

公平关切下零售商主导的闭环供应链决策模型

姚锋敏[†], 滕春贤

(哈尔滨理工大学 管理学院, 哈尔滨 150080)

摘要: 将公平关切性引入到零售商主导的闭环供应链中, 分别在零售商公平中性和公平关切下, 分析闭环供应链成员及整体的最优决策问题, 并对两种情形下的均衡结果进行比较. 研究表明, 主导零售商的公平关切性对其自身效用的最大化是有利的, 对制造商和第三方利润的最大化是不利的. 零售商公平关切程度相对较弱时, 其公平关切程度的增强对闭环供应链系统是不利的, 反之, 其公平关切程度的增强对闭环供应链系统是有利的.

关键词: 公平关切; 零售商主导; 闭环供应链

中图分类号: F224; C931.1

文献标志码: A

Decision models of closed-loop supply chain with dominant retailer considering fairness concern

YAO Feng-min[†], TENG Chun-xian

(School of Management, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: The fairness concern is introduced into a closed-loop supply chain system with a dominant retailer. Under the case that considering and without considering the dominant retailer's fairness concern, the optimal decisions of members as well as the whole closed-loop supply chain system are analyzed respectively, and the equilibrium results are compared. The results show that the dominant retailer's fairness concern is beneficial to the maximization of his own utility, but unfavorable to the profit maximization of the manufacturer and the third party recycler. The increase of dominant retailer's fairness concern is unfavorable to the utility of the whole closed-loop supply chain system when the fairness concern is relatively weak, but it will be beneficial on the contrary.

Keywords: fairness concern; dominant retailer; closed-loop supply chain

0 引言

经济学中一般假设决策者是完全理性的, 并认为决策者以其利益最大化作为决策准则. 然而, 以诺贝尔经济学奖获得者 Kahnema 等为代表的一批行为科学家通过大量的实证研究, 揭示出人们在现实问题中往往对公平性表现出极大的关注^[1].

目前已有大量研究将公平关切性引入到供应链系统的决策和协调等问题中. Cui 等^[2]分析了制造商主导的供应链中公平关切性对供应链协调的影响. Katok 等^[3]基于一系列实验和测试, 指出公平关切性是影响供应链契约达成效果的重要因素. 杜少甫等^[4]对决策者的公平关切效用函数进行简化, 研究指出零售商的公平关切行为不会影响供应链的协调状态.

刑伟等^[5]指出, 渠道公平性可以有效地改善双重边际效应. 李波等^[6]指出, 零售商的公平关切性对其自身效用的增加是有利的, 但会伤害制造商的利润. 柳键等^[7]研究了公平关切性对服务供应链协调契约的影响, 指出服务集成商公平关切性的增加对服务提供商是不利的. 浦徐进等^[8]指出, 供应商的过度自信和公平关切有利于提高供应商的整体效用. 王宣涛等^[9]针对零售商公平关切下的易逝品供应链, 分析了零售商的公平关切程度对供应商利润、零售商和供应链效用的影响. 以上研究从多个角度分析了公平关切性对供应链决策及协调的影响, 取得了大量重要的研究成果, 然而他们的研究仍然属于开环供应链, 并未涉及闭环供应链.

收稿日期: 2015-11-25; 修回日期: 2016-04-21.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71301036, 71171069).

作者简介: 姚锋敏(1981—), 男, 副教授, 博士, 从事闭环供应链优化、建模等研究; 滕春贤(1947—), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策理论与方法等研究.

[†]通信作者. E-mail: fengmin_yao@hrbust.edu.cn

闭环供应链作为一种新型物流管理模式,实现了废弃产品的再回收、再利用。目前,闭环供应链管理引起了学者们的广泛关注^[10]。Savaskan等^[11]在回收模式方面作了较为全面的研究,首先分析了闭环供应链中的3种回收模式,并针对制造商主导的闭环供应链,分析了3种不同回收模式下的最优回收渠道选择问题。易余胤^[12]构建了不同主导力量下的闭环供应链模型,指出在有领导者的闭环供应链结构下,零售商主导的结构更优。王文宾等^[13]在3种不同渠道权力结构下研究了闭环供应链的定价和协调问题。Hong等^[14]研究了零售商和第三方回收商分别进行回收时的闭环供应链决策问题,并指出零售商负责回收时的渠道回收率、制造商利润和渠道总利润不一定总是优于第三方负责回收的情形。Choi等^[15]研究了不同渠道力量下闭环供应链的决策问题,并认为零售商主导的闭环供应链整体绩效是最佳的。林杰等^[16]分别在制造商和零售商占主导时研究了闭环供应链的定价问题。Wei等^[17]基于信息对称和不对称,分别在制造商主导和零售商主导的两种渠道力量下构建了4种闭环供应链的决策模型。上述研究的共同点在于分析了不同渠道主导力量下闭环供应链的最优决策等问题,完善和发展了闭环供应链管理的相关理论,但并未考虑闭环供应链成员的决策偏好。

目前,将决策偏好引入到闭环供应链系统的研究工作相对较少,然而闭环供应链的决策环境更为复杂,渠道利润的分配和废旧产品的回收效果依赖于渠道结构、回收模式、渠道力量、回收成本等多种因素,在这种复杂的决策环境下,渠道利润分配的不合理更容易导致成员企业公平关切行为的产生。张克勇等^[18-19]针对一个制造商和一个零售商组成的闭环供应链,分析了公平关切性对于闭环供应链最优定价和渠道利润的影响,并指出公平关切性是零售商获取闭环供应链利润分配的一种手段。丁雪峰等^[20-21]进一步研究了成员公平关切下闭环供应链的定价和协调等问题。以上研究仍然属于制造商主导的情形,且并未涉及第三方回收。韩小花等^[22]在零售商主导的情形下构建了基于认识层级和公平偏好的定价决策模型,该研究假设制造商负责废旧产品回收,且同样未涉及第三方回收。

基于上述研究现状,在零售商主导的闭环供应链中,当第三方负责废旧产品回收时,零售商的主导地位和公平关切性对于闭环供应链的最优决策有何影响?零售商的公平关切性对于自身及其他渠道成员的利润有何影响?零售商的公平关切性是否一定会对闭环供应链系统的效用造成损失?这些关键性问题是本文的主要研究内容。

本文针对由一个制造商、一个占主导地位零售商和一个第三方回收商构成的闭环供应链系统,分别在零售商公平中性和公平关切下,构建闭环供应链的决策模型,讨论主导零售商的公平关切性与闭环供应链系统整体效用之间的关系,进一步,在制造商也公平关切下对模型做了扩展研究,并通过数值算例对主要研究结论进行了验证。

1 相关定义和假设

假设闭环供应链系统由一个制造商、一个占主导地位零售商和一个第三方回收商(简称第三方)构成。制造商与零售商、第三方之间属于完全信息下的Stackelberg博弈,零售商为领导者且零售商具有一定的公平关切倾向。制造商负责新产品的生产和废旧产品的处理,且委托第三方进行废旧产品的回收,零售商负责新产品的销售。假设闭环供应链系统的需求函数^[14]如下:

$$D(p) = \phi - p. \quad (1)$$

其中: p 为市场上新产品的单位零售价格, ϕ 为市场容量, $\phi > p$ 。

其他相关符号和变量假设如下:

w : 表示制造商新产品的单位批发价格, $p \geq w$;

c : 表示制造商生产新产品的单位固定成本, $w > c$;

m : 表示零售商的单位利润, $p = w + m$;

τ : 表示废旧产品的回收率, 且 $0 \leq \tau \leq 1$;

$I = C_l \tau^2$: 表示第三方回收废旧产品的努力成本, $C_l > 0$ 表示规模参数;

A : 表示第三方回收废旧产品的单位收益, $A > 0$;

b : 表示制造商处理掉废旧产品的单位收益, $b > A$;

Φ : 表示制造商支付给第三方的合作费(转移支付), 且假设 $\Phi = F\tau$, F 表示当回收率为1时, 制造商的总支付。

2 零售商主导闭环供应链的最优决策

2.1 零售商公平中性下的最优决策

当零售商不考虑公平关切性(即公平中性)时, 闭环供应链系统的所有成员作为理性决策者均追求自身利润的最大化(即闭环供应链成员会采用分散式决策), 则闭环供应链中零售商、制造商以及第三方的利润函数分别表示为

$$\pi_r(p) = (p - w)(\phi - p), \quad (2)$$

$$\pi_m(w, F) = (w - c)(\phi - p) + b\tau(\phi - p) - F\tau, \quad (3)$$

$$\pi_t(\tau) = A\tau(\phi - p) + F\tau - C_l \tau^2. \quad (4)$$

零售商主导的闭环供应链系统中成员的决策顺

序为:

1) 零售商首先宣布单位利润 m ;

2) 制造商依据零售商的单位利润 m 确定批发价格 w 、支付变量 F , 同时第三方依据支付变量 F 确定产品回收率 τ .

根据零售商主导闭环供应链的决策顺序, 本文采用逆向归纳法进行求解. 具体求解步骤如下.

Step 1: 由于

$$\frac{\partial^2 \pi_t(\tau)}{\partial \tau^2} = -2C_l < 0, C_l > 0,$$

根据一阶条件, 可求得第三方的唯一最优回收率为

$$\tau^* = \frac{F}{2C_l} + \frac{A(\phi - w - m)}{2C_l}. \quad (5)$$

Step 2: 将式 (5) 代入制造商的利润函数 (3) 中, 在规模参数满足一定条件下, 容易表明 $\pi_m(w, F)$ 关于 w 和 F 为联合严格凹函数, 根据一阶条件, 联立可求得

$$w^* = \frac{4C_l(\phi + c - m) - (A + b)^2(\phi - m)}{8C_l - (A + b)^2}, \quad (6)$$

$$F^* = \frac{2C_l(b - A)(\phi - c - m)}{8C_l - (A + b)^2}. \quad (7)$$

将式 (6) 和 (7) 代入 (5), 求得

$$\tau^* = \frac{(A + b)(\phi - c - m)}{8C_l - (A + b)^2}. \quad (8)$$

Step 3: 将式 (6) 代入 (2), 同样, 在规模参数满足一定条件下, 易见

$$\frac{\partial^2 \pi_r(m)}{\partial m^2} = -\frac{8C_l}{8C_l - (A + b)^2} < 0,$$

即零售商的利润函数 $\pi_r(m)$ 关于 m 为严格凹函数. 根据一阶条件, 可求得零售商的唯一均衡单位利润 (最大单位利润) 为

$$m^* = \frac{\phi - c}{2}. \quad (9)$$

其中

$$\phi > p, p \geq w, w > c, \phi - c > 0.$$

进而, 结合式 (2)、(6) 和 (9), 可得零售商的最大利润为

$$\pi_r^* = \frac{C_l(\phi - c)^2}{8C_l - (A + b)^2}. \quad (10)$$

Step 4: 依次将式 (9) 代入 (6)、(7)、(8), 求得均衡批发价格、均衡总支付、均衡回收率分别为

$$w^* = c + \frac{(4C_l - (A + b)^2)(\phi - c)}{2(8C_l - (A + b)^2)}, \quad (11)$$

$$F^* = \frac{C_l(b - A)(\phi - c)}{8C_l - (A + b)^2}, \quad (12)$$

$$\tau^* = \frac{(A + b)(\phi - c)}{2(8C_l - (A + b)^2)}. \quad (13)$$

根据 $p = w + m$, 进一步求得最优零售价格为

$$p^* = \phi - \frac{2C_l(\phi - c)}{8C_l - (A + b)^2}. \quad (14)$$

将 w^* 、 F^* 、 τ^* 、 p^* 分别代入式 (3) 和 (4), 求得制造商、第三方的最大利润分别为

$$\pi_m^* = \frac{C_l(\phi - c)^2}{2(8C_l - (A + b)^2)}, \quad (15)$$

$$\pi_t^* = \frac{C_l(A + b)^2(\phi - c)^2}{4(8C_l - (A + b)^2)^2}. \quad (16)$$

零售商主导闭环供应链系统的总利润为

$$\Pi_s^* = \pi_r^* + \pi_m^* + \pi_t^* = \frac{3C_l(\phi - c)^2}{2(8C_l - (A + b)^2)} + \frac{C_l(A + b)^2(\phi - c)^2}{4(8C_l - (A + b)^2)^2}. \quad (17)$$

上述分析表明, 当规模参数 $C_l > 0$ 时, 第三方的利润函数 $\pi_t(\tau)$ 关于 τ 是凹函数, 为了保证其最优回收率 τ^* 在 $[0, 1]$ 范围是有界的, 与文献 [11, 14] 等的处理相类似, 要求规模参数 C_l 应足够大, 即满足

$$C_l > \frac{(A + b)^2}{8} + \frac{(A + b)(\phi - c)}{16}.$$

为了保证制造商、零售商和闭环供应链整体利润函数的凹性, 不难发现规模参数应满足

$$C_l > \frac{(A + b)^2}{4}.$$

进而, 根据上述条件, 为了使得本文分析具有一定的可行性和经济意义, 要求文中的规模参数应满足

$$C_l > \max \left\{ \frac{(A + b)^2}{4}, \frac{(A + b)^2}{8} + \frac{(A + b)(\phi - c)}{16} \right\}.$$

2.2 零售商公平关切下的最优决策

在现实问题中, 当主导地位的零售商具有公平关切倾向时, 零售商会在综合考虑自身实力和贡献 (参照制造商) 的基础上追求公平利润, 从而形成公平效用. 参照文献 [4, 18] 的处理方法, 采用简化的公平效用函数, 假设零售商公平关切下的效用函数为

$$u_r = \pi_r - \lambda_r(\pi_m - \pi_r), \quad (18)$$

其中 $\lambda_r > 0$ 表示零售商的公平关切系数 (程度). 当 λ_r 越接近 0 时, 表示零售商的公平关切程度越弱 ($\lambda_r = 0$ 表示公平中性); 当 λ_r 越大时, 表示零售商的公平关切程度越强, 且假设制造商知道零售商的公平关切程度.

与第 2.1 节的分析过程相似, 可求得零售商公平关切下的如下均衡结果 (为了便于区别, 将零售商公平关切下闭环供应链系统中各种均衡解和函数均用加下角标 λ_r 的形式表示):

$$m_{\lambda_r}^* = \frac{(1 + 2\lambda_r)(\phi - c)}{2 + 3\lambda_r}, \quad (19)$$

$$w_{\lambda_r}^* = c + \frac{(1 + \lambda_r)(4C_l - (A + b)^2)(\phi - c)}{(2 + 3\lambda_r)(8C_l - (A + b)^2)}, \quad (20)$$

$$F_{\lambda_r}^* = \frac{2C_l(1 + \lambda_r)(b - A)(\phi - c)}{(2 + 3\lambda_r)(8C_l - (A + b)^2)}, \quad (21)$$

$$\tau_{\lambda_r}^* = \frac{(1 + \lambda_r)(A + b)(\phi - c)}{(2 + 3\lambda_r)(8C_l - (A + b)^2)}, \quad (22)$$

$$p_{\lambda_r}^* = \phi - \frac{4C_l(1 + \lambda_r)(\phi - c)}{(2 + 3\lambda_r)(8C_l - (A + b)^2)}, \quad (23)$$

$$\pi_{\lambda_r r}^* = \frac{4C_l(1+2\lambda_r)(1+\lambda_r)(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^2(8C_l-(A+b)^2)}, \quad (24)$$

$$\pi_{\lambda_r m}^* = \frac{2C_l(1+\lambda_r)^2(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^2(8C_l-(A+b)^2)}, \quad (25)$$

$$\pi_{\lambda_r t}^* = \frac{C_l(1+\lambda_r)^2(A+b)^2(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^2(8C_l-(A+b)^2)^2}. \quad (26)$$

结合式(18),求得零售商的最大效用为

$$u_{\lambda_r r}^* = \frac{2C_l(1+\lambda_r)^2(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)(8C_l-(A+b)^2)}. \quad (27)$$

进而,在公平关切下,零售商主导的闭环供应链系统的最大效用为

$$\begin{aligned} U_{\lambda_r s}^* &= u_{\lambda_r r}^* + \pi_{\lambda_r m}^* + \pi_{\lambda_r t}^* = \\ &= \frac{6C_l(1+\lambda_r)^3(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^2(8C_l-(A+b)^2)} + \\ &+ \frac{C_l(1+\lambda_r)^2(A+b)^2(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^2(8C_l-(A+b)^2)^2}. \end{aligned} \quad (28)$$

由于制造商和第三方均是公平中性的,制造商和第三方的利润便相当于其各自的效用.闭环供应链系统的效用可以表示为零售商的效用与制造商、第三方利润的总和.

2.3 均衡结果分析

性质 1

$$\frac{\partial u_{\lambda_r r}^*}{\partial \lambda_r} > 0, \frac{\partial \pi_{\lambda_r r}^*}{\partial \lambda_r} < 0, \frac{\partial \pi_{\lambda_r m}^*}{\partial \lambda_r} < 0, \frac{\partial \pi_{\lambda_r t}^*}{\partial \lambda_r} < 0.$$

证明 根据第 2.2 节相关均衡函数的表达式,有

$$\frac{\partial u_{\lambda_r r}^*}{\partial \lambda_r} = \frac{2C_l(1+\lambda_r)(1+3\lambda_r)(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^2(8C_l-(A+b)^2)} > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{\lambda_r r}^*}{\partial \lambda_r} = -\frac{4C_l\lambda_r(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^3(8C_l-(A+b)^2)} < 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{\lambda_r m}^*}{\partial \lambda_r} = -\frac{4C_l(1+\lambda_r)(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^3(8C_l-(A+b)^2)} < 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{\lambda_r t}^*}{\partial \lambda_r} = -\frac{2C_l(1+\lambda_r)(A+b)^2(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^3(8C_l-(A+b)^2)^2} < 0. \quad \square$$

性质 1 表明,在零售商主导的闭环供应链中,随着零售商公平关切程度的增强(λ_r 的增大),零售商的最大效用在增大,而零售商、制造商和第三方的最大利润均在减少,即零售商的效用与制造商、第三方的利润变化呈现出此消彼长的现象.

当主导零售商具有公平关切偏好时,随着零售商公平关切程度的增强,为了获得更大的效用,零售商会牺牲自己的部分利润(实际上,容易发现

$$\frac{\partial \pi_{\lambda_r m}^*}{\partial \lambda_r} < \frac{\partial \pi_{\lambda_r r}^*}{\partial \lambda_r} < 0,$$

即零售商的渠道主导力量使得自身利润减少的幅度要小于制造商),同时使得制造商和第三方的利润也有所减少,从而达到实现自身效用最大化的目的.

性质 2

$$\frac{\partial m_{\lambda_r}^*}{\partial \lambda_r} > 0, \frac{\partial w_{\lambda_r}^*}{\partial \lambda_r} < 0, \frac{\partial p_{\lambda_r}^*}{\partial \lambda_r} > 0,$$

$$\frac{\partial F_{\lambda_r}^*}{\partial \lambda_r} < 0, \frac{\partial \tau_{\lambda_r}^*}{\partial \lambda_r} < 0.$$

证明过程与性质 1 类似,此略.

性质 2 表明,在零售商主导的闭环供应链中,随着零售商公平关切程度的增强,其均衡零售价格和均衡单位利润均在增加,而制造商的均衡批发价格、均衡总转移支付、第三方的均衡回收率均在降低.

作为闭环供应链系统的领导者,随着零售商公平关切程度的增强,零售商会通过提高零售价格的方式获得更大效用,零售价格的提高势必会导致市场需求量的减少,从而使得零售商的利益受损.为了维护自己的利益,零售商会利用自己的渠道主导力量迫使制造商降低批发价格.由于本文假设制造商通过整合第三方进行废旧产品回收,制造商为了保证自己的利益,会在降低批发价格同时减少第三方的转移支付,这会直接导致第三方回收废旧产品的动力有所减弱,最终使得第三方的废旧产品回收率相应降低.

性质 3 当 $0 < \lambda_r < \bar{\lambda}$ 时, $\partial U_{\lambda_r s}^*/\partial \lambda_r < 0$, 当 $\bar{\lambda} < \lambda_r$ 时, $\partial U_{\lambda_r s}^*/\partial \lambda_r > 0$, 其中

$$\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{1 + \frac{4(A+b)^2}{9(8C_l-(A+b)^2)}} - 1}{2}.$$

证明 根据式(28),令

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_{\lambda_r s}^*}{\partial \lambda_r} &= \\ &= \frac{2C_l(1+\lambda_r)(\phi-c)^2}{(2+3\lambda_r)^3(8C_l-(A+b)^2)^2} g(\lambda) = 0, \end{aligned}$$

其中

$$g(\lambda) = ((8C_l-(A+b)^2)(9\lambda_r^2+9\lambda_r)-(A+b)^2).$$

可求得其非负稳定点为 $\bar{\lambda}$ (由于 $\lambda_r > 0$, 此处略去值为负的稳定点). 显然, 当 $0 < \lambda_r < \bar{\lambda}$ 时, $\partial U_{\lambda_r s}^*/\partial \lambda_r < 0$; 当 $\bar{\lambda} < \lambda_r$ 时, $\partial U_{\lambda_r s}^*/\partial \lambda_r > 0$. $\square$

性质 3 表明,在零售商主导的闭环供应链中,当零售商的公平关切程度相对较弱 ($0 < \lambda_r < \bar{\lambda}$) 时,闭环供应链系统的效用随着零售商公平关切程度的增强而减小;反之,当零售商的公平关切程度相对较强 ($\bar{\lambda} < \lambda_r$) 时,闭环供应链系统的效用随着零售商公平关切程度的增强而增大.结合性质 1,性质 3 进一步表明在零售商主导的闭环供应链系统中,零售商的公平关切性虽然对自身效用的最大化总是有利的,但是对闭环供应链系统不一定总是有利的.

定理 1 在零售商主导的闭环供应链中,当零售商公平中性时, $\pi_r^* = 2\pi_m^*$; 当零售商公平关切时, $u_{\lambda_r r}^* = (2+3\lambda_r)\pi_{\lambda_r m}^*$.

证明 由式(10)、(15)、(25)和(27),有 $\pi_r^* = 2\pi_m^*$, $u_{\lambda_r r}^* = (2+3\lambda_r)\pi_{\lambda_r m}^*$. $\square$

定理1表明,在零售商主导的闭环供应链中,当零售商公平中性时,零售商的渠道主导力量使得自身获得了较制造商更大的利润(零售商的最大利润是制造商最大利润的2倍),这一研究结论是对Lau等在传统正向供应链中研究结果的进一步推广^[23].本文还进一步表明,当零售商公平关切时,零售商的渠道主导力量使得自身获得了较制造商更大的效用(零售商的最大效用是制造商最大利润的 $2 + 3\lambda_r$ 倍),这表明相对于公平中性,零售商的公平关切性对自身更有利.

定理2 $m_{\lambda_r}^* > m^*$, $p_{\lambda_r}^* > p^*$, $w_{\lambda_r}^* < w^*$, $F_{\lambda_r}^* < F^*$, $\tau_{\lambda_r}^* < \tau^*$.

证明 根据第2.1节和第2.2节的相关均衡解,当 $\lambda_r = 0$ 时, $m_{\lambda_r}^* = m^*$, $p_{\lambda_r}^* = p^*$, $w_{\lambda_r}^* = w^*$, $F_{\lambda_r}^* = F^*$, $\tau_{\lambda_r}^* = \tau^*$,再结合性质2,有 $m_{\lambda_r}^* > m^*$, $p_{\lambda_r}^* > p^*$, $w_{\lambda_r}^* < w^*$, $F_{\lambda_r}^* < F^*$, $\tau_{\lambda_r}^* < \tau^*$. $\square$

定理2表明,在零售商主导的闭环供应链系统中,相对于零售商公平中性,零售商的公平关切性会使得自身获得更高的单位利润和零售价格,制造商获得更低的批发价格和转移支付,第三方获得更低的回收率.

定理3 $u_{\lambda_r}^* > \pi_r^*$, $\pi_{\lambda_r m}^* < \pi_m^*$, $\pi_{\lambda_r t}^* < \pi_t^*$.

证明过程同定理2,此略.

定理3表明,在零售商主导的闭环供应链系统中,相对于公平中性,零售商的公平关切性对自身效用的最大化总是有利的,对制造商和第三方利润的最大化总是不利的.进一步,结合性质1,如果零售商只顾追求自身效用的最大化,而忽略制造商处理废旧产品以及第三方回收废旧产品的积极性,则势必对环境保护、资源回收再利用是无益的.因为随着零售商公平关切程度的增强,制造商和第三方的利润将逐渐减小,从而使得制造商失去处理废旧产品的积极性,而第三方也失去回收废旧产品的动力.

定理4 当 $0 < \lambda_r < \lambda^*$ 时, $U_{\lambda_r s}^* < \Pi_s^*$; 当 $\lambda^* < \lambda_r$ 时, $U_{\lambda_r s}^* > \Pi_s^*$. 其中

$$\lambda^* = \frac{\sqrt{Y^2 - 4XZ} - Y}{2X}, \quad X = 24(8C_l - (A + b)^2),$$

$$Y = 144C_l - 23(A + b)^2, \quad Z = -4(A + b)^2.$$

证明 令 $f(\lambda_r) = U_{\lambda_r s}^* - \Pi_s^*$, 结合式(17)和(28),得到

$$f(\lambda_r) = \frac{\lambda_r(X\lambda_r^2 + Y\lambda_r - Z)C_l(\phi - c)^2}{(2 + 3\lambda_r)^2(8C_l - (A + b)^2)^2}.$$

令 $f(\lambda_r) = 0$, 求得其唯一的有效根为 λ^* (此处省略了一个零根和一个负根). 由于 $\partial f(\lambda_r)/\partial \lambda_r = \partial U_{\lambda_r s}^*/\partial \lambda_r$, 函数 $f(\lambda_r)$ 的稳定点同样为 $\bar{\lambda}$, 且 $0 < \bar{\lambda} < \lambda^*$. 结合性质3容易发现, 函数 $f(\lambda_r)$ 在区间 $(0, \lambda^*)$ 的变化规律是先递减后递增, 所以当 $0 < \lambda_r < \lambda^*$ 时, $U_{\lambda_r s}^* < \Pi_s^*$; 当 $\lambda^* < \lambda_r$ 时, $U_{\lambda_r s}^* > \Pi_s^*$. $\square$

定理4表明,零售商主导的闭环供应链系统中,相对于公平中性,当零售商的公平关切程度相对较弱($0 < \lambda_r < \lambda^*$)时,闭环供应链系统的效用将会有所减少;反之,当零售商的公平关切程度相对较强($\lambda^* < \lambda_r$)时,闭环供应链系统的效用会有所增加.

2.4 模型扩展分析

本文在第2.2节着重讨论了零售商公平关切下的闭环供应链最优决策问题,实际问题中,当零售商公平关切时,其他成员企业也可能具有公平关切倾向.假设零售商和制造商都是公平关切的,且制造商的效用函数为

$$u_m = \pi_m - \lambda_m(\pi_r - \pi_m), \quad (29)$$

其中 $\lambda_m > 0$ 为制造商的公平关切系数,且假设零售商也知制造商的公平关切程度.

当制造商和零售商均以效用最大化作为决策准则时,与第2.1和第2.2节的分析过程相类似(此处限于篇幅,略去详细求解过程),以主导零售商为主要研究对象,可求得其均衡单位利润为

$$m_{\lambda}^* = \frac{(1 + 2\lambda_r)(1 + \lambda_m)^2(\phi - c)}{(1 + 2\lambda_m)(\lambda_r + 2(1 + \lambda_r)(1 + \lambda_m))}. \quad (30)$$

可见,当 $\lambda_r = 0$ 时, $m_{\lambda}^* = m_{\lambda_r}^*$; 当 $\lambda_r = \lambda_m = 0$ 时, $m_{\lambda}^* = m^*$.

性质4 $\partial m_{\lambda}^*/\partial \lambda_r > 0$, $\partial m_{\lambda}^*/\partial \lambda_m < 0$.

证明 根据式(30),有

$$\begin{aligned} \frac{\partial m_{\lambda}^*}{\partial \lambda_r} &= \frac{(1 + 2\lambda_r + 2\lambda_m)(1 + \lambda_m)^2(\phi - c)}{(1 + 2\lambda_m)(\lambda_r + 2(1 + \lambda_r)(1 + \lambda_m))^2} > 0, \\ \frac{\partial m_{\lambda}^*}{\partial \lambda_m} &= -\frac{(2(1 + \lambda_r + \lambda_m) + \lambda_r \lambda_m)(\phi - c)}{(1 + 2\lambda_m)^2(\lambda_r + 2(1 + \lambda_r)(1 + \lambda_m))^2} < 0. \quad \square \end{aligned}$$

性质2已经表明了主导零售商均衡单位利润随着零售商公平关切程度的增强而增大,性质4进一步表明,当制造商也是公平关切时,虽然零售商的均衡单位利润仍然随着自身公平关切程度的增强而增大,但是随着制造商公平关切程度的增强而减小,这表明在零售商和制造商都公平关切的情形下,零售商的均衡单位利润会随着双方各自公平关切程度的变化呈现出此消彼长的变动规律.同理,可以分析得到制造商和第三方类似均衡决策变量的变动规律,此处不再赘述.

3 算例分析

通过一个数值算例对以上主要研究结果进行分析和说明.假设 $\phi = 40$, $D(p) = 40 - p$, $c = 10$, $A = 5$, $b = 15$, $C_l = 200$, 为了方便讨论,不考虑各种参数的量纲.

当零售商公平中性时,根据参数设置和本文的相关研究结果易得, $m^* = 15.00$, $p^* = 30.00$, $w^* = 15.00$, $\tau^* = 0.250$, $F^* = 50.00$, $\pi_r^* = 150.00$, $\pi_m^* = 75.00$, $\pi_t^* = 12.50$, $\Pi_s^* = 237.50$.

在零售商的公平关切下,选取不同的 λ_r 值进行分析,具体计算结果如表 1 所示.

表 1 零售商不同公平关切程度下的均衡结果

λ_r 值	0.001	0.01	0.036	0.074	0.5	1
$m_{\lambda_r}^*$	15.01	15.07	15.26	15.50	17.14	18.00
$p_{\lambda_r}^*$	30.01	30.05	30.17	30.33	31.43	32.00
$w_{\lambda_r}^*$	14.99	14.98	14.92	14.83	14.29	14.00
$\tau_{\lambda_r}^*$	0.249	0.248	0.246	0.242	0.214	0.200
$F_{\lambda_r}^*$	49.98	49.75	49.15	48.34	42.86	40.00
$\pi_{\lambda_r, r}^*$	149.99	149.98	149.96	149.84	146.94	144.00
$\pi_{\lambda_r, m}^*$	74.92	74.26	72.47	67.46	55.10	48.00
$\pi_{\lambda_r, t}^*$	12.49	12.38	12.08	11.68	9.18	8.00
$u_{\lambda_r, r}^*$	150.08	150.75	152.73	158.36	192.86	240.00
$U_{\lambda_r, s}^*$	237.49	237.39	237.28	237.50	257.14	296.00

由表 1 可见,随着零售商公平关切程度的增强 (λ_r 增大),零售商的均衡零售价格和单位利润均在逐渐增大,而制造商的均衡批发价格、均衡转移支付在逐渐减小,第三方的均衡回收率也在逐渐降低.随着零售商公平关切程度的增强,零售商、制造商和第三方的利润均在逐渐减小,但是零售商的效用却在逐渐增大,这表明了零售商的公平关切性是实现自身效用最大化的一种手段.当零售商的公平关切程度相对较弱 ($0 < \lambda_r < \bar{\lambda} = 0.036$) 时,闭环供应链系统的效用随着零售商公平关切程度的增强而减少;当零售商的公平关切程度相对较强 ($0.036 = \bar{\lambda} < \lambda_r$) 时,闭环供应链系统的效用随着零售商公平关切程度的增强而增大.最后,与零售商公平中性相比较,当零售商的公平关切程度相对较弱 ($0 < \lambda_r < \lambda^* = 0.074$) 时,随着零售商公平关切性的增强,闭环供应链系统的效用在逐渐减小;当零售商的公平关切程度相对较强 ($0.074 = \lambda^* < \lambda_r$) 时,随着零售商的公平关切性的增强,闭环供应链系统的效用在逐渐增大(且仅当 $\lambda_r = \lambda^* = 0.074$ 时, $U_{\lambda_r, s}^* = \Pi_s^* = 237.50$),这与本文的主要研究结论是一致的.

4 结 论

本文针对由一个制造商、一个主导零售商、一个第三方回收商构成的闭环供应链系统,分析了零售商的公平关切性对闭环供应链成员和整体最优决策的影响,并探讨了零售商的公平关切性与闭环供应链系统整体之间的关系,得到如下主要结论: 1) 零售商主导的闭环供应链中,无论零售商是否公平关切,主导零售商均会获得更大的渠道利润或者效用; 2) 随着零

售商公平关切程度的增强,零售商的效用是递增的,而制造商和第三方的利润均是递减的; 3) 零售商的公平关切性对自身总是有利的,但对闭环供应链整体不一定总是有利的; 4) 相对于公平中性,当零售商的公平关切程度相对较弱时,闭环供应链系统的效用随着零售商公平关切程度的增强递减,反之递增.本文研究的是简单结构的闭环供应链系统,进一步可以考虑公平关切下具有多个竞争零售商或者多个竞争制造商的闭环供应链决策问题.

参考文献(References)

- [1] Kahneman D, Knetsch J L, Thaler R. Fairness, competition on profit seeking: Entitlements in the market[J]. American Economics Review, 1986, 76(4): 728-741.
- [2] Cui T H, Raju J S, Zhang Z J. Fairness and channel coordination[J]. Management Science, 2007, 53(8): 1303-1314.
- [3] Katok E, Pavlov V. Fairness in supply chain contracts: A laboratory study[J]. J of Operations Management, 2013, 31(3): 129-137.
- [4] 杜少甫, 杜婵, 梁樑, 等. 考虑公平关切的供应链契约与协调[J]. 管理科学学报, 2010, 13(11): 41-48.
(Du S F, Du C, Liang L, et al. Supply chain coordination considering fairness[J]. J of Management Science in China, 2010, 13(11): 41-48.)
- [5] 刑伟, 汪寿阳, 赵秋红, 等. 考虑渠道公平的双渠道供应链均衡策略[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(7): 1249-1256.
(Xing W, Wang S Y, Zhao Q H, et al. Impact of fairness on strategies in dual-channel supply chain[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2011, 31(7): 1249-1256.)
- [6] 李波, 李宜楠, 侯丽婷, 等. 具有公平关切的零售商对双渠道供应链决策影响分析[J]. 控制与决策, 2015, 30(5): 955-960.
(Li B, Li Y N, Hou L T, et al. Impact of fair-minded retailer on decision of supply chain in dual-channel[J]. Control and Decision, 2015, 30(5): 955-960.)
- [7] 柳键, 舒斯亮. 考虑公平关切的服务供应链协调契约[J]. 控制与决策, 2015, 30(1): 98-104.
(Liu J, Shu S L. Coordination contract of service supply chain considering fairness concerns[J]. Control and Decision, 2015, 30(1): 98-104.)
- [8] 徐浦进, 诸葛瑞杰. 考虑供应商过度自信和公平关切的供应链双边努力行为研究[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(6): 1462-1470.
(Xu P J, Zhuge R J. Bilateral efforts of supply chains considering supplier's overconfidence and fairness[J].

- Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(6): 1462-1470.)
- [9] 王宣涛, 张玉林. 考虑顾客行为与零售商公平关切的易逝品定价与供应链协调研究[J]. 管理工程学报, 2015, 29(1): 89-97.
(Wang X T, Zhang Y L. Pricing for perishable products and supply chain coordination with considering customer behavior and the retailer's fairness concerns[J]. J of Industrial Engineering/Engineering Management, 2015, 29(1): 89-97.)
- [10] Kannan G, Hamed S, Devika K. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future[J]. European J of Operational Research, 2015, 240(3): 603-626.
- [11] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-253.
- [12] 易余胤. 不同主导力量下的闭环供应链模型[J]. 系统管理学报, 2010, 19(4): 389-396.
(Yi Y Y. Study on closed-loop supply chain models under different market power[J]. J of Systems and Management, 2010, 19(4): 389-396.)
- [13] 王文宾, 达庆利, 聂锐. 考虑渠道权力结构的闭环供应链定价与协调[J]. 中国管理科学, 2011, 19(5): 29-36.
(Wang W B, Da Q L, Nie R. The study on pricing and coordination of closed-loop supply chain considering channel power structure[J]. Chinese J of Management Science, 2011, 19(5): 29-36.)
- [14] Hong I H, Yeh J S. Modeling closed-loop supply chains in the electronics industry: A retailer collection application[J]. Transportation Research Part E, 2012, 48(4): 817-829.
- [15] Choi T M, Li Y J, Xu L. Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains[J]. Int J of Production Economics, 2013, 146(1): 371-380.
- [16] 林杰, 曹凯. 双渠道竞争环境下闭环供应链定价模型[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(6): 1416-1424.
(Lin J, Cao K. Pricing models of closed loop supply chain in double channels competitions environment[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2014, 34(6): 1416-1424.)
- [17] Wei J, Govindan K, Li Y J, et al. Pricing and collecting decisions in a closed-loop supply chain with symmetric and asymmetric information[J]. Computers and Operations Research, 2015, 54(1): 257-265.
- [18] 张克勇, 侯世旺, 周国华. 公平关切下闭环供应链定价策略[J]. 系统管理学报, 2013, 22(6): 841-849.
(Zhang K Y, Hou S W, Zhou G H. Pricing strategy in the closed-loop supply chain with fairness concerns[J]. J of Systems and Management, 2013, 22(6): 841-849.)
- [19] 张克勇, 吴燕, 侯世旺. 具有公平关切零售商的闭环供应链差别定价策略研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(3): 51-58.
(Zhang K Y, Wu Y, Hou S W. Differential pricing strategy of considering retailer's fairness concerns in the closed-loop supply chain[J]. Chinese J of Management Science, 2014, 22(3): 51-58.)
- [20] 丁雪峰, 魏芳芳, 但斌. 零售商公平关切下闭环供应链定价与协调机制[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(6): 1471-1480.
(Ding X F, Wei F F, Dan B. Pricing and coordination mechanism of closed-loop supply chain considering retailer's fairness concerns[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(6): 1471-1480.)
- [21] 丁雪峰, 魏芳芳. 公平关切下制造商主导的闭环供应链定价策略[J]. 工业工程, 2014, 17(4): 78-84.
(Ding X F, Wei F F. Pricing decisions for manufacturer-driven closed-loop supply chain with fairness concerns[J]. Industrial Engineering J, 2014, 17(4): 78-84.)
- [22] 韩小花, 吴海燕, 张毕西, 等. 基于多种实际决策行为的闭环供应链定价模型[J]. 管理评论, 2015, 27(2): 187-196.
(Han X H, Wu H Y, Zhang B X, et al. Pricing models of closed-loop supply chain based on multiple decision behaviors[J]. Management Review, 2015, 27(2): 187-196.)
- [23] Lau A H L, Lau H S, Wang J C. Pricing and volume discounting for a dominant retailer with uncertain manufacturing cost information[J]. European J of Operational Research, 2007, 183(2): 848-870.

(责任编辑: 郑晓蕾)