第 31 卷 第 1 期
Vol. 31 No. 1

控 制 与 决 策
Control and Decision

2016 年 1 月
Jan. 2016

文章编号: 1001-0920 (2016) 01-0091-08 **DOI:** 10.13195/j.kzyjc.2014.1335

不同风险偏好下双渠道供应链定价决策

许民利, 聂晓哲, 简惠云

(中南大学 商学院，长沙 410083)

摘 要: 为了探讨风险偏好对双渠道供应链决策的影响, 基于条件风险值 (CVaR) 准则建立双渠道供应链定价决策模型, 并给出了模型的求解方法和最优解. 研究表明, 根据不同风险偏好程度, 供应链成员会采取不同定价策略; 当制造商风险偏好程度确定、零售商风险规避度增加时, 最优零售价降低, 最优批发价升高, 直销价不减; 当零售商风险偏好度确定、制造商风险规避度增加时, 各最优价格均降低; 风险偏爱的影响则与风险规避相反.

关键词: 双渠道供应链；风险规避；风险偏爱；Stackelberg 博弈；条件风险值

中图分类号: F203；F224.32 **文献标志码:** A

Pricing decision of dual-channel supply chain with risk preference

XU Min-li, NIE Xiao-zhe, JIAN Hui-yun

(Business School，Central South University，Changsha 410083，China．Correspondent：XU Min-li，E-mail: 13487316039@163.com)

Abstract: In order to discuss the influence of the risk preference on the pricing decision of dual-channel supply chain, and the pricing decision models based on conditional value at risk(CVaR) are built, and the optimal price decision is obtained. It is found that the members of the supply chain will adopt different pricing decision according to different risk preferences. When the manufacturer’s risk preference is certain, the more the retailer hates the risk, the lower the retailing price is, the higher the wholesale price is, and the same or higher of the direct sales price will be. When the retailer’s risk preference is certain, the risk-averse attitude of the manufacturer will cut down all the optimal prices. In the risk-taking scenario, the results are just contrary.

Keywords: dual-channel supply chain；risk-averse；risk-taking；Stackelberg game；conditional value at risk

0 引 言

随着网络的发展以及电子商务的普及, 销售渠道出现了多样化, 既有传统分销与零售, 也有网络直销. IBM, NIKE, APPLE 等公司采取了双渠道销售模式[1]. 双渠道供应链的兴起虽然只有三十几年, 但显然比单一渠道更具有竞争优势[2].

双渠道供应链的定价问题是一个热点问题, 受到了国内外许多学者的关注. Yue 等[3]研究了随机需求下的双渠道定价策略. Yao 等[4]研究了确定型需求下的双渠道供应链定价问题. 黄松等[5]研究了需求和成本波动时, 双渠道的定价问题. 金磊等[6]针对实体店建立网络渠道的情形, 研究双渠道的库存和定价问题. 林杰等[7]研究了闭环双渠道供应链在制造商和零售商分别为市场领导者的定价策略. 许传永等[8]从消费者效用和购买成本角度研究双渠道供应链的定价问题. 陈云等[9]研究了分别由电子零售商和制造商建立的网上直销渠道组成的两类双渠道供应链的定价问题. 许垒等[10]在双渠道供应链中考虑网络渠道风险和零售渠道搜索成本, 探讨 4 种不同类型的双渠道供应链的定价决策. 丁正平等[11]研究了存在搭便车行为的双渠道供应链定价问题. 这些研究均假设供应商和零售商风险中性, 以利润期望值最大化或费用成本最小化为目标进行决策. 然而, 实验研究表明, 实际价格与最大化期望收益所确定的最优价格存在差异, 决策者的风险偏好会对定价产生影响[12]. 风险分析工具较多, 主要有均值方差、风险价值 (VaR)、条件风险价值 (CVaR)等. 一些学者利用方差研究双渠道供应链中决策者的风险规避行为[13-15], 大于某一目标值的利

收稿日期: 2014-08-28；**修回日期:** 2015-02-21.

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(71171203)；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, 从事供应链管理等研究；聂晓哲(1990−), 男, 硕士, 从事供应链管理的研究.

润增加会导致方差增加, 进而被当作一种风险. 实际中, 大于某一目标值的利润往往是人们想得到的, 而不是作为风险所想规避的, 从这方面来讲, 均值方差有其局限性[16]. 而 VaR 和 CVaR 只考虑等于或者低于某一置信水平的利润情况, 克服了均值方差的这一缺陷, 但 VaR 工具不能满足一致性公理以及缺乏对尾部风险的度量. CVaR 克服了 VaR 中的这些缺陷, 并且求解也比较方便, 因此, CVaR 在风险测度中广受关注和使用. Chen 等[17]将 CVaR 引入报童模型的供应链中, 研究决策者最优订购量. 文献 [18-19] 引入 CVaR 分析供应链成员的风险偏好问题, 也有学者将 CVaR 引入到双层供应链中[20]. 柳键等[21]利用利润-CVaR 研究了风险厌恶型零售商的订货策略, 以及供应商的定价策略.

现有关于双渠道供应链定价决策的文献中考虑成员风险态度的文献较少, 它们有以下几点不足:

1) 一些文献虽然考虑决策者风险偏好, 但一般假设制造商或零售商为风险中性, 另一方为风险厌恶, 很少有文献同时考虑制造商和零售商的风险态度, 而对供应链成员风险偏爱的研究则更少.

2) 风险度量工具过于单一, 大多基于均值-方差, 由文献 [16] 可知均值-方差存在重要缺陷, 而 CVaR 克服了这一缺陷.

3) 现有文献为了简化计算, 没考虑批发价不大于直销价这一实际约束.

鉴于均值-方差的缺点和 CVaR 的优点, 以及双渠道供应链定价文献的不足, 本文同时考虑制造商和零售商的风险规避和风险偏爱行为, 基于 CVaR 研究双渠道供应链的定价问题. 为了使结果更符合实际, 本文加入了直销价格大于等于批发价格这一约束, 分析风险偏好对决策的影响, 从而为管理者决策时提供更有价值的参考.

1 双渠道供应链利润模型

考虑由一个制造商和一个零售商构成的供应链, 制造商既通过直销渠道又通过零售渠道销售产品. 直销渠道与零售渠道之间的需求相互影响, 市场随机需求为x, 密度函数为$f(x)$, 概率分布函数为$F(x)$. 假设$F(x)$为关于x的连续函数, 期望值为u; 直销渠道所占市场比例为θ, 零销渠道所占比例为$1-\theta$; 直销渠道和零售渠道的价格弹性系数分别为b_d和b_r, 交叉价格敏感度分别为η_1和η_2; 直销价格、批发价格、零售价格和制造成本分别为p_d、w、p_r和c, 下标m、r分别表示制造商和零售商, 后文用到的上标 "*" 表示最优价格. 直销渠道和零售渠道需求分别记作D_d、D_r. 假设渠道的价格弹性系数大于其交叉价格敏感度, 即$b_d > \eta_1, b_r > \eta_2$. 参照 Hua 等[22]的简化方法及其模型, 假设两渠道的价格交叉弹性系数相同, 即$\eta_1 = \eta_2 = \eta$, 直销渠道和零售渠道的需求分别为

$$D_d = \theta x - b_d p_d + \eta p_r, \tag{1}$$

$$D_r = (1-\theta)x - b_r p_r + \eta p_d. \tag{2}$$

制造商和零售商的利润函数分别为

$$\begin{aligned}\pi_m =& (w-c)[(1-\theta)x - b_r p_r + \eta p_d] + \\ & (p_d - c)[\theta x - b_d p_d + \eta p_r] = \\ & [(w-c)(1-\theta) + (p_d-c)\theta]x + \\ & (w-c)(-b_r p_r + \eta p_d) + \\ & (p_d - c)(-b_d p_d + \eta p_r),\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}\pi_r =& (p_r - w)(1-\theta)x + \\ & (p_r - w)(-b_r p_r + \eta p_d).\end{aligned} \tag{4}$$

为了下文分析方便, 引入利润函数的分布函数. 用$G_i(z)$表示利润函数$\pi_i(i=r,m)$的分布, $G_i(z) = P\{\pi_i \leqslant z\}$. π_i是关于x的连续函数, 而x的分布函数为连续函数, 所以$G_i(z)$是关于π_i的连续函数. x和π_i的分布函数如图 1 所示.

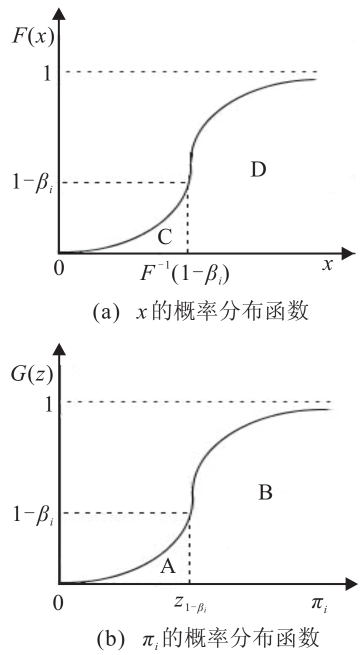


图 1 x和π_i的概率分布函数

2 风险规避下的定价决策

风险偏好包括风险中性、风险规避和风险偏爱. 风险中性可以看作是风险规避的一种特殊情形, 已有不少研究成果, 这里不做讨论. 这一节将研究制造商和零售商均是风险规避者情形下的定价决策和最优价格,

2.1 风险规避的度量模型

本文使用 CVaR 度量供应链成员的风险规避程

度. 当制造商和零售商均为风险规避者时, 他们不仅关注自身利润, 还关注风险情况. Gotoh 等[16]在探讨 CVaR 时采用损失函数, 即 CVaR 表示大于某一损失水平部分的损失期望. 本文基于利润函数来使用 CVaR, 此时 CVaR 值表示低于某一利润水平部分的利润期望值. 风险规避者所追求的目标是低于某一水平利润值部分的期望值最大.

给定 i 的某一置信水平 β_i, $\beta_i \in [0,1)$, 因为 $G_i(z)$ 为连续函数, 所以 VaR 表示为

$\mathrm{VaR}_{\beta_i}\pi_i = \max\{v|P(\pi_i \geqslant v) \geqslant \beta_i\} = z_{1-\beta_i}$, $z_{1-\beta_i}$ 是概率为 $1-\beta_i$ 的分位数, 如图 1(b) 所示.

CVaR 为利润水平低于 VaR 值部分的利润期望, 即

$$\mathrm{CVaR}_{\beta_i}\pi_i = \mathrm{E}(\pi_i|\pi_i \leqslant z_{1-\beta_i}).$$

为了使得 CVaR 的计算变得简便, 引入函数

$$F_{\beta_i}(v,\pi_i) = v - \frac{1}{1-\beta_i}\mathrm{E}[(v-\pi_i)^+], \tag{5}$$

其中 $[x]^+ = \max\{x, 0\}$. 根据 Rockafellar[23], 有:

命题 1 式 (5) 是关于 v 的凹函数, 且有

$$\mathrm{CVaR}\pi_{\beta_i} = \max_v\{F_{\beta_i}(\pi_i, v)\}.$$

命题 1 的证明可以参考文献 [23] 中定理 10 的证明, 此处略.

为了简化计算, 将式 (3) 和 (4) 表示的利润函数表示为 $\pi_i(x) = B_i x + A_i$ 的形式 $(i = r, m;\ B_i > 0)$, 有

$$F_{\beta_i}(\pi_i,v) = \begin{cases} v - \dfrac{1}{1-\beta_i}\displaystyle\int_0^{\frac{v-A_i}{B_i}} (v - B_i x - A_i) f(x)\mathrm{d}x,\ v > A_i; \\ A_i,\ v \leqslant A_i. \end{cases} \tag{6}$$

由命题 1 可知

$$v - \frac{1}{1-\beta_i}\int_0^{\frac{v-A_i}{B_i}} (v - B_i x - A_i) f(x)\mathrm{d}x$$

是关于 v 的凹函数, 令其一阶导数为 0, 求得

$$v^* = B_i F^{-1}(1-\beta_i) + A_i > A_i,$$

代入式 (6), 得

$$\max\{F_{\beta_i}(\pi_i,v)\} = \max\begin{cases} \dfrac{B_i}{1-\beta_i}\displaystyle\int_0^{F^{-1}(1-\beta_i)} x f(x)\mathrm{d}x + A_i,\ v > A_i \\ A_i,\ v \leqslant A_i \end{cases} = \frac{B_i}{1-\beta_i}\int_0^{F^{-1}(1-\beta_i)} x f(x)\mathrm{d}x + A_i. \tag{7}$$

所以

$$\mathrm{CVaR}\pi_{\beta_i} = \max_v\{F_{\beta_i}(\pi_i,v)\} = \frac{B_i}{1-\beta_i}\int_0^{F^{-1}(1-\beta_i)} x f(x)\mathrm{d}x + A_i = B_i\xi(\beta_i) + A_i. \tag{8}$$

其中: $\xi(\beta_i) = \int_0^{F^{-1}(1-\beta_i)} x f(x)\mathrm{d}x \Big/ (1-\beta_i)$ 表示图 1(a) 中 C 区域 x 的平均值, 为关于 β_i 的减函数. β_i 越大, 成员 i 的风险规避越大, 当 $\beta_i = 0$ 时, 式 (8) 变为利润期望, 成员 i 为风险中性, 因此风险中性可以看作是风险规避的一种特殊情况.

2.2 制造商和零售商均风险规避时的定价决策

当制造商和零售商均风险规避时, 他们通过最大化其 CVaR 来确定其价格. 零售商的目标函数为

$$\max_{p_r}\{\mathrm{CVaR}_{\beta_1}\pi_r\}. \tag{9}$$

对于制造商决策的目标函数引入约束条件 $p_d \geqslant w$, 因为当制造商所定批发价格大于直销价格时, 零售商将通过直销渠道来订购货物, 实际批发价格等于直销价格. 制造商目标函数将转化为具有约束条件的规划问题, 即

$$\begin{cases} \max\limits_{p_d,w}\{\mathrm{CVaR}_{\beta_2}\pi_m\}, \\ \mathrm{s.t.} p_d \geqslant w. \end{cases} \tag{10}$$

定价过程为 Stackelberg 博弈, 其中制造商为市场领导者, 先确定批发价格 w 和直销价格 p_d, 零售商为跟随者, 在看到批发价格 w 和直销价格 p_d 之后确定零售价格. 除了 w、p_d、p_r, 其他均是公共信息. 采取逆向求解的方法, 根据式 (9) 和 (10) 确定其最优价格.

根据制造商确定的批发价格 w 和直销价格 p_d, 零售商最大化自己的目标函数 (9) 以确定零售价格 ${p_r}^*$. 因为 $\dfrac{\partial^2\mathrm{CVaR}_{\beta_1}\pi_r}{\partial {p_r}^2} = -2b_r < 0$, 所以 $\mathrm{CVaR}_{\beta_1}\pi_r$ 是关于 p_r 的凹函数. 令 $\dfrac{\partial\mathrm{CVaR}_{\beta_1}\pi_r}{\partial p_r} = 0$, 求得给定 w、p_d 时零售商的反应函数为

$$p^*{}_r = \frac{wb_r + \eta p_d + \dfrac{(1-\theta)}{1-\beta_1}\displaystyle\int_0^{F^{-1}(1-\beta_1)} x f(x)\mathrm{d}x}{2b_r}. \tag{11}$$

对于制造商, 由于该最优化问题存在约束条件, 不能直接通过传统的求导方法求解, 可通过 KKT 条件进行求解.

制造商知道零售商会根据自己确定的批发价格和直销价格来确定自己的零售价格, 即式 (11) 为制造商所知. 将式 (11) 代入 (10), 并求得其 Hessian 矩阵为

$$H = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial^2\mathrm{CVaR}_{\beta_2}\pi_M}{\partial w^2} & \dfrac{\partial^2\mathrm{CVaR}_{\beta_2}\pi_M}{\partial w\partial p_d} \\ \dfrac{\partial^2\mathrm{CVaR}_{\beta_2}\pi_M}{\partial p_d\partial w} & \dfrac{\partial^2\mathrm{CVaR}_{\beta_2}\pi_M}{\partial {p_d}^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -b_r & \eta \\ \eta & \dfrac{\eta^2}{b_r} - 2b_d \end{bmatrix}.$$

因 $b_i > \eta\ (i = r, d)$, 所以 $|H| = -2\eta^2 + 2b_d b_r > 0$,

又因 $-b_r<0$, 所以 H 为负定矩阵. 式 (10) 是关于 (w, p_d) 的严格一致凹函数, 又因约束条件为线性约束, 即可行域为凸集, 所以存在唯一 $(w^*, p_d{}^*)$ 使得式 (10) 取得最大值. 因此符合 KKT 条件的解即为最优解. 引入拉格朗日函数 $L=\mathrm{CVaR}_{\beta_2}\pi_M+\lambda(p_d-w)$, 其 KKT 条件为

$$\frac{\partial L}{\partial p_d}=\eta w+\frac{(\eta^2-2b_db_r)}{b_r}p_d+\lambda+\eta(1-\theta)\xi(\beta_1)+2\theta b_r\xi(\beta_2)-\frac{c(\eta b_r-2b_db_r+\eta^2)}{2b_r}=0,\tag{12}$$

$$\frac{\partial L}{\partial w}=-b_rw+\eta p_d-\lambda-\frac{1}{2}(1-\theta)\xi(\beta_1)+(1-\theta)\beta_2+\frac{1}{2}c(b_r-\eta)=0,\tag{13}$$

$$\lambda\geqslant 0,\tag{14}$$

$$p_d-w\geqslant 0,\tag{15}$$

$$\lambda(p_d-w)=0.\tag{16}$$

下面按照 $\lambda>0$ 和 $\lambda=0$ 两种情形进行讨论. 为了便于下文的描述, 引入如下 3 个函数:

$$W(m,n)=\begin{cases}-A_1m+A_2n+\frac{1}{2}c, & \frac{m}{n}<\lambda_0;\\ -\frac{(1-\theta)}{2b_r}m+Cn+\frac{1}{2}c, & \frac{m}{n}\geqslant\lambda_0;\end{cases}\tag{17}$$

$$P_d(m,n)=\begin{cases}-A_1m+A_2n+\frac{1}{2}c, & \frac{m}{n}<\lambda_0;\\ \frac{[\theta b_r+(1-\theta)\eta]}{2(b_db_r-\eta^2)}n+\frac{1}{2}c, & \frac{m}{n}\geqslant\lambda_0;\end{cases}\tag{18}$$

$$P_r(m,n)=\begin{cases}B_1m+B_2n+\frac{(b_r+\eta)c}{4b_r}, & \frac{m}{n}<\lambda_0;\\ \frac{(1-\theta)}{4b_r}m+\frac{[\eta\theta+(1-\theta)b_d]}{2(b_db_r-\eta^2)}n+\frac{(\eta+b_r)c}{4b_r}, & \frac{m}{n}\geqslant\lambda_0.\end{cases}\tag{19}$$

其中

$$A_1=\frac{1}{2}\frac{(1-\theta)(b_r-\eta)}{2b_r(b_d-\eta)+b_r{}^2-\eta^2},$$

$$A_2=\frac{b_r}{2b_r(b_d-\eta)+b_r{}^2-\eta^2},$$

$$B_1=\frac{(1-\theta)(4b_r(b_d-\eta)+b_r{}^2-\eta^2)}{4(2b_r(b_d-\eta)+b_r{}^2-\eta^2)b_r},$$

$$B_2=\frac{b_r+\eta}{2(2b_r(b_d-\eta)+b_r{}^2-\eta^2)},$$

$$C=\frac{[\eta\theta b_r+(2b_db_r-\eta^2)(1-\theta)]}{2(b_db_r-\eta^2)b_r},$$

$$\lambda_0=\frac{2\theta\eta b_r-2\theta b_db_r-\eta^2-\eta b_r+2b_db_r+\eta^2\theta-\theta b_r{}^2}{(1-\theta)(b_db_r-\eta^2)},$$

且有 $A_1, A_2, B_1, B_2>0$.

1) 当 $\lambda>0$ 时, 由式 (16) 知 (15) 取等号, 联立式 (12)、(13) 和 (15) 得: $p_d{}^*$、w^* 如定理 1 中 $\xi(\beta_1)/\xi(\beta_2)<\lambda_0$ 时所示, λ^* 为

$$\lambda^*=\frac{(-1+\theta)(-b_db_r+\eta^2)\xi(\beta_1)}{2\eta b_r-2b_db_r+\eta^2-b_r{}^2}-\frac{\xi(\beta_2)(2\theta\eta b_r-2\theta b_db_r-\eta^2-\eta b_r+2b_db_r+\eta^2\theta-\theta b_r{}^2)}{2\eta b_r-2b_db_r+\eta^2-b_r{}^2}.\tag{20}$$

将 $p_d{}^*$, w^* 代入式 (11) 求得最优零售价如定理 1 所示. 由 $\lambda^*>0$ 求得情形 1 应满足条件 $\xi(\beta_1)/\xi(\beta_2)<\lambda_0$.

2) 当 $\xi(\beta_1)/\xi(\beta_2)\geqslant\lambda_0$, $\lambda=0$ 时, 联立式 (12)、(13) 求得 w^* 和 $p_d{}^*$ 为定理 1 中 $\xi(\beta_1)/\xi(\beta_2)\geqslant\lambda_0$ 时 w^* 和 $p_d{}^*$ 的值. 将其代入式 (11) 求得此条件下的 $p_r{}^*$ 值为定理 1 中 $\xi(\beta_1)/\xi(\beta_2)\geqslant\lambda_0$ 时的 $p_r{}^*$.

定理 1 由单一风险规避型制造商和单一风险规避型零售商组成的双渠道供应链, 存在最优批发价格、最优直销价格和最优零售价格分别为

$$w^*=W(\xi(\beta_1),\xi(\beta_2)),$$

$$p_d{}^*=P_d(\xi(\beta_1),\xi(\beta_2)),$$

$$p_r{}^*=P_r(\xi(\beta_1),\xi(\beta_2)).$$

定理 1 说明, 最优价格受到制造商和零售商风险规避程度的影响. β_1 和 β_2 在一定范围时, 即零售商和制造商风险规避程度在一定范围时, 批发价格等于直销价格. 零售商和制造商风险规避在其他范围时, 批发价格小于直销价格. 当 $\beta_1=\beta_2=0$ 时, 定理 1 中最优价格与文献 [24-25] 中在风险中性下的最优价格相同, 说明风险中性为风险规避情形下的一种特殊情况.

根据定理 1, 可以得到以下两个推论.

推论 1 在不同风险规避程度下, 制造商会采取不同的定价策略:

1) 当 $\xi(\beta_1)/\xi(\beta_2)<\lambda_0$ 时, $w=p_d$;

2) 当 $\xi(\beta_1)/\xi(\beta_2)\geqslant\lambda_0$ 时, $w<p_d$.

由定理 1、式 (17)、(18) 和 (10) 中的约束条件很容易证得推论成立, 限于篇幅, 不再赘述.

推论 2 随着 β_1 的增加, $p_r{}^*$ 降低, $p_d{}^*$ 在 $w=p_d$ 时增加, 在 $w<p_d$ 时, 保持不变. 各个最优价格均随 β_2 的增加而降低; 另外, c 的增加会导致最优价格的增加.

证明 容易证明最优价格 w^*、$p_d{}^*$、$p_r{}^*$ 是关于 β_1 和 β_2 的分段连续函数, 分别对两定价策略下的最

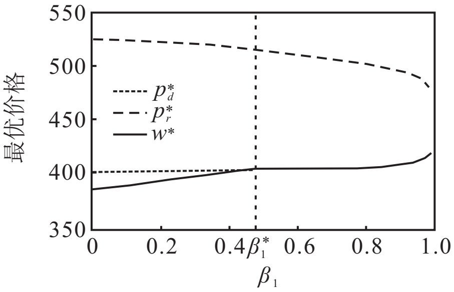
优价格关于 β_1、β_2、c 求导, 其符号如表 1 所示.

表 1　对 β_1、β_2、c 求导的符号

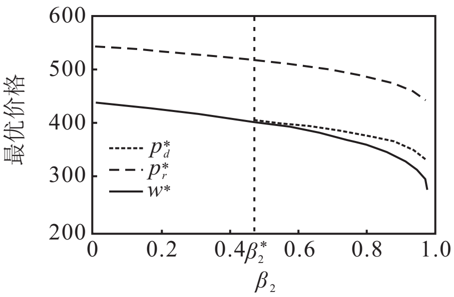
最优价格	$w^* = p_d{}^*$			$w^* < p_d{}^*$		
	β_1	β_2	c	β_1	β_2	c
w^*	+	−	+	+	−	+
$p_d{}^*$	+	−	0	+	−	+
$p_r{}^*$	+	−	−	+	−	−

由表 1 及 w^*、$p_d{}^*$、$p_r{}^*$ 均是关于 β_1 和 β_2 的分段连续函数可得出推论 2. □

下面通过算例分析其意义. x 服从均值为 1 000, 标准差为 100 $(x > 0)$ 时的截尾正态分布, $b_r = b_d = 1$, $c = 40$, $\theta = 0.5$, $\eta = 0.4$. 图 2 为风险规避对最优价格的影响. 其中图 2(a) 表示在制造商风险规避度 $\beta_2 = 0.5$ 时, 零售商风险规避度对最优价格的影响; 图 2(b) 表示在零售商风险规避度 $\beta_1 = 0.5$ 时制造商的风险规避度对最优价格的影响.



(a)　$\beta_2 = 0.5$



(b)　$\beta_1 = 0.5$

图 2　风险规避对最优价格的影响

由图 2 可知, 在 $\beta_1 > \beta_1{}^*$ 和 $\beta_2 < \beta_2{}^*$ 的区域, $w^* = p_d{}^*$, 说明在零售商风险规避度较大或者制造商风险规避度较小时, 制造商针对零售商的风险规避行为, 采取提高批发价, 使批发价格等于直销价格的定价策略来控制零售渠道的市场需求, 以保证直销渠道的利润. 而在 $\beta_1 < \beta_1{}^*$ 和 $\beta_2 > \beta_2{}^*$ 的区域, $w^* < p_d{}^*$, 说明当零售商风险规避度较小、制造商风险规避度较大时, 制造商会采取低于直销价格的批发价格来激励零售渠道的需求, 保证零售渠道利润, 以规避风险.

图 2(a) 中, 当 β_1 增加时, $p_r{}^*$ 降低, w^* 增加, $p_d{}^*$ 先保持不变而后增加. 表明随着零售商风险规避度的增加, 零售价格降低, 批发价格增加, 而直销价格在零售商风险规避度较小时保持不变, 在零售商风险规避度较大时增加. 说明零售商越怕风险, 越愿意定一个较低的零售价格以增加市场需求. 而针对零售商的风险规避行为, 制造商采取提高批发价格的策略来控制零售商的降价行为, 在零售商风险规避度较小时, 制造商确定的直销价格具有鲁棒性, 不随零售商的风险规避程度增加而增加, 而只有在零售商风险规避度较大时, 制造商才会采取提高直销价格来保证批发价格的继续提高. 图 2(b) 中, 各个最优价格均随着 β_2 的增加而降低, 表明制造商风险规避度的增加会带来直销价格、批发价格和零售价格的降低. 这与单渠道的定价决策类似. 制造商越怕风险, 采取的批发价格越低. 随着制造商风险规避度的增加, 批发价格和直销价格降低, 进而导致零售商降低零售价格.

3　其他风险偏好情形下的定价决策

本节将探讨制造商和零售商均是风险偏爱者, 以及制造商和零售商中的一个为风险偏爱者而另一个为风险规避者情形下的定价决策.

与风险规避相反, 当供应链成员偏爱风险时, 其追求的是高于 $z_{1-\beta_i}$ 部分的平均利润最大, 即图 1(b) 中 B 部分的利润期望最大, 其目标函数为

$$\max\left\{\frac{1}{\beta_i}\int_{\pi_i \geqslant z_{1-\beta_i}} \pi_i f(x)\mathrm{d}x\right\} = \max\left\{\frac{1}{\beta_i}[\mathrm{E}(\pi_i) - (1-\beta_i)\mathrm{CVaR}_{\beta_i}\pi_i]\right\}. \tag{21}$$

β_i 越小, 即图 1(b) 中 B 部分区域向右缩小, 表明成员 i 追求更高利润, 其风险偏爱度增加. 与风险规避情形不同, 这里 $\beta_i \in (0, 1]$, 当 $\beta_i = 1$ 时, 式 (21) 变为利润期望值, 成员 i 为风险中性.

3.1　制造商和零售商均偏爱风险时的定价决策

当制造商和零售商均为风险偏爱者时, 其目标函数为式 (21). 零售商的决策模型为

$$\max_{p_r} \frac{1}{\beta_1}[\mathrm{E}(\pi_r) - (1-\beta_1)\mathrm{CVaR}_{\beta_1}\pi_r]; \tag{22}$$

考虑到批发价格不大于直销价格这一约束条件, 制造商的决策模型为

$$\begin{cases} \max\limits_{p_d, w} \dfrac{1}{\beta_2}[\mathrm{E}(\pi_m) - (1-\beta_2)\mathrm{CVaR}_{\beta_2}\pi_m], \\ \text{s.t. } p_d - w \geqslant 0. \end{cases} \tag{23}$$

求解方法与风险规避的情形类似, 这里直接给出最优价格.

定理 2　当制造商和零售商均是风险偏爱者时, 存在唯一最优价格如下:

$$w^* = W(\tau(\beta_1), \tau(\beta_2)),$$
$$p_d{}^* = P_d(\tau(\beta_1), \tau(\beta_2)),$$
$$p_r{}^* = P_r(\tau(\beta_1), \tau(\beta_2)).$$

其中 $\tau(\beta_i) = u - \int_0^{F^{-1}(1-\beta_i)} xf(x)\mathrm{d}x/\beta_i\,(i=1,2)$ 表示图 1(a) 中 D 部分 x 的平均值, 且有

$$\frac{\partial\tau(\beta_i)}{\partial\beta_i} = \frac{\beta_i F^{-1}(1-\beta_i) - u + \int_0^{F^{-1}(1-\beta_i)} xf(x)\mathrm{d}x}{{\beta_i}^2} < 0,$$

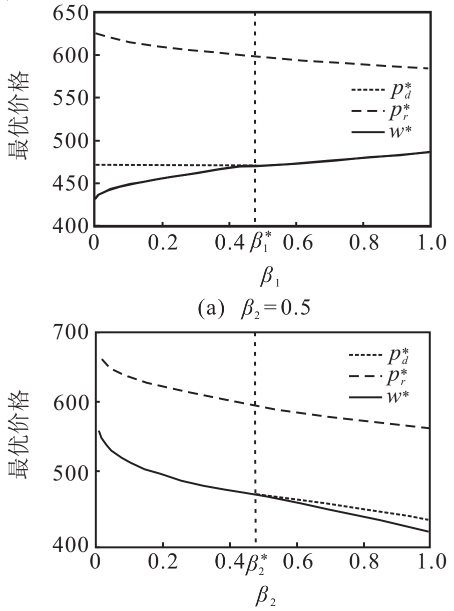
$\tau(\beta_i)$ 为关于 β_i 的减函数.

比较定理 2 与定理 1, 发现制造商和零售商均为风险偏爱者时的最优定价与他们均为风险规避者时的最优定价结构很类似, 只是含有 β_i 的部分不同, 在风险规避情形中, β_i 以 $\xi(\beta_i)$ 的形式出现. 其意义为图 1(a) 中 C 部分 x 的平均值, 也是风险规避者所关注的对象, 即市场需求低于置信水平时的市场平均需求. 而在风险偏爱情形中, β_i 以 $\tau(\beta_i)$ 的形式出现, $\tau(\beta_i)$ 为图 1(a) 中 D 部分 x 的平均值, 为风险偏爱者所关注的部分, 表示市场需求较高时市场的平均需求. 当 $\beta_1 = \beta_2 = 1$ 时, 定理 2 中的最优价格变为制造商和零售商均为风险中性时的最优价格, 风险中性为风险规避或者风险偏爱的一种特殊情况. 根据定理 2, 可以得到下面的推论.

推论 3　当 $\tau(\beta_1)/\tau(\beta_2) < \lambda_0$ 时, $w^* = {p_d}^*$; 当 $\tau(\beta_1)/\tau(\beta_2) < \lambda_0$ 时, $w^* < {p_d}^*$.

推论 4　随着 β_1 的增加, ${p_r}^*$ 降低, w^* 升高, 而 ${p_d}^*$ 在 $w^* < {p_d}^*$ 策略下保持不变, 在 $w^* = {p_d}^*$ 策略下增加; β_2 的增加, 导致各最优价格下降.

两推论的证明与前面推论的证明类似, 在此不再证明. 下面结合算例, 分析制造商和零售商均是风险偏爱者时的定价决策. x 服从均值为 1 000, 标准差为 100 $(x > 0)$ 时的截尾正态分布, 当 $b_r = b_d = 1$, $\theta = 0.5$, $\eta = 0.4$ 时, 风险偏爱程度对最优价格的影响如图 3 所示.



(a)　$\beta_2 = 0.5$

(b)　$\beta_1 = 0.5$

图 3　风险偏爱对最优价格的影响

图 3(a) 表示在制造商的风险偏爱度 $\beta_2 = 0.5$ 时, 零售商的风险偏爱度对最优价格的影响; 图 3(b) 表示在零售商的风险偏爱度 $\beta_1 = 0.5$ 时制造商的风险偏爱度对最优价格的影响. 在图 3(a) 中 $\beta_1 > {\beta_1}^*$ 和图 3(b) 中 $\beta_2 < {\beta_2}^*$ 的区域, $w^* = {p_d}^*$. β_i 越小表示供应链的参与者风险偏爱水平越高. 当 $\beta_1 > {\beta_1}^*$ 和 $\beta_2 < {\beta_2}^*$ 时, 制造商会提高批发价格, 使其等于直销价格, 以限制零售渠道, 确保直销渠道的利益. 而在 $\beta_1 < {\beta_1}^*$ 和 $\beta_2 > {\beta_2}^*$ 的区域, $w^* < {p_d}^*$, 即制造商会以低于直销价格的批发价格将产品销售给零售商.

图 3 中, β_1 和 β_2 对最优价格的影响趋势与图 2 类似. 由图 3(a) 可以看出, 随着零售商风险偏爱水平的增加 (β_1 的减小), 零售价格增加, 批发价格降低, 而直销价格先降低到一定水平, 然后保持不变. 这是因为, 零售商越偏爱风险, 越愿意定一个较高的零售价格, 增加单个产品的利润; 而制造商在零售商风险偏爱程度较高时, 愿意给售商较低的批发价格, 用以激励零售商多订购. 图 3(b) 表明, 随着制造商风险偏爱度的增加 (β_2 的降低), 各个最优价格均上升, 说明制造商更偏向于提高批发价格和直销价格来追求高风险下的利润, 而直销价格和批发价格的增加进而导致零售价格增加.

3.2　风险规避型制造商和风险偏爱型零售商的定价决策

当制造商规避风险而零售商偏爱风险时, 制造商的决策模型为式 (10), 零售商的决策模型为式 (22). 其决策过程与同为风险规避者的情形类似, 这里直接给出最优定价.

定理 3　当制造商为风险规避者而零售商为风险偏爱者时, 存在唯一的最优价格

$$w^* = W(\tau(\beta_1), \xi(\beta_2)),$$
$${p_d}^* = P_d(\tau(\beta_1), \xi(\beta_2)),$$
$${p_r}^* = P_r(\tau(\beta_1), \xi(\beta_2)).$$

3.3　风险偏爱型制造商和风险规避型零售商的定价决策

当制造商为风险偏爱者而零售商为风险规避者时, 制造商的决策模型为式 (23), 零售商的决策模型为式 (9). 其决策过程与同为风险规避者的情形类似, 这里直接给出最优定价.

定理 4　当制造商为风险偏爱者而零售商为风险规避者时, 最优定价为

$$w^* = W(\xi(\beta_1), \tau(\beta_2)),$$
$${p_d}^* = P_d(\xi(\beta_1), \tau(\beta_2)),$$
$${p_r}^* = P_r(\xi(\beta_1), \tau(\beta_2)).$$

定理 4 的证明与定理 1 的证明类似, 在此省略.

将定理 3 和定理 4 与定理 1 和定理 2 作比较, 可以发现在相同的定价策略下, 各个最优价格很相似. 只是制造商为风险规避者时, β_2 以 $\xi(\beta_2)$ 的形式出现, β_2 以 $\tau(\beta_2)$ 的形式出现; 零售商的风险偏好只对含有 β_1 的部分有影响, 当零售商为风险规避者时, β_1 以 $\xi(\beta_1)$ 的形式出现, 而为风险偏爱者时, β_1 以 $\tau(\beta_1)$ 的形式出现. 结合上面的分析, 可以得到以下推论.

推论 5 当 $w^* = p_d{}^*$ 或 $w^* < p_d{}^*$ 定价策略确定时, 成员 $i(i = r, d)$ 的风险态度对最优价格的影响与另外一个成员的风险态度无关.

推论 6 与风险规避型零售商相比, 风险偏爱型零售商更愿意定较高的零售价格, 制造商给予风险偏爱型零售商的批发价格要低于风险规避型零售商的批发价格. 而在零售商风险偏好度确定时, 存在风险偏爱型制造商情形下的各个最优价格均要大于风险规避型制造商情形下的相应最优价格.

4 结 论

本文利用条件风险值, 针对制造商和零售商均具有风险偏好的双渠道供应链建模, 求解不同风险偏好下的最优价格, 探讨了风险偏好水平对定价策略的影响, 得到了以下结论和管理借鉴:

1) 基于自己的风险偏好水平, 制造商往往通过选择不同的批发价格策略来应对零售商风险偏好的变化. 当零售商风险规避度较大时, 制造商采取批发价等于直销价的策略. 风险规避度较高的零售商更愿意选择一个较低的零售价, 而制造商则通过提高批发价以阻止零售商的降价行为. 制造商越害怕风险, 其批发价越低. 随着制造商风险规避水平的增加, 批发价格和直销价格降低, 进而导致零售商降低零售价.

在实践中, 制造商选择定价策略时, 不仅要考虑自己的风险偏好程度, 还要分析零售商的风险态度. 在零售商风险厌恶程度较大时, 应当选择批发价格等于直销价格策略, 以提高零售商的进货成本, 避免其将零售价定得过低而影响自己直销渠道的利润.

2) 随着零售商风险偏爱水平的增加, 最优零售价格上升, 最优批发价格降低, 而直销价格先降低, 到一定水平后保持不变; 随着制造商风险偏爱水平的增加, 各个最优价格均上升.

在实践中, 当零售商偏爱风险, 并对市场需求看好时, 可以提高零售价格, 以获得高利润. 而制造商可以通过降低批发价格鼓励零售商来增加零售渠道的销售量.

3) 制造商给予风险规避型零售商高于风险偏爱型零售商的批发价格. 零售商风险偏好程度相同时, 风险偏爱制造商情形下的各个最优价格均要大于风险规避制造商情形下的相应最优价格.

在实践中, 制造商可以给予风险偏爱型零售商较低的零售价格以激励其多订购, 而给予风险规避零售商较高批发价格以控制其降价行为. 当制造商对市场需求看好时, 可以提高批发价格、直销价格来获得高利润.

本文的研究成果可以帮助企业管理者更好地认识和理解风险偏好对定价策略和最优价格的影响. 实际上, 除了风险偏好外, 还有公平关切等行为因素影响决策, 限于篇幅, 本文没有综合考虑这些因素. 在今后的研究中, 可以结合风险偏好、公平关切等因素进一步研究双渠道供应链的定价问题.

参考文献(References)

[1] Palmer J. Gateway's gains[J]. Barron's Chicopee, 2004, 84(48): 12-14.

[2] Kotler P J, Armstrong G M. Principles of marketing[M]. New Jersey: Pearson Education, 2010：23-25.

[3] Mishra B K, Raghunathan S, Yue X. Demand forecast sharing in supply chains[J]. Production and Operations Management, 2009, 18(2): 152-166.

[4] Yao D Q, Liu J J. Competitive pricing of mixed retail and e-tail distribution channels[J]. Omega, 2005, 33(3): 235-247.

[5] 黄松, 杨超, 杨珺. 需求和成本同时扰动下双渠道供应链定价与生产决策[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(1): 1-11.
(Huang S, Yang C, Yang J. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand and production cost disruptions[J]. Systems Engineering－Theory & Practice, 2013, 33(1): 1-11.)

[6] 金磊, 陈伯成, 肖勇波. 双渠道下库存与定价策略的研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(3): 104-112.
(Jin L, Chen B C, Xiao Y B. The study on inventory and pricing strategy between on-line and physical channels[J]. Chinese J of Management Science, 2013, 21(3): 104-112.)

[7] 林杰, 曹凯. 双渠道竞争环境下的闭环供应链定价模型[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(1): 1-9.
(Lin J, Cao K. Pricing models of closed-loop supply chain in double channels competitions environment[J]. Systems Engineering － Theory & Practice, 2013, 33(1): 1-9.)

[8] 许传永, 苟清龙, 周垂日, 等. 两层双渠道供应链的定价问题[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(10): 1741-1752.
(Xu C Y, Gou Q L, Zhou C R, et al. Pricing issues in a two-echelon dual-channel supply chain[J]. Systems Engineering－Theory & Practice, 2010, 30(10): 1741-1752.)

[9] 陈云, 王浣尘, 沈惠璋. 互联网环境下双渠道零售商的定价策略研究[J]. 管理工程学报, 2008, 22 (1): 34-39.
(Chen Y, Wang H C, Shen H Z. Study on the pricing strategy of multi-channel retailer in internet environment[J]. J of Industrial Engineering and Engineering Management, 2008, 22 (1): 34-39.)

[10] 许垒, 李勇建. 考虑消费者行为的供应链混合销售渠道结构研究[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(7): 1672-1681.
(Xu L, Li Y J. On supply chain mixed channel problem considering consumer behavior[J]. Systems Engineering－Theory & Practice, 2013, 33(7): 1672-1681.)

[11] 丁正平, 刘业政. 存在搭便车时双渠道供应链的收益共享契约[J]. 系统工程学报, 2013, 28(3): 370-376.
(Ding Z P, Liu Y Z. Revenue sharing contract in dual channel supply chain in case of free riding[J]. J of Systems Engineering, 2013, 28(3): 370-376.)

[12] Jammernegg W, Kischka P. Risk-averse and risk-taking newsvendors: A conditional expected value approach[J]. Review of Managerial Science, 2007, 1(1): 93-110.

[13] 王虹, 周晶. 竞争和风险规避对双渠道供应链决策的影响[J]. 管理科学, 2010, 23(01): 10-17.
(Wang H, Zhou J. Effect of competition and risk aversion on dual-channel supply chain[J]. J of Management Science, 2010, 23(1): 10-17.)

[14] 张智勇, 石永强, 刘承, 等. 考虑风险约束的混合渠道供应链协调机制研究[J]. 系统科学与数学, 2013, 33(2): 127-140.
(Zhang Z Y, Shi Y Q, Liu C, et al. Study on risk-constrained supply chain coordination mechanism of mixed-channel distribution[J]. J of Systems Science & Mathematical Sciences, 2013, 33(2): 127-140.)

[15] Li S J, Zhang Z G, Huang Y. Effects of risk aversion on operational mode in dual-channel supply chain[J]. Industrial Engineering and Management, 2011, 16(1): 32-36.

[16] Gotoh J Y, Takano Y. Newsvendor solutions via conditional value-at-risk minimization[J]. European J of Operational Research, 2007, 179(1): 80-96.

[17] Chen X, Sim M, Simchi-Levi D, et al. Risk aversion in inventory management[J]. Operations Research, 2007, 55(5): 828-842.

[18] Ma L, Liu F, Li S, et al. Channel bargaining with risk-averse retailer[J]. Int J of Production Economics, 2012, 139(1): 155-167.

[19] Yao F, Zhang P. The measurement of operational risk based on CVaR: A decision engineering technique[J]. Systems Engineering Procedia, 2012, 4(S): 438-447.

[20] Cheng L, Wan Z, Wang G. Bilevel newsvendor models considering retailer with CVaR objective[J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 57(1): 310-318.

[21] 柳键, 罗春林. 利润-CVaR 准则下的二级供应链定价与订货策略研究[J]. 控制与决策, 2010, 25(1): 130-132.
(Liu J, Luo C L. Pricing and ordering strategies in a two-echelon supply chain under criterion of profit-CVaR[J]. Control and Decision, 2010, 25(1): 130-132.)

[22] Hua G, Wang S, Cheng T E. Price and lead time decisions in dual-channel supply chains[J]. European J of Operational Research, 2010, 205(1): 113-126.

[23] Rockafellar R T, Uryasev S. Conditional value-at-risk for general loss distributions[J]. J of Banking & Finance, 2002, 26(7): 1443-1471.

[24] Huang S, Yang C, Liu H. Pricing and production decisions in a dual-channel supply chain when production costs are disrupted[J]. Economic Modelling, 2013, 30(1): 521-538.

[25] Huang S, Yang C, Zhang X. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand disruptions[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 62(1): 70-83.

(责任编辑：孙艺红)