式包含 VaR 值所造成的求解困难, 提出了如下公式:

$$\begin{aligned} \text{CVaR}_\beta(q) &= \\ \max[\alpha + (1 - \beta)^{-1} E[\min(h(q, X) - \alpha, 0)]] &. \end{aligned} \quad (3)$$

为方便计算, 构造辅助函数

$$\begin{aligned} T_\beta(q, \alpha) &= \\ \alpha + (1 - \beta)^{-1} \int_{x \in R} [h(q, x) - \alpha]^- f(x) dx, \end{aligned}$$

其中  $z^- = \min(0, z)$  为实数  $z$  的函数.  $T_\beta(q, \alpha)$  是连续可微凸函数, 当  $T_\beta(q, \alpha)$  取最大值时,  $\alpha$  值最大, 即 VaR 值最大, 有

$$\text{CVaR}_\beta(q) = \max_{\alpha \in R} T_\beta(q, \alpha). \quad (4)$$

在产品供应量充足情况下, 零售商收益函数为

$$\pi_0 = (p - w)q - (w - s)(q - X)^+. \quad (5)$$

参照文献 [19], 当零售商的风险规避水平为  $\beta$  时, 其最优订货量为

$$q_0^* = F^{-1}\left(\frac{(1 - \beta)(p - w)}{p - s}\right).$$

当供应商面临随机产量时, 零售商收益函数为

$$\begin{aligned} \pi_r(q) &= \\ \begin{cases} (p - w) \min(Y, X) - (w - s)(\min(q, Y) - X)^+, \\ \quad X \leq q; \\ (p - w) \min(q, Y), X > q. \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

零售商的期望收益函数为

$$\begin{aligned} E(\pi_r(q)) &= \\ \int_q^{+\infty} \int_0^q [(s - w)q + (p - s)x] dF(x) dG(y) + \\ \int_q^{+\infty} \int_q^{+\infty} (p - w)q dF(x) dG(y) + \\ \int_0^q \int_0^y [(p - s)x + (s - w)y] dF(x) dG(y) + \\ \int_0^q \int_y^{+\infty} (p - w)y dF(x) dG(y). \end{aligned} \quad (7)$$

供应商面临能力限制, 当产量不大于零售商订货量时, 供应商提供给零售商的产品数量为其实际产量; 当产量大于零售商的订货量时, 供应商提供给零售商的产品数量为其订购量, 但供应商实际投入的生产成本为其产量与单位生产成本之积. 所以, 供应商的收益函数为

$$\pi_s(q) = \begin{cases} (w - c)Y, & Y \leq q; \\ wq - cY, & Y > q. \end{cases} \quad (8)$$

供应商的期望收益函数为

$$E(\pi_s(q)) = \int_0^q (w - c)y dG(y) + \int_q^{+\infty} (wq - cy) dG(y). \quad (9)$$

### 1.1 风险规避零售商的订购决策

当零售商风险规避时, 其风险规避水平为  $\beta$ , 在 CVaR 风险度量准则下, 零售商需要通过确定最优的订购数量  $q_i^*$  以最大化其目标函数, 即

$$CVaR_\beta(\pi_r(q)) = \max[\alpha + (1 - \beta)^{-1} E[\min(\pi_r(q) - \alpha, 0)]]. \quad (10)$$

**定理 1** 在供应商产量随机、零售商风险规避情况下, 零售商的最优订购量满足

$$F(q_i^*) = \frac{(p - w)(1 - \beta - G(q_i^*))}{(p - s)(1 - G(q_i^*))}. \quad (11)$$

证明略.

定理 1 表明, 零售商的最优订购量受随机需求、随机产量和零售商风险规避程度的影响.

**推论 1** 在需求和产量随机时, 风险规避型零售商的最优订货量随着  $\beta$  的增大而减小.

**证明** 将式 (11) 两边同时对  $\beta$  求导, 经化简可得

$$\left( \frac{\partial F(q_i^*)}{\partial q_i^*} + \frac{(p - w) \frac{\partial G(q_i^*)}{\partial q_i^*} \beta}{(p - s)(1 - G(q_i^*))^2} \right) \frac{\partial q_i^*}{\partial \beta} = - \frac{(p - w)(1 - G(q_i^*))}{(p - s)(1 - G(q_i^*))^2}. \quad (12)$$

因为  $F(q_i^*)$  和  $G(q_i^*)$  是分布函数, 所以  $\frac{\partial F(q_i^*)}{\partial q_i^*}$  和  $\frac{\partial G(q_i^*)}{\partial q_i^*}$  非负. 等式 (12) 右边小于 0, 易得到  $\frac{\partial q_i^*}{\partial \beta} < 0$ , 所以  $q_i^*$  随  $\beta$  的增大而减小.  $\square$

由推论 1 可知, 风险规避型零售商会根据其风险规避程度适当减少其订购量以规避风险, 供应商应设计合理的契约以激励零售商多订购.

### 1.2 供应链收益共享契约的协调分析

供应商提出收益共享契约以激励零售商, 零售商承诺将销售收入的一定比例  $(1 - \phi)$  返还给供应商, 以补偿供应商因降低批发价带来的收益损失. 假设  $w < c^{[20]}$ ,  $w < \phi p$ ,  $s < \phi p$ .

在集中决策下, 参照文献 [21-22], 构造零售商风险规避型供应链的目标函数  $T(\pi_{sc})$  为

$$\begin{aligned} & (1 - \beta)^{-1} \int_q^{+\infty} \int_0^q [(s - p)q + \\ & (p - s)x] dF(x) dG(y) + \\ & (1 - \beta)^{-1} \int_0^q \int_y^{+\infty} [(p - w) \times \\ & (y - q)] dF(x) dG(y) + \\ & (1 - \beta)^{-1} \int_0^q \int_0^y [(p - s)x + \\ & (s - w)y - (p - w)q] dF(x) dG(y) + \\ & \int_0^q (w - c)y dG(y) + \\ & \int_q^{+\infty} (wq - cy) dG(y) + (p - w)q. \end{aligned} \quad (13)$$

将供应链目标函数对  $q$  求一阶偏导数和二阶偏导数, 容易证明二阶偏导数小于零, 因此令一阶偏导数为零, 可求得集中决策下供应链的最优订货量为

$$q^T = F^{-1} \left( \frac{(p - w)(1 - \beta - G(q)) + w\beta(1 - G(q))}{(1 - G(q))(p - s)} \right). \quad (14)$$

在分散决策系统中, 收益共享契约下风险规避型零售商的收益函数为

$$\pi_r^II(q) = \phi p \min\{x, q, y\} - w \min\{q, y\} + s[\min\{q, y\} - x]^+. \quad (15)$$

零售商的期望收益函数  $E(\pi_r^II(q))$  为

$$\begin{aligned} & \int_q^{+\infty} \int_0^q [\phi px - wq + s(q - x)] dF(x) dG(y) + \\ & \int_q^{+\infty} \int_q^{+\infty} [\phi pq - wq] dF(x) dG(y) + \\ & \int_0^q \int_0^y [\phi px - wy + s(y - x)] dF(x) dG(y) + \\ & \int_0^q \int_y^{+\infty} [\phi py - wy] dF(x) dG(y). \end{aligned} \quad (16)$$

供应商的期望收益函数  $E(\pi_s^II(q))$  为

$$\begin{aligned} & \int_q^{+\infty} \int_0^q [wq - cy + (1 - \phi)px + \\ & (1 - \phi)s(q - x)] dF(x) dG(y) + \\ & \int_q^{+\infty} \int_q^{+\infty} [wq - cy + \\ & (1 - \phi)pq] dF(x) dG(y) + \\ & \int_0^q \int_0^y [wy - cy + (1 - \phi)px + \\ & (1 - \phi)s(y - x)] dF(x) dG(y) + \\ & \int_0^q \int_y^{+\infty} [wy - cy + (1 - \phi)py] dF(x) dG(y). \end{aligned} \quad (17)$$

**定理 2** 当零售商为风险规避者, 供应商产量随机时, 在收益共享契约下, 零售商的最优订货量  $q_r^{II}$

应满足

$$F(q_{II}^*) = \frac{(\phi p - w)(1 - \beta - G(q_{II}^*))}{(\phi p - s)(1 - G(q_{II}^*))}. \quad (18)$$

证明略。

定理 2 表明, 与无契约相比, 收益共享契约下, 零售商的最优订购量还受收益共享系数的影响。

**推论 2** 在需求和产量都不确定时, 收益共享契约下的零售商最优订货量  $q_{II}^*$  关于  $\beta$  单调递减。

**证明** 式(18)对  $\beta$  求导, 经化简可得

$$\left( \frac{\partial F(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*} + \frac{(\phi p - w) \frac{\partial G(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*} \beta}{(\phi p - s)(1 - G(q_{II}^*))^2} \right) \frac{\partial q_{II}^*}{\partial \beta} = - \frac{(\phi p - w)}{(\phi p - s)(1 - G(q_{II}^*))}. \quad (19)$$

$F(q_{II}^*)$  和  $G(q_{II}^*)$  是分布函数, 所以  $\frac{\partial F(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*}$  和  $\frac{\partial G(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*}$  非负. 由于  $\phi p > w, \phi p > s$ , 式(19)右边小于 0, 要使等式成立, 则  $\frac{\partial q_{II}^*}{\partial \beta} < 0$ , 所以  $q_{II}^*$  随着  $\beta$  的增大而减小.  $\square$

在需求和产量都不确定的情况下, 虽然收益共享契约激励下的零售商最优订货量  $q_{II}^*$  随  $\beta$  的增大而减小, 与无收益共享契约进行分散决策的情形相似, 但从式(18)可以看出, 由于收益共享系数  $\phi$  是由零售商和供应商谈判得到, 适当调整  $\phi$  的大小可以降低零售商风险规避行为对最优订购量的不利影响。

**推论 3** 需求和产量随机时, 收益共享契约下的零售商最优订货量  $q_{II}^*$  是关于  $\phi$  的单调递增函数。

**证明** 将式(18)两边同时对  $\phi$  求导, 经化简可得

$$\left( \frac{\partial F(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*} + \frac{(\phi p - w)(\phi p - s) \frac{\partial G(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*}}{(\phi p - s)^2(1 - G(q_{II}^*))^2} \right) \frac{\partial q_{II}^*}{\partial \phi} = \frac{p(1 - \beta - G(q_{II}^*))(w - s)}{(\phi p - s)^2(1 - G(q_{II}^*))}. \quad (20)$$

因为  $F(q_{II}^*)$  和  $G(q_{II}^*)$  是分布函数, 所以  $\frac{\partial F(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*}$  和  $\frac{\partial G(q_{II}^*)}{\partial q_{II}^*}$  非负. 由式(17)可知, 要使该表达式有意义, 必须存在  $1 - \beta - G(q_{II}^*) > 0$ , 因为  $w > s, \frac{\partial q_{II}^*}{\partial \phi} \geq 0$ , 所以  $q_{II}^*$  是关于  $\phi$  的单调递增函数.  $\square$

当批发价大于残值时, 零售商未售出商品越多, 亏损就越大. 为了激励零售商订购更多商品, 供应商必须提高收益共享系数, 此时  $q_{II}^*$  随着  $\phi$  的增大而增大. 参照文献[21], 为了使供应链协调, 应满足  $q_{II}^* = q_T$ , 即收益共享契约下分散决策时零售商最优订货量与集中决策时订货量相等, 可得到如下结论。

**定理 3** 当零售商风险规避时, 为了实现供应

链协调, 供应商提出的最优批发价应满足

$$w_{\pi} = \frac{psA(1 - \phi)}{pA(1 - \phi) + \beta(1 - G(q_{\pi}^*))(p\phi - s)}, \quad (21)$$

其中  $A = 1 - \beta - G(q_{\pi}^*)$ .

由式(21)可看出, 最优批发价受零售商的风险规避水平、收益共享系数、产量的分布函数等因素的影响, 供应商制定批发价时需要考虑这些因素。

在实际中, 供应商和零售商都会从自己的角度出发, 在自己利润达到最大时才会进一步考虑供应链整体收益. 所以, 收益共享契约应满足以下条件:

$$\begin{aligned} E(\pi_r^{\pi}(q_{II}^*)) &\geq E(\pi_r(q_i^*)), \\ E(\pi_s^{\pi}(q_{II}^*)) &\geq E(\pi_s(q_i^*)), \end{aligned}$$

即

$$\begin{aligned} \phi E(\pi_T) &\geq E(\pi_r(q_i^*)), \\ (1 - \phi)E(\pi_T) &\geq E(\pi_s(q_i^*)). \end{aligned}$$

经化简可得

$$\frac{E(\pi_r(q_i^*))}{E(\pi_T)} \leq \phi \leq 1 - \frac{E(\pi_s(q_i^*))}{E(\pi_T)}. \quad (22)$$

收益共享契约成立的条件是: 双方获得收益不小于无收益共享契约时各自所获得的收益, 当收益共享系数  $\phi$  满足不等式(22)时, 收益共享契约成立。

## 2 数值分析

为了方便求解, 假设市场需求  $X$  在区间  $[0, 200]$  上服从正态分布  $X \sim N(100, 20^2)$ . 供应商的生产能力  $Y$  在区间  $[80, 120]$  上服从均匀分布. 单位生产成本  $c = 12$ , 零售价  $p = 38$ , 净残值  $s = 9$ .

图 1 表示在无随机产量约束和有随机产量约束两种情形下零售商的最优订货. 由图 1 可以看出, 当零售商是风险规避者时, 随着零售商风险规避度的增加, 为了规避损失, 其订购量会逐步减少, 而产量的不确定性会进一步降低零售商的最优订购量。

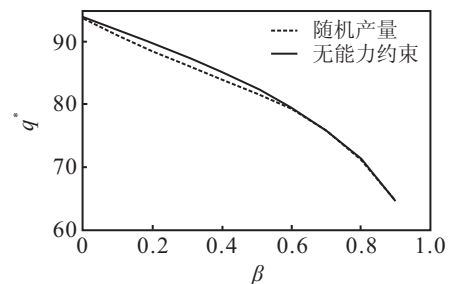


图 1 考虑随机产量时  $q^*$  与  $\beta$  的关系曲线

图 2 为考虑收益共享契约时  $q^*$  与  $\beta$  的关系曲线. 由图 2 可以看出, 零售商最优订货量  $q^*$  关于  $\beta$  单调递减, 这与推论 1 的结论一致. 相对于无收益共享契约的情形, 收益共享契约可以提高零售商的最优订货量. 因为收益共享契约能降低供应链中的不确定性, 激励零售商订购更多商品, 改善供应链效益。

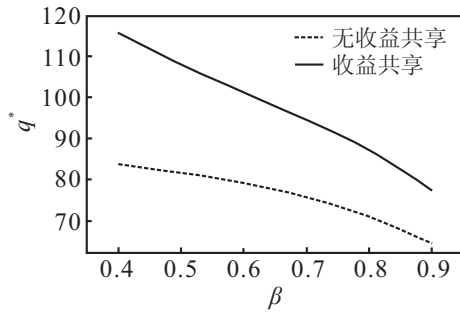


图 2 考虑收益共享契约时  $q^*$  与  $\beta$  的关系曲线

图 3 为  $q_{II}^*$  与  $\phi$  及  $\beta$  的关系曲线. 由图 3 可以看出, 在合理的  $(\beta, \phi)$  数值条件下, 收益共享模型存在可行解. 收益共享契约激励下的零售商最优订货量  $q_{II}^*$  随着  $\beta$  的增大而减小, 随着  $\phi$  的增大而增大, 这与推论 2 和推论 3 的结论一致.

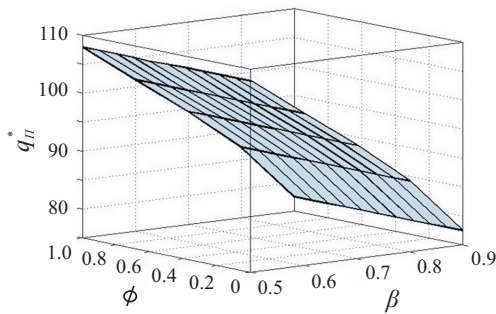


图 3  $q_{II}^*$  与  $\phi$  及  $\beta$  的关系曲线

令  $\beta = 0.4$ ,  $\phi$  从 0.41 取到 0.46, 把已知相关参数代入, 得到收益共享契约激励下供应链参与者期望收益与  $\phi$  的变化情况, 如图 4 所示. 由图 4 可以看出, 随着收益共享因子增大, 零售商的期望收益越来越大, 而供应商的期望收益则越来越小, 但供应商的期望收益一直高于零售商的期望收益.

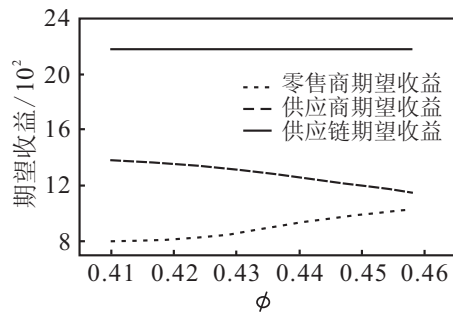


图 4 期望收益与  $\phi$  的关系曲线

令  $\phi = 0.44$ ,  $\beta$  从 0.4 取到 0.9, 把相关参数代入, 可以得到收益共享契约下期望收益与  $\beta$  的关系, 如图 5 所示. 由图 5 可以看出, 随着风险规避度增大, 零售商、供应商以及供应链整体的期望收益都越来越小, 但供应商的期望收益一直高于零售商的期望收益. 对数据进行比较分析可知, 当收益共享因子

$$\phi \in \left( \frac{E(\pi_r(q^*, w^*))}{E(\pi_T)}, 1 - \frac{E(\pi_s(q^*, w^*))}{E(\pi_T)} \right)$$

时, 收益共享契约能改善含有风险规避型零售商的供应链效益. 由于供应商是供应链的主导者, 它获得供应链的大部分利润, 可通过调整收益共享因子  $\phi$  对供应链利润重新分配.

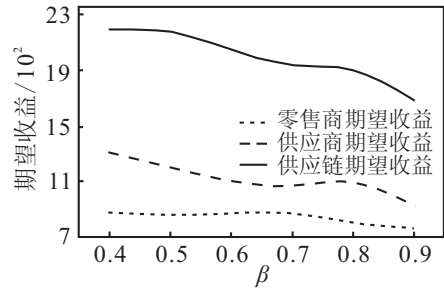


图 5 期望收益与  $\beta$  的关系曲线

### 3 结 论

本文针对由一个风险中性供应商和一个风险规避型零售商组成的两级供应链, 考虑需求随机和产量随机, 构建了基于收益共享契约的决策模型, 分析零售商和供应商的决策行为. 研究表明: 产量的不确定性使风险规避型零售商的最优订购量进一步减小; 该最优订货量关于风险规避系数  $\beta$  单调递减, 关于共享系数  $\phi$  单调递增; 收益共享契约使零售商的最优订货量有所提高. 在一定条件下, 收益共享契约能够协调需求和产量不确定且零售商风险规避的供应链. 未来尚有许多问题值得进一步研究, 如: 研究多个零售商和供应商的情形; 考虑供应商风险态度的情形; 考虑更多契约下风险规避或者风险寻求对需求和产量同时不确定时供应链协调的影响等.

### 参考文献(References)

- [1] 但斌, 徐广业. 随机需求下双渠道供应链协调的收益共享契约[J]. 系统工程学报, 2013, 28(4): 514-521.  
(Dan B, Xu G Y. Revenue sharing contract for dual-channel supply chain coordination with stochastic demand[J]. J of Systems Engineering, 2013, 28(4): 514-521.)
- [2] Shih W. Optimal inventories policies when stockouts result from defective products[J]. Int J of Production Research, 1980, 18(6): 677-686.
- [3] Kerena B. The single-period inventory problem: Extension to random yield from the perspective of the supply chain[J]. Omega, 2009, 37(4): 801-810.
- [4] 彭红军, 周梅华. 两级生产与需求不确定的供应链生产订购决策[J]. 系统工程学报, 2010, 25(5): 622-628.  
(Peng H J, Zhou M H. Production and ordering decision in supply chain with uncertainty in two-echelon yields and demand[J]. J of Systems Engineering, 2010, 25(5): 622-628.)
- [5] Kazaz B. Production planning under yield and demand uncertainty with yield-dependent cost and price[J].

- Manufacture & Service Operations Management, 2004, 6(3): 209-224.
- [6] Wang C X. Random yield and uncertain demand in decentralised supply chains under the traditional and VMI arrangements[J]. Int J of Production Research, 2009, 47(7): 1955-1968.
- [7] Gurnani H, Akella R, Lehoczky J. Supply management in assembly systems with random yield and random demand[J]. IIE Transactions, 2000, 32(8): 701-714.
- [8] 赵霞, 吴方卫. 随机产出与需求下农产品供应链协调的收益共享合同研究[J]. 中国管理科学, 2009, 17(5): 88-95.  
(Zhao X, Wu F W. Coordination of agri-food chain with revenue-sharing contract under stochastic output and demand[J]. Chinese J of Management Science, 2009, 17(5): 88-95.)
- [9] Kelle P, Transch S, Minner S. Buyer-supplier cooperation and negotiation support with random yield consideration[J]. Int J of Production Economics, 2009, 118(1): 152-159.
- [10] Gulera M G, Bilgic T. On coordinating an assembly system under random yield and random demand[J]. European J of Operational Research, 2009, 196(1): 342-350.
- [11] Xu H. Managing production and procurement through option contracts in supply chains with random yield[J]. Int J of Production Economics, 2010, 126(2): 306-313.
- [12] Hu F, Lim C, Lu Z. Coordination of supply chains with a flexible ordering policy under yield and demand uncertainty[J]. Int J of Production Economics, 2013, 146(2): 686-693.
- [13] He Y J, Zhang J. Random yield risk sharing in a two-level supply chain[J]. Int J of Production Economics, 2008, 112(2): 769-781.
- [14] 李响, 李勇健, 蔡小强. 随机产率和随机需求下的再制造系统的回收定价决策[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(8): 19-27.  
(Li X, Li Y J, Cai X Q. Collection pricing decision in a remanufacturing system considering random yield and random demand[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2009, 29(8): 19-27.)
- [15] He Y, Zhao X. Coordination in multi-echelon supply chain under supply and demand uncertainty[J]. Int J of Production Economics, 2012, 139(1): 106-115.
- [16] Artzner P, Delbaen F, Eber J, et al. Coherent measures of risk[J]. Mathematical Finance, 1999, 9(3): 203-228.
- [17] 潘志斌. 金融市场风险度量[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 2008: 73-78.  
(Pan Z B. Risk measurement of financial market[M]. Shanghai: Shanghai Academy of Social Sciences Press, 2008: 73-78.)
- [18] Rockafella R, Uryasev S. Optimization of conditional value-at-risk[J]. J of Risk, 2000, 2(3): 21-42.
- [19] Chen X, Sim M, Levi D, et al. Risk aversion in inventory management[J]. Operations Research, 2007, 55(5): 828-842.
- [20] Giannoccaro I, Pontrandolfo P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts[J]. Int J of Production Economics, 2004, 89(2): 131-139.
- [21] 邱若臻, 黄小原. 基于条件风险值准则的供应链回购契约协调策略[J]. 运筹与管理, 2011, 4(20): 10-16.  
(Qiu R Z, Huang X Y. The supply chain buyback contract coordination strategy based on conditional value-at-risk criterion[J]. Operations Research and Management Science, 2011, 4(20): 10-16.)
- [22] 林强, 叶飞, 陈晓明. 随机弹性需求条件下基于 CVaR 与收益共享契约的供应链决策模型[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(12): 2296-2307.  
(Lin Q, Ye F, Chen X M. Decision models for supply chain based on CVaR and revenue sharing contract under stochastic elastic demand[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2011, 31(12): 2296-2307.)

(责任编辑: 李君玲)