

考虑模糊需求和不公平厌恶的批发价格契约与协调

王宁宁, 王晓欢, 樊治平

(东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 针对模糊需求下的批发价格契约与协调问题, 基于 Fehr 和 Schmidt 提出的不公平厌恶模型, 构建了考虑零售商不公平厌恶的批发价格契约模型, 并通过模型推导及数值实验分析了零售商不公平厌恶对其订货量以及供应链利润的影响. 研究表明, 随着零售商的不利不公平厌恶程度的增加, 零售商的最优订货量及供应链利润均减小; 随着零售商的有利不公平厌恶程度的增加, 零售商的最优订货量及供应链利润均增加, 且零售商利润和供应链总利润均先增后减; 此外, 批发价格契约在一定条件下可以实现供应链协调.

关 键 词: 模糊需求; 不公平厌恶; 批发价格契约; 订货量; 协调

中图分类号: C 934; F 274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2015)09-1358-05

Wholesale Price Contract and Coordination Considering Fuzzy Demand and Inequity Aversion

WANG Ning-ning, WANG Xiao-huan, FAN Zhi-ping

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: WANG Xiao-huan, E-mail: xhwang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: For the problem of wholesale price contract and coordination under fuzzy demand, a wholesale price contract model considering retailer's inequity aversion was constructed based on the inequity aversion model proposed by Fehr and Schmidt. Then, the impacts of retailer's inequity aversion on order quantity and supply chain profit were analyzed through model reasoning and numerical experiment. The results showed that retailer's optimal order quantity and supply chain profit will decrease as retailer's disadvantageous inequity aversion increases. Retailer's order quantity and supplier's profit will increase, and retailer's profit as well as the total profit of whole supply chain will first increase and then decrease, as retailer's advantageous inequity aversion increases. In addition, wholesale price contract can coordinate supply chain under certain conditions.

Key words: fuzzy demand; inequity aversion; wholesale price contract; order quantity; coordination

供应链协调是指通过某些机制,使得供应链成员实现更优的系统绩效^[1].关于供应链协调的研究,多年来一直受到许多学者的高度重视^[2-3].通常,供应链契约被认为是实现供应链协调的一种行之有效的方法,常见的供应链契约有批发价格契约^[4]、期权契约^[5]等,其中,批发价格契约凭借操作简便以及实施成本低廉等优势,在供应链管理中得到了广泛的运用.已有的供应链批发价

格契约与协调的研究大多假定市场需求是确定或随机的情形,但由于市场动荡或者技术革新等原因,零售商很难搜集到满足要求的历史数据,来使用传统的随机模型或统计方法对不确定市场需求进行描述,而是对需求的变动情况有一个主观模糊的认识,即市场需求为模糊的情形^[6-7].此外,传统的供应链批发价格契约研究一般假定供应商和零售商只追求自身利益最大化,而不关注他人

收稿日期: 2014-07-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71201020); 中国博士后科学基金资助项目(2013M540233); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N140607001, N140604003).

作者简介: 王宁宁(1989-),男,山东济南人,东北大学博士研究生; 樊治平(1961-),男,江苏镇江人,东北大学教授,博士生导师.

获得利益的多少,但在现实中,人们对是否受到公平对待表现出了极大的关注,即公平关切^[8-9],并且公平是影响供应链渠道合作的重要因素^[10-11]. 因此,在市场需求为模糊的情形下,考虑供应链成员具有不公平厌恶心理行为的供应链批发价格契约与协调问题,是一个值得关注的、具有现实意义的重要研究课题. 目前,关于这方面研究成果有两个方面:一方面为考虑模糊需求下的供应链契约与协调研究^[12-13];另一方面为考虑公平关切的供应链契约与协调研究^[14-15]. 需要指出的是,已有相关的研究成果得出了诸多有价值的重要结论,但针对模糊需求下考虑不公平厌恶的批发价格契约与协调问题研究尚不多见. 鉴于此,本文将零售商不公平厌恶行为引入到模糊需求环境下的批发价格契约中,通过构建考虑零售商不公平厌恶的批发价格契约模型,研究了零售商的不公平厌恶行为对其订货量及批发价格契约协调供应链的影响.

1 问题描述

本文考虑由一个供应商和一个不公平厌恶的零售商组成的单周期、两级供应链. 供应商以成本 c_s 生产产品,并以价格 w 将产品批发给零售商,零售商将该产品以价格 p 销售给顾客. 零售商边际采购成本为 c_r ,包括采购产品过程中发生的运输费、装卸费及保险费等. 为了便于分析零售商不公平厌恶心理行为对批发价格契约协调供应链的影响,假设不考虑零售商的缺货成本及商品残值. 此外,依据现实情况,假设 $c_s > c_r, c = c_r + c_s$.

假设零售商面对的市场需求用三角模糊数 \tilde{D} 表示, $\tilde{D} = (a_1, a_2, a_3)$ ($a_3 > a_2 > a_1 > 0$). a_2 表示市场对某种产品的需求大约为 a_2 单位, a_3 和 a_1 分别表示市场需求的最大可能值和最小可能值,其取值可由专家估计给出. \tilde{D} 的隶属函数如式 (1) 所示:

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \begin{cases} L(x), & x \in [a_1, a_2]; \\ R(x), & x \in [a_2, a_3]; \\ 0, & x \notin [a_1, a_3]. \end{cases} \quad (1)$$

其中: $L(x) = (x - a_1)/(a_2 - a_1)$ 为隶属函数 $\mu_{\tilde{D}}(x)$ 的左函数, $L(x)$ 在区间 $[a_1, a_2]$ 上右连续且严格递增,并且 $0 < L(x) \leq 1$; $R(x) = (a_3 - x)/(a_3 - a_2)$ 为隶属函数 $\mu_{\tilde{D}}(x)$ 的右函数, $R(x)$ 在区间 $[a_2, a_3]$ 上左连续且严格递减,并且 $0 < R(x) \leq 1$. $L^{-1}(x)$ 和 $R^{-1}(x)$ 分别为 $L(x)$ 和 $R(x)$ 的逆函数.

2 不公平厌恶下批发价格契约与协调

2.1 基本模型

在批发价格契约中,零售商、供应商及整个供应链的模糊利润分别如下:

$$\tilde{\pi}_r = p \min(q, \tilde{D}) - (w + c_r)q; \quad (2)$$

$$\tilde{\pi}_s = (w - c_s)q; \quad (3)$$

$$\tilde{\pi}_{sc} = \tilde{\pi}_r + \tilde{\pi}_s = p \min(q, \tilde{D}) - cq. \quad (4)$$

依据文献[7],根据零售商的订货量分为 $a_1 < q \leq a_2$ (情形 1) 和 $a_2 \leq q < a_3$ (情形 2) 两种情形对供应链成员利润及订货量等进行讨论.

针对情形 1,零售商、供应商以及供应链的模糊期望利润分别为

$$E[\tilde{\pi}_r] = \frac{1}{2}p \int_0^{L(q)} L^{-1}(\lambda) d\lambda - \frac{1}{2}pqL(q) + (p - w - c_r)q; \quad (5)$$

$$E[\tilde{\pi}_s] = (w - c_s)q; \quad (6)$$

$$E[\tilde{\pi}_{sc}] = \frac{1}{2}p \int_0^{L(q)} L^{-1}(\lambda) d\lambda - \frac{1}{2}pqL(q) + (p - c)q. \quad (7)$$

针对情形 2,零售商、供应商以及供应链的模糊期望利润分别为

$$E[\tilde{\pi}_r] = \frac{1}{2}p \int_{R(q)}^1 R^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1}{2}p \int_0^1 L^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1}{2}pqR(q) - (w + c_r)q; \quad (8)$$

$$E[\tilde{\pi}_s] = (w - c_s)q; \quad (9)$$

$$E[\tilde{\pi}_{sc}] = \frac{1}{2}p \int_{R(q)}^1 R^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1}{2}p \int_0^1 L^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1}{2}pqR(q) - cq. \quad (10)$$

在集中决策情形下,整个供应链的最优订货量为

$$q^0 = \begin{cases} L^{-1}\left(\frac{2(p-c)}{p}\right), & p \in (c, 2c]; \\ R^{-1}\left(\frac{2c}{p}\right), & p \in [2c, +\infty). \end{cases} \quad (11)$$

2.2 考虑零售商不公平厌恶的批发价格契约模型

Fehr 和 Schmidt 利用不公平厌恶模型对决策者的公平关切行为进行了具体的描述^[9],本文将该不公平厌恶模型运用到两级供应链中,假设零售商是不公平厌恶的,即当零售商的利润少于或者多于供应商的利润时,零售商就会感到不公平. 具体的,零售商的模糊期望效用可表示为

$$U_r = E[\tilde{\pi}_r] - \alpha \max\{E[\tilde{\pi}_s] - E[\tilde{\pi}_r], 0\} -$$

$$\beta \max \{E[\tilde{\pi}_r] - E[\tilde{\pi}_s], 0\}. \quad (12)$$

其中 α 和 β 分别表示零售商的不利不公平厌恶系数和有利不公平厌恶系数,且有 $\beta \leq \alpha, 0 \leq \beta < 1$.

2.2.1 不利不公平厌恶

针对情形 1,零售商的模糊期望效用为

$$U_r = \frac{1+\alpha}{2} \int_0^{L(q)} pL^{-1}(\lambda) d\lambda - \frac{1+\alpha}{2} pqL(q) + [(1+\alpha)(p-c_r) - (1+2\alpha)w + \alpha c_s]q. \quad (13)$$

针对情形 2,零售商的模糊期望效用为

$$U_r = \frac{1+\alpha}{2} \int_{R(q)}^1 pR^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1+\alpha}{2} \int_0^1 pL^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1+\alpha}{2} pqR(q) - [(1+2\alpha)w + (1+\alpha)c_r - \alpha c_s]q. \quad (14)$$

为了便于下文叙述,记

$$E = (1+\alpha)(p-c_r) - (1+2\alpha)w + \alpha c_s, \\ H = (1+2\alpha)w + (1+\alpha)c_r - \alpha c_s.$$

定理 1 不利不公平厌恶零售商的模糊期望效用函数是关于 q 的严格凹函数,零售商的最优订货量存在且唯一,即

$$q_{dis}^* = \begin{cases} L^{-1}\left(\frac{2E}{(1+\alpha)p}\right), & p \in \left(\frac{H}{1+\alpha}, \frac{2H}{1+\alpha}\right]; \\ R^{-1}\left(\frac{2H}{(1+\alpha)p}\right), & p \in \left[\frac{2H}{1+\alpha}, +\infty\right). \end{cases} \quad (15)$$

证明 针对情形 1,对 U_r 关于 q 求一阶导数有 $\partial U_r / \partial q = -(1+\alpha)/2 pL(q) + E$,对 U_r 关于 q 求二阶导数有 $\partial^2 U_r / \partial q^2 = -(1+\alpha)/2 pL'(q) < 0$. 令 $\partial U_r / \partial q = 0$, 可得 $q_{dis}^* = L^{-1}\left(\frac{2E}{(1+\alpha)p}\right)$. 又 $0 < \frac{2E}{(1+\alpha)p} \leq 1$, 所以 $\frac{H}{1+\alpha} < p \leq \frac{2H}{1+\alpha}$. 针对情形 2,对 U_r 关于 q 求一阶导数有 $\partial U_r / \partial q = (1+\alpha)/2 pR(q) - H$,对 U_r 关于 q 求二阶导数有 $\partial^2 U_r / \partial q^2 = (1+\alpha)/2 pR'(q) < 0$. 令 $\partial U_r / \partial q = 0$, 可得 $q_{dis}^* = R^{-1}\left(\frac{2H}{(1+\alpha)p}\right)$. 又 $0 < \frac{2H}{(1+\alpha)p} \leq 1$, 所以 $p \geq \frac{2H}{1+\alpha}$. 证毕.

性质 1 q_{dis}^* 不大于传统零售商分散决策下的最优订货量 q_0 , 并且 q_{dis}^* 随着 α 的增加而减小.

证明 针对情形 1,对 q_{dis}^* 关于 α 求一阶导数有 $\partial q_{dis}^* / \partial \alpha < 0$. 又因为传统零售商分散决策下的最优订货量 q_0 为 $\alpha = 0$ 的情形, 所以有 $q_0 \geq q_{dis}^*$. 针对情形 2,对 q_{dis}^* 关于 α 求一阶导数有 $\partial q_{dis}^* / \partial \alpha < 0$. 又因为传统零售商分散决策下的最优订货量 q_0 为 $\alpha = 0$ 的情形, 所以有 $q_0 \geq q_{dis}^*$. 证毕.

定理 2 在考虑零售商具有不利不公平厌恶心理行为的情形下,批发价格契约不能协调供应链.

证明 针对情形 1 和 2 为促进批发价格契约协调供应链,需令 $q_{dis}^* = q^0$. 求解可知:当 $\alpha = -0.5$ 时,式 $q_{dis}^* = q^0$ 恒成立;当 $\alpha \in (0, +\infty)$ 时,有 $w = c_s$. 由于 $\alpha \in (0, +\infty)$,且在批发价格契约下有 $w > c_s$,所以批发价格契约不能实现供应链协调. 证毕.

2.2.2 有利不公平厌恶

针对情形 1,零售商的模糊期望效用为

$$U_r = \frac{1-\beta}{2} \int_0^{L(q)} pL^{-1}(\lambda) d\lambda - \frac{1-\beta}{2} pqL(q) + [(1-\beta)(p-c_r) - (1-2\beta)w - \beta c_s]q. \quad (16)$$

针对情形 2,零售商的模糊期望效用为

$$U_r = \frac{1-\beta}{2} \int_{R(q)}^1 pR^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1-\beta}{2} \int_0^1 pL^{-1}(\lambda) d\lambda + \frac{1-\beta}{2} pqR(q) - [(1-2\beta)w + (1-\beta)c_r + \beta c_s]q. \quad (17)$$

为了便于下文叙述,记

$$M = (1-\beta)(p-c_r) - (1-2\beta)w - \beta c_s; \\ N = (1-2\beta)w + (1-\beta)c_r + \beta c_s.$$

定理 3 有利不公平厌恶零售商的最优订货量存在且唯一,即

$$q_{adv}^* = \begin{cases} L^{-1}\left(\frac{2M}{(1-\beta)p}\right), & p \in \left(\frac{N}{1-\beta}, \frac{2N}{1-\beta}\right]; \\ R^{-1}\left(\frac{2N}{(1-\beta)p}\right), & p \in \left[\frac{2N}{1-\beta}, +\infty\right). \end{cases} \quad (18)$$

证明 针对情形 1,对 U_r 关于 q 求一阶导数有 $\frac{\partial U_r}{\partial q} = -\frac{(1-\beta)}{2} pL(q) + M$,对 U_r 关于 q 求二阶导数有 $\frac{\partial^2 U_r}{\partial q^2} = -\frac{(1-\beta)}{2} pL'(q) < 0$. 令 $\frac{\partial U_r}{\partial q} = 0$, 可得 $q_{adv}^* = L^{-1}\left(\frac{2M}{(1-\beta)p}\right)$. 又 $0 < \frac{2M}{(1-\beta)p} \leq 1$, 所以 $\frac{N}{1-\beta} < p \leq \frac{2N}{1-\beta}$. 针对情形 2,对 U_r 关于 q 求一阶导数有 $\frac{\partial U_r}{\partial q} = \frac{(1-\beta)}{2} pR(q) - N$,对 U_r 关于 q 求二阶导数有 $\frac{\partial^2 U_r}{\partial q^2} = \frac{(1-\beta)}{2} pR'(q) < 0$. 令 $\frac{\partial U_r}{\partial q} = 0$, 可得 $q_{adv}^* = R^{-1}\left(\frac{2N}{(1-\beta)p}\right)$. 又 $0 < \frac{2N}{(1-\beta)p} \leq 1$, 所以 $p \geq \frac{2N}{(1-\beta)}$. 证毕.

性质 2 q_{adv}^* 不小于传统零售商分散决策下的最优订货量 q_0 , 并且 q_{adv}^* 随着 β 的增加而增加.

证明 针对情形 1 和情形 2 对 q_{adv}^* 关于 β 求一阶导数有 $\partial q_{adv}^* / \partial \beta > 0$. 又因为在传统分散决策

下零售商的最优订货量 q_0 为 $\beta = 0$ 的情形, 所以有 $q_0 \leq q_{adv}^*$. 证毕.

定理 4 在考虑零售商的有利不公平厌恶行为的情况下, 当 $\beta = 0.5$ 时, 批发价格契约可以协调供应链.

证明 针对情形 1, 为促进批发价格契约协调供应链, 需令 $q^* = q^0$. 求解可得: 当 $\beta = 0.5$ 时, 式 $q^* = q^0$ 恒成立; 当 $\beta \neq 0.5$ 时, 有 $w = c_s$. 针对情形 2, 为促进批发价格契约协调供应链, 需令 $q^* = q^0$. 求解可得: 当 $\beta = 0.5$ 时, 式 $q^* = q^0$ 恒成立; 当 $\beta \neq 0.5$ 时, 有 $w = c_s$. 综上, 当 $\beta \neq 0.5$ 时, 由于在批发价格契约下有 $w > c_s$, 所以批发价格契约不能实现供应链协调; 而当 $\beta = 0.5$ 时, 式 $q^* = q^0$ 恒成立, 此时零售商的效用为 $0.5(E[\tilde{\pi}_r] + E[\tilde{\pi}_s])$, 即平分整个供应链利润. 对此, 可以理解为当零售商的利润高于供应商时, 由于受到有利不公平厌恶心理的影响, 零售商会因感到不安而带来负效用. 正是如此, 零售商会降低自身利润, 增加供应商利润, 使两者的利润更加平衡. 证毕.

3 数值分析

通过一个算例对上述研究结果的有效性进行检验, 假设专家估计某产品在某市场的模糊需求为 $\tilde{D} = (100, 200, 300)$. $c_r = 5, c_s = 10$, 则 $c = 15$.

3.1 不利不公平厌恶对批发价格契约的影响

假设销售价格 $p = 25$, 批发价格契约参数 $w = 15$. 如图 1 和图 2 所示, 当 $\alpha \in [0, +\infty)$ 时, 随着零售商不利不公平厌恶程度的增加, 零售商、供应商以及供应链的利润和效用均减少, 并且零售商的利润和效用分别与供应商的利润和效用趋于相等. 算例表明, 随着零售商不利不公平厌恶程度的

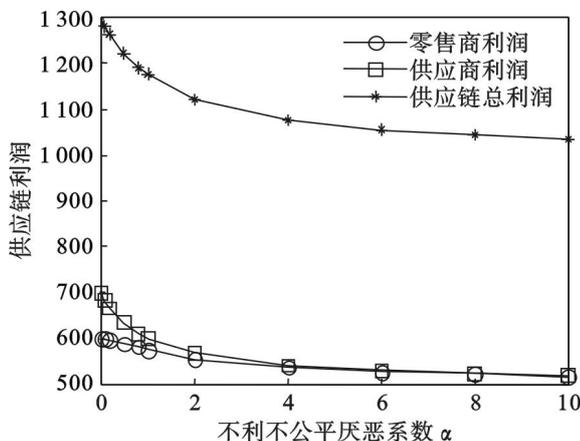


图 1 α 对供应链利润的影响
Fig. 1 Effect of α on supply chain profit

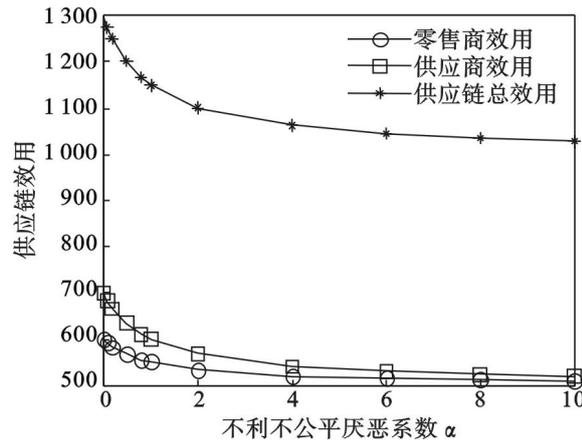


图 2 α 对供应链效用的影响
Fig. 2 Effect of α on supply chain utility

增加, 虽然其做出的决策结果使得双方利润和效用趋于相等, 但却导致双方利润受损程度不断增加. 所以, 为了避免双方利润进一步受损, 供应商应该采取一定的措施.

3.2 有利不公平厌恶对批发价格契约的影响

假设销售价格 $p = 40$, 批发价格契约参数 $w = 15$. 如图 3 和图 4 所示, 当 $\beta \in [0, 1)$ 时, 随着零售商有利不公平厌恶程度的增加, 零售商的利润和效用均减少, 供应商的利润和效用均增加, 而供应链总利润先增加后减少, 供应链总效用先减少后增加. 算例表明, 虽然在零售商有利不公平厌恶下的批发价格契约可以在一定条件下实现供应链协调, 但是随着零售商有利不公平厌恶程度增加到较高水平, 零售商的订货量虚增, 导致整个供应链的利润降低; 同时, 由于市场的需求量一定, 这也将造成整个社会资源的浪费. 因此, 当供应商面对有利不公平厌恶程度较高的零售商时, 应该采取一定的激励措施, 以避免供应链总利润的降低及减少社会资源的浪费.

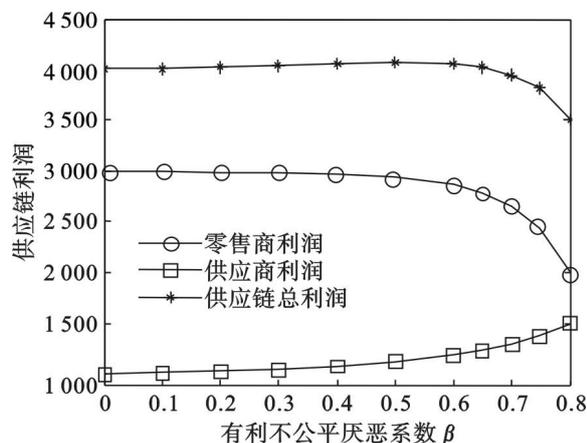
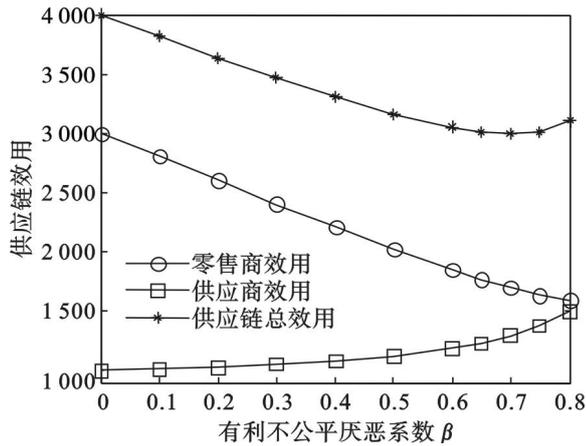


图 3 β 对供应链利润的影响
Fig. 3 Effect of β on supply chain profit

图 4 β 对供应链效用的影响Fig. 4 Effect of β on supply chain utility

4 结 语

本文研究了模糊需求下考虑零售商不公平厌恶心理行为的供应链契约与协调问题,构建了考虑零售商不利不公平厌恶行为和有利不公平厌恶行为的批发价格契约模型,通过模型推导及数值实验分析,得出的主要结论是:在考虑零售商不利不公平厌恶情形下,随着不利不公平厌恶程度的增加,零售商的最优订货量呈递减趋势;在考虑零售商有利不公平厌恶情形下,随着有利不公平厌恶程度的增加,零售商的最优订货量呈递增趋势;特别地,当有利不公平厌恶系数 $\beta = 0.5$ 时,批发价格契约可以实现供应链协调. 本文的主要贡献在于:针对现实中具有模糊需求的一类供应链协调问题,给出了一种考虑零售商不公平厌恶的批发价格契约模型,得出了零售商最优订购量以及协调条件,分析了不公平厌恶系数对供应链利润的影响. 本文拓展了已有批发价格契约协调供应链的研究,有利于批发价格契约在现实的供应链协调中的广泛应用.

参考文献:

[1] Cachon G P, Lariviere M A. Contracting to assure supply: how to share demand forecasts in a supply chain [J]. *Management Science*, 2001, 47(5): 629 - 646.

- [2] Kanda A, Deshmukh S G. Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions [J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 115(2): 316 - 335.
- [3] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [J]. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 2003, 11: 227 - 339.
- [4] Spengler J J. Vertical integration and antitrust policy [J]. *Journal of Political Economy*, 1950, 58(4): 347 - 352.
- [5] Gomez P A, Mishina T. Supply contract with options [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 122(1): 312 - 318.
- [6] Petrovic D, Petrovic R, Vujosevic M. Fuzzy models for the newsboy problem [J]. *International Journal of Production Economics*, 1996, 45(1): 435 - 441.
- [7] Kao C, Hsu W K. A single-period inventory model with fuzzy demand [J]. *Computers & Mathematics with Applications*, 2002, 43(6): 841 - 848.
- [8] Rabin M. Incorporating fairness into game theory and economics [J]. *The American Economic Review*, 1993, 83(5): 1281 - 1302.
- [9] Fehr E, Schmidt K M. A theory of fairness, competition, and cooperation [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114(3): 817 - 868.
- [10] Kumar N, Scheer L K, Steenkamp J E. The effects of supplier fairness on vulnerable resellers [J]. *Journal of Marketing Research*, 1995, 32(1): 54 - 65.
- [11] Kahneman D, Knetsch J L, Thaler R H. Fairness and the assumptions of economics [J]. *Journal of Business*, 1986, 59(4): 285 - 300.
- [12] Ryu K, Yucsan E. A fuzzy newsvendor approach to supply chain coordination [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 200(2): 421 - 438.
- [13] 桑圣举, 张强. 模糊需求下 n 级供应链的收益共享契约机制研究 [J]. *中国管理科学*, 2013, 21(3): 127 - 136. (Sang Sheng-ju, Zhang Qiang. Revenue sharing contract for n -echelon supply chains with fuzzy demand [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2013, 21(3): 127 - 136.)
- [14] Cui T H, Raju J S, Zhang Z J. Fairness and channel coordination [J]. *Management Science*, 2007, 53(8): 1303 - 1314.
- [15] 毕功兵, 瞿安民, 梁樑. 不公平厌恶下供应链的批发价格契约与协调 [J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(1): 134 - 140. (Bi Gong-bing, Qu An-min, Liang Liang. Supply chain coordination with wholesale price contract incorporating inequity aversion [J]. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2013, 33(1): 134 - 140.)