

文章编号:1003-207(2008)04-0050-05

需求不确定环境下多个零售商竞争的鲁棒随机优化模型

晏妮娜^{1,2}, 黄小原³, 马龙龙²

(1. 首钢总公司发展研究院, 北京 100041; 2. 中国人民大学商学院, 北京 100027;
3. 东北大学工商管理学院, 沈阳 110004)

摘要:在需求不确定环境下构建了一个制造商和多个零售商组成的供应链系统,考虑不同产品的可替代性,建立了多个零售商竞争的随机优化模型。利用鲁棒优化方法研究了需求不确定环境下多个零售商竞争的绝对鲁棒优化问题、偏差鲁棒优化问题和相对鲁棒优化问题。最后通过数值算例比较分析了不同产品替代率下的绝对鲁棒优化解、偏差鲁棒优化解及相对鲁棒优化解。

关键词:供应链;鲁棒优化;报童模型;不确定性;主从对策

中图分类号:F274 **文献标识码:**A

1 引言

鲁棒性问题研究在供应链管理中具有重要的实践和理论意义。在供应链系统中,来自供应、制造、销售等方面的内部运作的不确定性及外部需求波动的不确定性直接影响到供应链系统的正常运行,鲁棒性成为能否确保供应链收益和持续运行的重要因素。随着内部和外部不确定因素的逐渐增加,企业将变得越来越愿意实施某种鲁棒性能的供应链策略以减轻应急风险^[1-3]。

近年来,在供应链管理领域,国内外不少学者采用鲁棒优化方法很好地解决了报童问题、供需资源分配问题、库存管理、定价决策等问题。比较有代表性的有:Yu (1997)研究了在需求率、单位订货成本、单位库存成本等输入数据是不确定情况下的经济订货批量模型,他设计了一个有效的线性时间算法,得到了在输入数据是定义在连续区间以及是离散值情形时的解析解^[4]。Vairaktarakis (2000)利用区间情景和离散情景来描述需求不确定性,研究了需求不确定条件下的多物品鲁棒报童模型,并给出了混合需求情景下的有效算法^[5]。Bertsimas 等

(2004)采用提出了一种研究随机需求条件下具有单设备及串联系统的供应链库存管理的最优策略的鲁棒优化方法,并证明了该方法得到的最优策略与用修正的可精确计算需求序列的标准方法得到的最优策略是等价的^[6]。Xu 等(2007)采用已知概率的离散情景描述消费市场需求和原材料市场供应的不确定性,提出了由一个制造商和一个供应商构成的多产品、多阶段供应链在原材料市场的供应和消费市场的需求均不确定条件下的多目标鲁棒运作模型^[7]。晏妮娜等(2005)在 B2B 在线市场的不确定环境下,设计了基于期权合同协调在线市场与传统市场的鲁棒策略,提出 B2B 在线市场环境下求解买方订货量及卖方期权合同预定费用和执行费用的鲁棒 Stackelberg 解的算法^[8]。胡振华等(2003)给出了市场机制下基于供需差额的调价策略的数学模型,揭示了其与鲁棒价格策略在经济意义上的一致性,深入探讨了此定价策略的鲁棒性^[9]。

另外,国内外学者关于需求不确定环境下多个零售商竞争问题也进行了大量研究。Plambeck 和 Taylor(2002)研究了多个零售商环境下,事前承诺与事后重新协商策略对数量弹性契约的影响及其实现供应链协调的最优策略^[10]。Wu 和 Kleindorfer (2005)提出了由一个供应商和多个零售商组成的供应链中,以产能期权和期货整合契约采购市场和现货市场的 B2B 交易模型及最优采购策略^[11]。刘东平(2005)研究当需求量巨大随机变量时,单一供应

收稿日期:2007-12-17; 修订日期:2008-07-25

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(20070420453); 国家自然科学基金资助项目(70572088)

作者简介:晏妮娜(1980-),女(汉族),湖北宜昌人,中国人民大学与首钢总公司,博士后,研究方向:供应链管理和电子商务。

商无法满足于供货要求情况下的多供应商采购—库存问题,建立了一个向多个有能力约束的供应商采购的库存模型,采用期望值模型进行建模,并基于随机模拟的遗传算法通过算例验证了模型和算法的有效性^[12]。范小军和陈宏民(2008)研究了零售商差异条件下单个制造商和两个零售商构成的渠道的价格决策问题,将零售商的差异提炼为零售商品品牌和零售成本差异,并考虑了需求函数和渠道权利结构对渠道价格决策产生的影响^[13]。

目前的成果大多是研究如何利用鲁棒优化方法解决供应链中的线性规划和二次规划问题,关于不确定环境下报童问题的鲁棒随机优化模型还比较少见。本文在需求不确定环境下构建了由一个制造商和多个零售商的供应链系统,建立多个零售商竞争的随机优化模型,并利用鲁棒优化方法研究了需求不确定环境下多个零售商竞争的绝对鲁棒优化问题、偏差鲁棒优化问题和相对鲁棒优化问题。

2 模型描述

2.1 模型框架

本文考虑一个由单一制造商和 N 个零售商组成的供应链系统,模型框架如图 1 所示。零售商 R_i 以批发价格 w_i 从制造商 M 手中订购 Q_i 数量的产品 i ,再以零售价格 p_i 销售给消费者群 D_i ($i = 1, 2, \dots, N$)。考虑这 N 种异质产品的可替代性,即当零售商 i 销售第 i 种产品的数量 Q_i 无法满足消费者群的需求 D_i 时,将有部分 (γ_{ij}) 消费者群转向零售商 j 处购买第 j 种产品以满足需求 ($i, j = 1, 2, \dots, N, j \neq i$)。

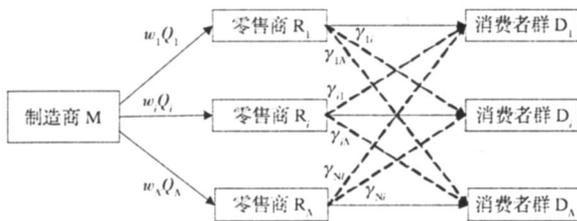


图 1 多个零售商竞争的供应链框架图

2.2 变量定义及符号说明

为便于模型描述,首先给出了各种变量和函数说明。

p_i :第 i 种产品的单位零售价格, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

Q_i :第 i 种产品的订货量,零售商的决策变量。

w_i :第 i 种产品的单位批发价格, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

c_i :第 i 种产品的单位制造成本, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

v_i :第 i 种未售产品的单位残值, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

γ_{ij} :第 j 种产品对第 i 种产品的替代率,且 $\sum_{j=1, j \neq i}^N \gamma_{ij} = 1, i, j = 1, 2, \dots, N, j \neq i$ 。

D_i :消费者群对第 i 种产品的随机需求量, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

F_{D_i} :随机需求量 D_i 的累积分布函数, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

r_i :第 i 个零售商的期望利润, $i = 1, 2, \dots, N$ 。

M :制造商的期望利润。

由于考虑产品的可替代性,我们引入“有效需求量 D ”,即实际需求和转移需求量之和,所以 $D_i = D_i + T_{ij}$,其中 $T_{ij} = \sum_{j=1, j \neq i}^N \gamma_{ij} (D_j - Q_j)^+$ 。

另外,为保证供应链内部的一致性,假设 $p_i > w_i > c_i, w_i > v_i$ 。

3 需求不确定环境下多个零售商竞争的鲁棒优化问题

3.1 需求不确定环境下多个零售商竞争的报童模型

在如图 1 所示的供应链系统中,制造商与零售商的期望利润如式(1)、(2)所示:

$$M(w_i, Q_i) = \sum_{i=1}^N (w_i - c_i) Q_i \tag{1}$$

$$r_i(Q_i, D_i) = p_i E[\min(D_i, Q_i)] - w_i Q_i + v_i(Q_i - D_i)^+ = (p_i - v_i) E[\min(D_i, Q_i)] - (w_i - v_i) Q_i \tag{2}$$

考虑制造商为主方、零售商为从方的 Stackelberg 主从对策,则零售商的最优订货量为 $Q_i^* = \arg \max_{Q_i} r_i(Q_i, Q_j^*)$,制造商的最优批发价格为 $w_i^* = \arg \max_{w_i} M(Q_i^*)$ 。

通过分析计算可以发现,即使已知需求分布,也很难求解最优订货量和最优批发价格的解析表达式。因为考虑到消费品市场顾客需求的转移以及不同产品之间的可替代性(即当 $\gamma_{ij} = 0$ 时),每个零售商的最优订货量不仅取决于自身的销售能力及产品特性,还受其他零售商的竞争及其他产品特性的影响。相反地,如果不考虑零售商之间的竞争及产品的可替代性(即假设 $\gamma_{ij} = 0$ 时),式(2)就是典型的

报童问题,则零售商的最优订货量为:

$$Q_i^* = F_{D_i}^{-1} \left(\frac{p_i - w_i}{p_i - v_i} \right) \quad (3)$$

在实际运作环境中,对于每种产品的需求量,往往很难获得其具体的概率密度和分布函数,而通过历史数据分析和预测,通常能够知道每种商品的需求量将落在某个上限和下限之内,即 $D_i \in [A_i, B_i]$ 。对于这种需求不确定的情况,分析每个供应链节点企业的鲁棒决策(即对实现任何不确定需求参数都很好的解)更具现实意义。采用 Vairaktarakis (2000)对鲁棒性的定义,下面分别分析了需求不确定环境下多个零售商竞争的绝对鲁棒优化(absolute robust)问题、偏差鲁棒优化问题(robust deviation)和相对鲁棒优化问题(relative robust)。

3.2 绝对鲁棒优化问题

绝对鲁棒性方法是在所有订货量中选择一个绝对鲁棒订货量 Q_i^{AR} ,使所有可能需求实现中的最坏情形下的利润达到最大。此时,零售商和制造商的绝对鲁棒优化问题分别如式(4)、(5)所示。

$$\begin{aligned} & \max_{Q_i^{AR}} \min_{D_i \in [A_i, B_i]} R_i(Q_i^{AR}, D_i) \\ & = \max_{Q_i^{AR}} \min_{D_i \in [A_i, B_i]} ((p_i - v_i) E[\min(D_i, Q_i^{AR})] - (w_i - v_i) Q_i^{AR}) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\max_{c_i, w_i^{AR}, p_i} M(w_i^{AR}, Q_i^{AR}) = \max_{c_i, w_i^{AR}, p_i, i=1}^N (w_i^{AR} - c_i) Q_i^{AR} \quad (5)$$

其中, $D_i \in [A_i, B_i]$, $B_i = B_i + \sum_{j=1}^N \sum_{j \neq i} (B_j - Q_j)^+$, $i, j = 1, 2, \dots, N, j \neq i$ 。

考虑制造商为主方、零售商为从方的主从对策,首先对零售商的鲁棒订货问题进行求解,可以得到:

$$\begin{aligned} & \max_{Q_i^{AR}} \min_{D_i \in [A_i, B_i]} R_i(Q_i^{AR}, D_i) \\ & = \begin{cases} \max_{Q_i^{AR}} \left(\min_{D_i \in [A_i, B_i]} (p_i - w_i) Q_i^{AR} \right) & D_i \geq Q_i^{AR} \\ \max_{Q_i^{AR}} \left(\min_{D_i \in [A_i, B_i]} (p_i - v_i) D_i - (w_i - v_i) Q_i^{AR} \right) & D_i < Q_i^{AR} \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

由式(6)可以得出,零售商的最优鲁棒订货量为 $Q_i^{AR*} = A_i$ 。代入式(5)可以得出,制造商的最优鲁棒批发价格 $w_i^{AR*} = p_i$ 。也就是说,每个零售商都按每种产品可能实现的最低需求进行订货,同时制造商将每种产品的单位批发价格都制订为与零售商的单位零售价格相同,则均可以保证在最坏需求情景下实现利润最大。显然,这种最保守的鲁棒订货

决策对于零售商和制造商而言都不具现实可行的指导意义,因为这种绝对鲁棒决策不仅没有体现零售商之间的竞争及产品之间的可替代性,同时也使零售商无法获得利润。

3.3 偏差鲁棒优化问题

偏差鲁棒方法是在所有订货量中选择一个偏差鲁棒解 Q_i^{DR} ,使由需求不确定性造成的利润损失达到最小。这是一种最小-最大后悔值方法,其中后悔值是由 $R_i(D_i, D_i) - R_i(Q_i^{DR}, D_i)$ 的差表示的,即不存在需求不确定性时(这种情况下的订货量 $Q_i^{DR} = D_i$)可以实现的利润减去存在需求不确定性时的利润。此时,零售商和制造商的偏差鲁棒优化问题分别如式(7)、(8)所示。

$$\begin{aligned} & \min_{Q_i^{DR}} \max_{D_i \in [A_i, B_i]} (R_i(D_i, D_i) - R_i(Q_i^{DR}, D_i)) \\ & = \min_{Q_i^{DR}} \max_{D_i \in [A_i, B_i]} \left[\begin{aligned} & (p_i - v_i) D_i - (p_i - v_i) Q_i^{DR} \\ & E[\min(D_i, Q_i^{DR})] \\ & - (w_i - v_i) (D_i - Q_i^{DR}) \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\max_{c_i, w_i^{DR}, p_i} M(w_i^{DR}, Q_i^{DR}) = \max_{c_i, w_i^{DR}, p_i, i=1}^N (w_i^{DR} - c_i) Q_i^{DR} \quad (8)$$

同样地,考虑制造商为主方、零售商为从方的主从对策,首先对零售商的鲁棒订货问题进行求解,由式(7)可以得到:

$$\begin{aligned} & \min_{Q_i^{DR}} \max_{D_i \in [A_i, B_i]} (R_i(D_i, D_i) - R_i(Q_i^{DR}, D_i)) \\ & = \min_{A_i, Q_i^{DR}, B_i} \left[\max_{A_i, Q_i^{DR}, B_i} \left[\begin{aligned} & (p_i - v_i) D_i - (p_i - v_i) Q_i^{DR} \\ & E[\min(D_i, Q_i^{DR})] \\ & - (w_i - v_i) (D_i - Q_i^{DR}) \end{aligned} \right] \right] \\ & = \begin{cases} \min_{A_i, Q_i^{DR}, B_i} \left[\max_{A_i, Q_i^{DR}, B_i} (p_i - w_i) (D_i - Q_i^{DR}) \right] & D_i \geq Q_i^{DR} \\ \min_{A_i, Q_i^{DR}, B_i} \left[\max_{A_i, Q_i^{DR}, B_i} (w_i - v_i) (Q_i^{DR} - D_i) \right] & D_i < Q_i^{DR} \end{cases} \\ & = \min_{A_i, Q_i^{DR}, B_i} (\max((w_i - v_i) (Q_i^{DR} - A_i), (p_i - w_i) (B_i - Q_i^{DR}))) \end{aligned}$$

由此可以得到,零售商的最优鲁棒订货量为

$$Q_i^{DR*} = \frac{w_i - v_i}{p_i - v_i} \cdot A_i + \frac{p_i - w_i}{p_i - v_i} \cdot B_i,$$

$$\begin{aligned} \text{即 } Q_i^{DR*} & = \frac{w_i - v_i}{p_i - v_i} \cdot A_i + \frac{p_i - w_i}{p_i - v_i} \cdot \left[B_i + \sum_{j=1}^N \sum_{j \neq i} (B_j - Q_j^{DR*})^+ \right] \end{aligned}$$

将 Q_i^{DR*} 代入式(8)可以得出,制造商的最优鲁棒批发价格 $w_i^{DR*} = \frac{(p_i + c_i) B_i - (v_i + c_i) A_i}{2(B_i - A_i)}$,即

$$w_i^{DR*} = \frac{(p_i + c_i) \left(B_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N v_j (B_j - Q_j^{DR*})^+ \right) - (v_i + c_i) A_i}{2 \left[B_i - A_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N v_j (B_j - Q_j^{DR*})^+ \right]}$$

$$w_i^{DR*} = \frac{v_i \left(B_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N v_j (B_j - Q_j^{DR*})^+ \right) - p_i A_i}{B_i - A_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N v_j (B_j - Q_j^{DR*})^+}$$

3.4 相对鲁棒优化问题

相对鲁棒方法是指在所有订货量中选择一个相对鲁棒解 Q_i^{RR*} , 使不存在需求不确定性时的单位利润的相对利润损失达到最小。相对利润损失是指偏差利润与不存在需求不确定性时所得利润的比值。此时, 零售商和制造商的相对鲁棒优化问题分别如式 (9)、(10) 所示。

$$\min_{Q_i^{RR}} \max_{D_i \in [A_i, B_i]} \left\{ \frac{R_i(D_i, D_i) - R_i(Q_i^{RR}, D_i)}{R_i(D_i, D_i)} \right\} = \min_{A_i} \min_{Q_i^{RR}} \max_{B_i} \left\{ \frac{\max_{A_i} \left[\frac{(p_i - w_i) D_i - (p_i - v_i) E[\min(D_i, Q_i^{RR})]}{(p_i - w_i) D_i} \right]}{\frac{(w_i - v_i) Q_i^{RR}}{(p_i - w_i) D_i} + 1} \right\} \quad (9)$$

$$\max_{c_i} \min_{w_i^{RR}, p_i} M(w_i^{RR}, Q_i^{RR}) = \max_{c_i} \min_{w_i^{RR}, p_i} (w_i^{RR} - c_i) Q_i^{RR} \quad (10)$$

同样地, 考虑制造商为主方、零售商为从方的主从对策, 首先对零售商的鲁棒订货问题进行求解, 由式 (9) 可以得到:

$$\min_{Q_i^{RR}} \max_{D_i \in [A_i, B_i]} \left\{ \frac{R_i(D_i, D_i) - R_i(Q_i^{RR}, D_i)}{R_i(D_i, D_i)} \right\} = \begin{cases} \min_{A_i} \min_{Q_i^{RR}} \max_{B_i} \left\{ \frac{\max_{A_i} \left[\frac{(p_i - w_i) (D_i - Q_i^{RR})}{(p_i - w_i) D_i} \right]}{\frac{(w_i - v_i) (Q_i^{RR} - D_i)}{(p_i - w_i) D_i}} \right\} & D_i \geq Q_i^{RR} \\ \min_{A_i} \min_{Q_i^{RR}} \max_{B_i} \left\{ \frac{\max_{A_i} \left[\frac{(w_i - v_i) (Q_i^{RR} - D_i)}{(p_i - w_i) D_i} \right]}{\frac{(w_i - v_i) (Q_i^{RR} - D_i)}{(p_i - w_i) D_i}} \right\} & D_i < Q_i^{RR} \end{cases} = \min_{A_i} \min_{Q_i^{RR}} \max_{B_i} \left\{ \max \left[\frac{(w_i - v_i) (Q_i^{RR} - A_i)}{(p_i - w_i) A_i}, \frac{(B_i - Q_i^{RR})}{B_i} \right] \right\}$$

由此可以得到, 零售商的相对鲁棒订货量为

$$Q_i^{RR*} = \frac{(p_i - v_i) A_i B_i}{(p_i - w_i) A_i + (w_i - v_i) B_i}$$

即

$$Q_i^{RR*} = \frac{(p_i - v_i) A_i \left(B_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N v_j (B_j - Q_j^{RR*})^+ \right)}{(p_i - w_i) A_i + (w_i - v_i) \left(B_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N v_j (B_j - Q_j^{RR*})^+ \right)}$$

将 Q_i^{DR*} 代入式 (8) 可以得出, 制造商的绝对鲁棒批发价格 $w_i^{DR*} = \frac{v_i B_i - p_i A_i}{B_i - A_i}$, 即

4 数值算例与分析

假设供应链系统由一个制造商和两个零售商组成, 即 $N = 2$ 。假设 $p_1 = 50, p_2 = 80, w_1 = 20, w_2 = 40, v_1 = 5, v_2 = 10; A_1 = A_2 = 5, B_1 = 30, B_2 = 50$, 即 $D_1 \in [5, 30], D_2 \in [5, 50]$ 。利用 MATLAB 分别计算了不同产品替代率 γ_{12} (或 γ_{21}) 下的绝对鲁棒定货量 Q^{AR*} 、偏差鲁棒定货量 Q^{DR*} 及相对鲁棒定货量 Q^{RR*} , 如图 2、3 所示。

由图 2 和图 3 可以看出, 随着产品替代率 γ_{12} (或 γ_{21}) 的增大, 产品 1 和产品 2 的偏差鲁棒定货量和相对鲁棒定货量均随之减少。特别地, 当 $\gamma_{12} \approx 0.563$ (或 $\gamma_{21} \approx 0.128$) 时, 两个零售商的偏差鲁棒定货量和相对鲁棒定货量均为零。也就是说, 当第 2 种产品对第 1 种产品的替代率超过某一临界值 ($\tilde{\gamma}$) 时, 第 1 种产品的偏差鲁棒定货量和相对鲁棒定货量均趋近于零, 这反映了其他零售商的竞争及其他产品的替代率对该产品的鲁棒定货决策有一定的影响。

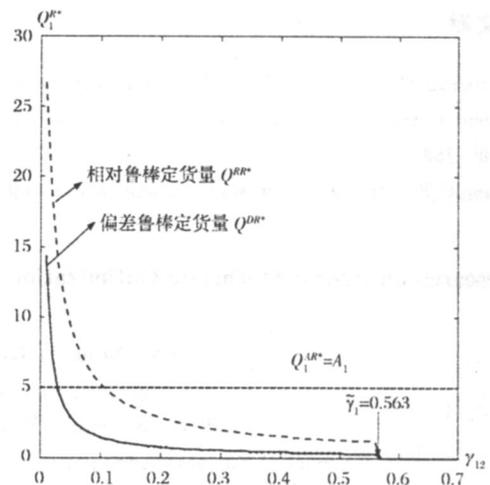


图 2 不同产品替代率下产品 1 的鲁棒订货量

另外, 由图 2 和图 3 可以看出, 无论产品替代率 γ_{12} (或 γ_{21}) 取何值, 产品 1 和产品 2 的绝对鲁棒值均等于需求区间的下限值, 这与 3.2 节的结论一致。

5 结语

本文在需求不确定环境下构建了由一个制造商和多个零售商的供应链系统, 建立多个零售商竞争的随机优化模型, 利用鲁棒优化方法研究了需求不

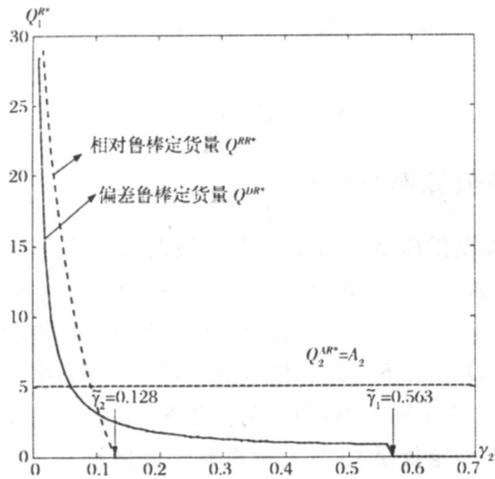


图3 不同产品替代率下产品2的鲁棒订货量
 确定环境下多个零售商竞争的绝对鲁棒优化问题、
 偏差鲁棒优化问题和相对鲁棒优化问题,并通过数
 值算例分析了不同产品替代率对绝对鲁棒定货量、
 偏差鲁棒定货量和相对鲁棒定货量的影响,证明了
 其他零售商的竞争及其他产品的替代率对该产品
 的鲁棒定货决策的影响程度。本文研究的模型适用
 于单一制造商的供应链结构,如何研究多个制造
 商和多个零售商构成的供应链系统下的鲁棒定货
 策略是进一步的研究方向。

参考文献:

[1] Bertsimas D, Thiele A. A robust optimization approach to inventory theory [J]. *Operations Research*, 2006, 54(1): 150 - 168.
 [2] Tang C S. Perspectives in supply chain risk management

[J]. *International Journal of Production Economics*, 2006, 103(2): 451 - 488.
 [3] Vidal C, Goetschalckx M. Modeling the effects of uncertainties on global logistics systems [J]. *Journal of Business Logistics*, 2000, 21(1): 95 - 120.
 [4] Yu G. Robust economic order quantity model [J]. *European Journal of Operational Research*, 1997, 100(3): 482 - 493.
 [5] Vairaktarakis G. Robust multi-item newsboy models with a budget constraint [J]. *International Journal of Production Economics*, 2000, 66(2): 213 - 226.
 [6] Bertsimas D, Pachamanova D, Sim M. Robust linear optimization under general norms [J]. *Operations Research Letters*, 2004, 32: 510 - 516.
 [7] Xu J W, Huang X Y, Yan N N. A Multi-objective robust operation model for electronic market enabled supply chain with uncertain demands [J]. *Journal of systems science and systems engineering*, 2007, 16(1): 74 - 87.
 [8] 晏妮娜, 黄小原. B2B 在线市场期权合同协调的鲁棒策略[J]. *系统工程理论与实践*, 2006, 26(1): 102 - 106.
 [9] 胡振华, 聂艳晖. 基于供需差额的调价策略的鲁棒性研究[J]. *管理工程学报*, 2003, 17(3): 1 - 3.
 [10] Plambeck E, Taylor T. Sell the Plant? the Impact of Contract Manufacturing on Innovation, Capacity and Profitability [R]. Stanford University, 2002.
 [11] Wu D J, Kleindorfer P R. Competitive Options, Supply Contracting, and Electronic Markets [J]. *Management Science*, 2005, 51(3): 452 - 466.
 [12] 刘东平. 需求随机情况下向多个供应商采购的期望值模型研究[J]. *科学技术与工程*, 2005, 5(5): 320 - 322.
 [13] 范小军, 陈宏民. 零售商差异条件下的渠道价格决策研究[J]. *中国管理科学*, 2008, 16(2): 97 - 103.

Research on Robust Stochastic Optimization of Multi-Retailers Competition under Demand Uncertainty

YAN Ning^{1,2}, HUANG Xiao-yuan³, MA Long-long²

(1. Shougang Iron & Steel Co., Beijing 100041, China;

2. Business School, Renmin University, Beijing 100027, China;

3. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: In this paper, the supply chain system with one manufacturer and multi-retailers is constructed under demand uncertainty. The stochastic optimization models with retailer competition are established under the consideration of products substitutability. Using robust optimization method, the absolute robust problems, robust deviation problems and relative robust problems are studied under demand uncertainty, respectively. Finally, these three optimal solutions are compared with different product substitutability through numerical examples.

Key words: supply chain; robust optimization; newsvendor model; uncertainty; Stackelberg game