文章编号:1673-9469(2022)01-0106-07　DOI: 10.3969/j.issn.1673-9469.2022.01.016

搭便车行为下考虑不同回收模式的闭环供应链决策研究

曹庆奎[1,2],李　颖[1],任向阳[1],李东宁[1]

(1. 河北工程大学 管理工程与商学院,河北 邯郸 056038; 2. 廊坊师范学院 经济与管理学院,河北 廊坊 065000)

摘要: 为了研究不同回收模式对搭便车行为下的闭环供应链决策的影响,针对由制造商、零售商和消费者组成的闭环供应链系统,基于 Stackelberg 博弈,构建了制造商回收模型和零售商回收模型,探讨了不同回收模型对闭环供应链决策的影响。研究发现:搭便车对零售商产生消极影响,对制造商产生积极影响;回收模式的选择对产品定价和需求量没有影响,却对回收价格有影响;制造商回收模型下制造商的利润不一定比零售商回收模型下的利润高,但零售商回收模式下零售商的利润一定比制造商回收模式下的利润高。

关键词: 回收模式;搭便车行为;闭环供应链;Stackelberg 博弈

中图分类号:F274　**文献标识码:**A

Study on Closed-loop Supply Chain Decision Considering Different Recycling Modes Under Free-rider Behavior

CAO Qingkui[1,2], LI Ying[1], REN Xiangyang[1], LI Dongning[1]

(1. School of Management Engineering and Business, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China;
2. Faculty of Economics and Management, Langfang Normal University, Langfang, Hebei 065000, China)

Abstract: In order to study the influence of different recycling models on the closed-loop supply chain (CLSC) decision-making under free-rider behavior, aiming at the closed-loop supply chain system composed of manufacturers, retailers and consumers, based on Stackelberg game, the manufacturer recycling model and the retailer recycling model were constructed, and the influence of different recycling models on the closed-loop supply chain decision-making is discussed. The study finds that free-riding has a negative impact on retailers and a positive impact on manufacturers; the choice of recycling mode has no effect on product pricing and demand, but has effect on recycling price; the manufacturer's profit under the manufacturer recycling model is not necessarily higher than that under the retailer recycling model, but the retailer's profit under the retailer recycling model must be higher than that under the manufacturer recycling model.

Key words: recycling mode; free-riding behavior; closed-loop supply chain; stackelberg game

互联网与电子商务的快速发展,使得市场上出现了众多新的消费模式。越来越多的企业维持原有传统渠道的同时,又开设了网上直销渠道,如华为、三星、小米、vivo 等手机品牌,即在线下开设专门销售店铺,也在网上开设了旗舰店。但当两种渠道都销售同种产品,消费者又会产生不一样的心理变化,一部分消费者会从传统渠道享受体验,如试用等服务后,转而去网上直销渠道购买,便产生了搭便车行为。关于消费者的搭便车行为,丁正平等[1]基于搭便车行为研究了四种双渠道结构,并研究了收益共享契约在各双渠道结构中的应用。Liu 等[2]研究了在线渠道和传统渠道具有不同服务水平的双渠道供应链,并探讨了公平因素和搭便车行为对供应链决策的影响。Wang

收稿日期:2021-06-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61375003);河北省社会科学基金资助项目(HB17GL022);河北省高等学校人文社会科学研究项目(SD181012)

作者简介:曹庆奎(1963-),男,河北唐山人,博士,教授,研究方向:供应链管理与物流工程、系统优化与决策。

等[3]考虑了制造商开通在线直销渠道，零售商开通线下渠道和在线渠道的多渠道供应链，对其搭便车行为进行了研究。池方圆等[4]研究了直销渠道搭传统渠道便车的闭环供应链，并通过建立收益共享模型进行了协调。经有国等[5]在市场需求不确定的情况下，研究了线下零售商推广努力后被线上零售商搭便车的行为，并对比分析了三种情形下的决策行为。徐广业等[6]对消费者是否发生渠道迁徙行为进行了研究，并分析了迁徙行为对供应链决策的影响。吴晓志等[7]基于线上与线下都存在搭便车的情况下，构建了三种全渠道供应链模型。

为了减少资源浪费，提高资源利用率，美国、欧盟、日本先后出台了《固体废弃物处置法》、《WEEE 指令》和《家用电器回收法》，其中规定，生产者有责任和义务回收其产品。我国为促进低碳经济发展，树立绿色发展理念也先后颁布了《循环经济促进法》和《再生资源循环利用管理条例》[8]。关于闭环供应链中回收模式的选择问题，李健等[9]基于需求不确定的情况下，构建了集中和分散决策下零售商和第三方混合回收的模型。董乾东等[10]考虑到了产品质量的差异，研究了三种不同的混合回收模型。公彦德等[11]考虑新产品与再造品不存在差别定价的情况，对两种不同的混合回收模型进行了研究。姚锋敏等[12]在制造商具有企业社会责任的情况下，研究了闭环供应链（Closed-Loop Supply Chain, CLSC）的回收渠道选择问题。李文龙等[13]考虑到消费者对回收价格的敏感度，建立了单独回收模型、两者混合回收模型以及三者混合回收模型，并对三种模型进行了对比分析。孙浩等[14]针对两条相互竞争并都由其零售商主导的 CLSC，探讨了三种组合的回收模型。

根据以上研究可以发现，已经有学者对消费者搭便车行为进行了大量研究，也有学者对 CLSC 的回收模式进行了很深入的研究，但是目前还没有学者将两者结合起来研究。因此，本文考虑在 CLSC 中存在搭便车现象，讨论了不同回收模式对该 CLSC 决策的影响。

1　问题描述与假设

1.1　问题描述

本文研究了由一个既生产新产品又生产再造品的制造商 M 和一个零售商 R 构成的 CLSC，作为 CLSC 领导者的制造商通过传统渠道和直销渠道两种渠道销售新产品与再造品。在传统渠道中，制造商以价格 p 将两种产品批发给零售商，零售商再以 p_r 的价格销售这两种产品。同时，在传统渠道，零售商为了达到更好的销售效果，为消费者提供了一些直销渠道没有办法提供的可以方便消费者更进一步了解产品特征的服务成本 $C(s)$，像免费试用、解说产品等服务，在这种情况下，会有部分消费者存在侥幸心理，从零售商处体验了传统渠道提供的各种服务后，转向直销渠道购买产品。因此考虑消费者搭便车的情况。在直销渠道，制造商以价格 p_d 直接将产品销售给消费者。为了探讨在该 CLSC 中不同的回收模式对各决策的影响，构建了由制造商直接进行回收的模型（M 模型）和由零售商进行回收再转卖给制造商的模型（R 模型），如图 1、图 2。

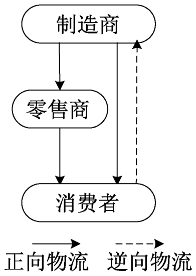

图 1　制造商回收模型（M 模型）

Fig. 1　Manufacturer recycling model (M model)

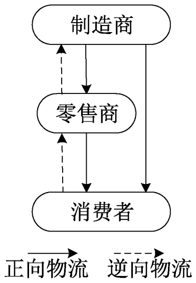

图 2　零售商回收模型（R 模型）

Fig. 2　Retailer recycling model (R model)

1.2　符号约定与模型假设

表 1　符号约定

Tab. 1　Symbol convention

符号	含义	符号	含义
c_n	新产品生产成本	c_r	再造品生产成本
p	产品批发价	$C(s)$	零售商的服务成本
p_r	传统渠道销售价	p_d	服务水平因子
p_d	直销渠道销售价	k	搭便车系数
q_r	传统渠道的需求量	c_1	制造商回收产品的单位成本
q_d	直销渠道的需求量	c_2	零售商回收产品的单位成本
β	两种渠道的替代系数	θ	传统渠道所占的市场份额
v	市场容量	$1-\theta$	直销渠道所占的市场份额

假设 1：消费者对新产品与再造品认可度一样，且两种产品销售价格一致。但 $c_r<c_n$ 且 $\Delta=c_n-$

c_r,其中 Δ 为生产一单位的再造品与生产一单位的新产品相比可以节约的成本。

假设2:当零售商回收废旧的产品时,零售商先以价格 p_c 从消费者处回收,再将所回收到的废旧品以价格 A 转卖给制造商;当制造商直接回收废旧的产品时,制造商直接从消费者处以价格 p_c 回收废旧品。$p_c<A$,$A<\Delta$。

假设3:回收的废旧品的数量为 $h(p_c)$,$h(p_c)=h_0+bp_c$,h_0 表示在没有回收价格的情况下,消费者愿意主动提供的废旧品数量,$b(0<b<1)$ 为消费者对回收价格的敏感度。

假设4:消费者体验了传统渠道提供的一些直销渠道没有办法提供的服务后而转向直销渠道购买产品的消费者转移量为 $0<k<1$。其中 $0<k<1$、$C(s)=\frac{1}{2}s^2$。

假设5:传统渠道的需求函数为 $q_r=\theta v-p_r+\beta p_d+(1-k)s$,直销渠道需求函数为 $q_d=(1-\theta)v-p_d+\beta p_r+ks$。其中 $0<\theta<1$、$0<\beta<1$。

假设6:利润函数用 π 表示,上标 M、R 分别表示 M 模型和 R 模型;最优解用上标 * 表示。

2 模型求解

2.1 M 模型

在该模型中,由制造商对废旧品进行回收。该模型的决策顺序是:①制造商决定两种产品的批发价 p、两种产品在直销渠道的销售价 p_d 和对废旧品的回收价 p_c。②零售商决定在传统渠道下两种产品的销售价 p_r。运用逆向推导法进行求解。

制造商和零售商的利润函数为

$$\pi_m^M=(p-c_n)q_r+(p_d-c_n)q_d+(h_0+bp_c)(c_n-c_r-p_c-c_1) \quad (1)$$

$$\pi_r^M=(p_r-p)q_r-\frac{1}{2}s^2 \quad (2)$$

对式(2)求 p_r 的二阶导 $\frac{\partial^2\pi_r^M}{\partial {p_r}^2}=-2<0$,可知 p_r 有最优解,对式(2)求 p_r 的一阶导,并令其等于0,可得:$p_r^M=\frac{1}{2}(s-ks+p+v\theta+\beta p_d)$。将所得的 p_r^M 代入式(1)中,可以得到关于 p、p_d 和 p_c 的海塞矩阵:$H=\begin{pmatrix}-1 & \beta & 0\\ \beta & -2+\beta^2 & 0\\ 0 & 0 & -2b\end{pmatrix}$,由于 $H_1=-1<0$,$H_2=2-2\beta^2>0$,$H_3=-2b(2-2\beta^2)<0$,因此,p、p_d 和 p_c 存在最优解。求式(1)对 p、p_d 和 p_c 的一阶导数,令其等于0,并将三个式子联立,可得:

$$p^{M*}=\frac{s-ks+ks\beta+v\beta-v\beta\theta+\theta v+c_n-\beta^2c_n}{2-2\beta^2} \quad (3)$$

$$p_d^{M*}=\frac{ks+v+s\beta-ks\beta-v\theta+\beta\theta v+c_n-\beta^2c_n}{2-2\beta^2} \quad (4)$$

$$p_c^{M*}=-\frac{b(c_1-c_n+c_r)+h_0}{2b} \quad (5)$$

将 p^{M*}、p_d^{M*}、p_c^{M*} 代入 p_r^M,可得:

$$p_r^{M*}=\frac{-2v\beta+s(-3+\beta^2-k(-3+2\beta+\beta^2))}{4(-1+\beta^2)}+\frac{2v\beta\theta-3\theta v+\beta^2\theta v+(-1+\beta)(1+\beta)^2c_n}{4(-1+\beta^2)} \quad (6)$$

将 p^{M*}、p_d^{M*}、p_c^{M*}、p_r^{M*} 代入 q_r、q_d、π_m^M 和 π_r^M 函数中,可得:

$$q_r^{M*}=\frac{1}{4}(s-ks+\theta v+(-1+\beta)c_n) \quad (7)$$

$$q_d^{M*}=\frac{1}{4}(2v-ks(-2+\beta)+s\beta-2v\theta+\beta\theta v+(-2+\beta+\beta^2)c_n) \quad (8)$$

$$\pi_m^{M*}=-(s-ks+\theta v+(-1+\beta)c_n)(s-ks+ks\beta+v\beta-v\beta\theta+\theta v+(-1+\beta^2)c_n)/8(-1+\beta^2)+(-bc_1+bc_n-bc_r+h_0)^2/4b-(v+s\beta+k(s-s\beta)-v\theta+\beta\theta v+(-1+\beta^2)c_n)(2v-ks(-2+\beta)+s\beta-2v\theta+\beta\theta v+(-2+\beta+\beta^2)c_n)/8(-1+\beta^2) \quad (9)$$

$$\pi_r^{M*}=\frac{1}{16}(s-ks+\theta v+(-1+\beta)c_n)^2-\frac{s^2}{2} \quad (10)$$

2.2 R 模型

在该模型中,由零售商对废旧品进行回收。零售商先以价格 p_c 回收,再以价格 A 将回收的废旧品进行转卖给制造商。该模型的决策顺序是:①制造商确定两种产品的批发价 p 和两种产品在直接销售渠道的销售价 p_d。②零售商确定两种产品在传统渠道的销售价 p_r 和废旧品的回收价 p_c。运用逆向推导法进行求解。

制造商和零售商的利润函数为

$$\pi_m^R=(p-c_n)q_r+(p_d-c_n)q_d+(h_0+bp_c)(c_n-c_r-A) \quad (11)$$

$$\pi_r^R = (p_r - p)q_r - \frac{1}{2}s^2 + (h_0 + bp_c)(A - p_c - c_2) \tag{12}$$

求式(12)关于 p_r 和 p_c 的海塞矩阵可得:$H=\begin{pmatrix}-2 & 0\\ 0 & -2b\end{pmatrix}$,由于 $H_1=-2<0$,$H_2=4b>0$,因此 p_r 和 p_c 存在最优解。分别求式(12)关于 p_r 和 p_c 的一阶导,令其等于 0 并将两个式子联立可得:$p_r^R=\frac{1}{2}(s-ks+p+v\theta+\beta p_d)$,$p_c^R=\frac{Ab-bc_2-h_0}{2b}$。将其代入式(11),得到关于 p 和 p_d 的海塞矩阵:$H=\begin{pmatrix}-1 & \beta\\ \beta & -2+\beta^2\end{pmatrix}$,由于 $H_1=-1<0$,$H_2=2-2\beta^2>0$,因此,p 和 p_d 存在最优解。求式(11)对 p 和 p_d 的一阶导,令其等于 0,并将两个式子进行联立,可得:

$$p^{R*} = \frac{s + ks(-1+\beta) + v(\beta+\theta-\beta\theta) - (-1+\beta^2)c_n}{2-2\beta^2} \tag{13}$$

$$p_d^{R*} = \frac{ks + v + s\beta - ks\beta - v\theta + v\beta\theta + c_n - \beta^2 c_n}{2-2\beta^2} \tag{14}$$

将 p^{R*}、p_d^{R*} 代入 p_r^R、p_c^R,可得:

$$p_r^{R*} = [s(-3+\beta^2-k(-3+2\beta+\beta^2)) + v(2\beta(-1+\theta)-3\theta+\beta^2\theta) + (-1+\beta)(1+\beta)^2 c_n]/4(-1+\beta^2) \tag{15}$$

$$p_c^{R*} = \frac{Ab - bc_2 - h_0}{2b} \tag{16}$$

将 p^{R*}、p_d^{R*}、p_r^{R*}、p_c^{R*} 代入 q_r、q_d、π_m^R 和 π_r^R 函数中,可得:

$$q_r^{R*} = \frac{1}{4}(s - ks + v\theta + (-1+\beta)c_n) \tag{17}$$

$$q_d^{R*} = \frac{1}{4}\begin{pmatrix}2v - ks(-2+\beta) + s\beta - 2v\theta + v\beta\theta\\ + (-2+\beta+\beta^2)c_n\end{pmatrix} \tag{18}$$

$$\pi_m^{R*} = ((-1+k)s - v\theta - (-1+\beta)c_n)(s + v(\beta+\theta-\beta\theta) + ks(-1+\beta) + (-1+\beta^2)c_n)/8(-1+\beta^2) - \frac{1}{2}(A - c_n + c_r)(Ab - bc_2 + h_0)(v + s\beta + k(s - s\beta) - v\theta + v\beta\theta + (-1+\beta^2)c_n)(2v - ks(-2+\beta) + s\beta - 2v\theta + v\beta\theta + (-2+\beta+\beta^2)c_n)/8(-1+\beta^2) \tag{19}$$

$$\pi_r^{R*} = \frac{1}{16}(s - ks + v\theta + (-1+\beta)c_n)^2 + \frac{(Ab - bc_2 + h_0)^2}{4b} - \frac{s^2}{2} \tag{20}$$

3　模型的比较与分析

在考虑搭便车行为的 CLSC 中,为了探讨回收模式选择对 CLSC 的影响,对 M 模型和 R 模型的决策进行对比分析。可得出如下结论:

结论 1　M 模型和 R 模型的最优批发价、零售价、直销价都相等。即:$p^{M*}=p^{R*}$;$p_d^{M*}=p_d^{R*}$;$p_r^{M*}=p_r^{R*}$。且在 M 模型和 R 模型中,两个产品在传统渠道的定价都与搭便车系数 k 负相关;在直销渠道的定价与搭便车系数正相关。即:$\frac{\partial p^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial p^{R*}}{\partial k}<0$;$\frac{\partial P_d^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial P_d^{R*}}{\partial k}>0$;$\frac{\partial P_r^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial P_r^{R*}}{\partial k}<0$。

证明:

$$p^{M*} - p^{R*} = 0; p_d^{M*} - p_d^{R*} = 0; p_r^{M*} - p_r^{R*} = 0$$

$$\frac{\partial p^{M*}}{\partial k} = \frac{\partial p^{R*}}{\partial k} = -\frac{s}{2+2\beta} < 0;$$

$$\frac{\partial P_d^{M*}}{\partial k} = \frac{\partial P_d^{R*}}{\partial k} = \frac{s}{2+2\beta} > 0;$$

$$\frac{\partial P_r^{M*}}{\partial k} = \frac{\partial P_r^{R*}}{\partial k} = -\frac{s(3+\beta)}{4(1+\beta)} < 0$$

结论 1 得证。

结论 1 说明回收渠道的选择并不会影响 CLSC 两种产品在两个渠道的定价。即无论从零售商直接回收废旧品的决策者是谁,两个渠道的定价都不会发生改变,两种情况下的定价始终一致,不会因为回收者的不同而不同。当搭便车现象越来越严重时,传统渠道的定价会不断地降低;而直销渠道会因为搭便车行为的影响,定价会不断地提高。

结论 2　M 模型和 R 模型的废旧品回收价的高低与两个模型的回收成本大小有关。且两种回收模型下的废旧品的回收价均与搭便车系数无关。即:$\frac{\partial P_c^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial P_c^{R*}}{\partial k}=0$。

证明:

$$p_c^{M*} - p_c^{R*} = \frac{1}{2}(-A - c_1 + c_2 + c_n - c_r) = \frac{1}{2}(-A - c_1 + c_2 + \Delta)$$

当 $c_1=c_2$ 时,$p_c^{M*}-p_c^{R*}=\frac{1}{2}(-A+\Delta)>0$

当 $c_1\neq c_2$ 时:①$c_2>c_1+A-\Delta$ 时,$p_c^{M*}-p_c^{R*}>0$;②$c_2<c_1+A-\Delta$ 时,$p_c^{M*}-p_c^{R*}<0$;③$c_2=c_1+A-\Delta$ 时,$p_c^{M*}-p_c^{R*}=0$。

$$\frac{\partial P_c^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial P_c^{R*}}{\partial k}=0$$

结论 2 得证。

从结论 2 可以看出,回收模式的选择对回收价格有很大的影响,与两种回收模式下的回收成本有关,当回收成本的大小存在不同情形时,回收价格的高低会随之发生改变;当两种模式下的回收成本相等时,即 $c_1=c_2$ 时,M 模型下的回收价格高于 R 模型下的回收价格;当不相等时,当 $c_2>c_1+A-\Delta$ 时,M 模型下的回收价格高于 R 模型下的回收价格;当 $c_2<c_1+A-\Delta$ 时,在 M 模型中的回收价格低于 R 模型下的回收价格;当 $c_2=c_1+A-\Delta$ 时,M 模型下的回收价格与 R 模型下的回收价格相等。搭便车系数的变化并不影响两种回收模式的回收价格。即无论搭便车行为怎样改变,回收价格都不会因此而发生变化。

结论 3 M 模型的传统渠道需求量以及直销渠道需求量都和 R 模型的相等。即:$q_r^{M*}=q_r^{R*}$;$q_d^{M*}=q_d^{R*}$。且传统渠道的需求量与搭便车系数负相关;直销渠道的需求量与搭便车系数正相关。即:$\frac{\partial q_r^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial q_r^{R*}}{\partial k}<0$;$\frac{\partial q_d^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial q_d^{R*}}{\partial k}>0$。

证明:$q_r^{M*}-q_r^{R*}=0$;$q_d^{M*}-q_d^{R*}=0$

$$\frac{\partial q_r^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial q_r^{R*}}{\partial k}=-\frac{s}{4}<0$$

$$\frac{\partial q_d^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial q_d^{R*}}{\partial k}=-\frac{1}{4}s(-2+\beta)>0$$

结论 3 得证。

结论 3 说明回收渠道的选择对两种渠道的需求量没有任何影响,即无论是选择 M 模型还是 R 模型,其两个渠道的需求量都不会发生变化,并不会因为直接回收废旧品的决策者不同而发生改变。但搭便车系数的增加会造成传统渠道的需求量减少,以及直销渠道的需求量增加,即当搭便车现象越来越严重时,传统渠道的需求量会因此不断地减少,而由制造商直接销售的直销渠道的需求量会因此而不断地增加。

结论 4 M 模型和 R 模型的制造商利润的高低与两种模式的回收成本大小有关。且两种回收模式下的制造商利润都与搭便车系数正相关。即:$\frac{\partial \pi_m^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial \pi_m^{R*}}{\partial k}>0$。

证明:

$$\pi_m^{M*}-\pi_m^{R*}=\frac{1}{8}\left(\begin{array}{l}4(A-c_n+c_r)(Ab-bc_2+h_0)+\\ \frac{2(-bc_1+bc_n-bc_r+h_0)^2}{b}\end{array}\right)$$

令 $\psi=\sqrt{2}\sqrt{-b(A-c_n+c_r)(Ab-bc_2+h_0)}$,

当 $c_1=\frac{bc_n-bc_r+h_0\pm\psi}{b}$ 时,$\pi_m^{M*}-\pi_m^{R*}=0$;

当 $\frac{bc_n-bc_r+h_0-\psi}{b}<c_1<\frac{bc_n-bc_r+h_0+\psi}{b}$ 时,$\pi_m^{M*}-\pi_m^{R*}<0$;

当 $c_1<\frac{bc_n-bc_r+h_0-\psi}{b}$ 或 $c_1>\frac{bc_n-bc_r+h_0+\psi}{b}$ 时,$\pi_m^{M*}-\pi_m^{R*}>0$。

$$\frac{\partial \pi_m^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial \pi_m^{R*}}{\partial k}=\frac{s(s(-1-k(-3+\beta)+\beta))}{4(1+\beta)}+\frac{v(2+(-3+\beta)\theta)+(-1+\beta^2)c_n}{4(1+\beta)}>0$$

结论 4 得证。

结论 4 表明回收模式的选择对制造商的利润有很大的影响,且制造商利润在 M 模型和 R 模型的高低与两种回收模型的回收成本的大小有关,制造商利润在 M 模型和 R 模型的高低大小会随两个回收成本的不同关系而发生改变;当 $c_1=\frac{bc_n-bc_r+h_0\pm\psi}{b}$ 时,M 模型和 R 模型的制造商利润相等;当 $\frac{bc_n-bc_r+h_0-\psi}{b}<c_1<\frac{bc_n-bc_r+h_0+\psi}{b}$ 时,M 模型的制造商的利润低于 R 模型的制造商利润;当 $c_1<\frac{bc_n-bc_r+h_0-\psi}{b}$ 或 $c_1>\frac{bc_n-bc_r+h_0+\psi}{b}$ 时,M 模型的制造商的利润高于 R 模型的制造商利润。随着搭便车系数的增加,两种模式下的制造商利润都会随之增加。即随着消费者搭便车现象越来越严重,制造商的利润会不断地增加。

结论 5 零售商在 M 模型的利润低于 R 模型下的利润,即:$\pi_r^{M*}<\pi_r^{R*}$,且这两种模式下的零售商利润都与搭便车系数负相关。即:$\frac{\partial \pi_r^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial \pi_r^{R*}}{\partial k}<0$。

证明:

$$\pi_r^{M*}-\pi_r^{R*}=-\frac{(Ab-bc_2+h_0)^2}{4b}<0$$

$$\frac{\partial \pi_r^{M*}}{\partial k}=\frac{\partial \pi_r^{R*}}{\partial k}=\frac{1}{8}s(-s+ks-\theta v+c_n-\beta c_n)<0$$

结论 5 得证。

结论 5 表明,相较于 M 模型,R 模型更能够使得零售商的利润增加,即零售商回收废旧品与制造商回收废旧品相比,零售商回收废旧品情况下零售商的利润高。随着搭便车系数的增加,两种模式下的零售商利润都会随之减少。即当搭便车现象越来越严重时,零售商的利润会因此不断地减少。

4　数值分析

为了进一步探讨搭便车系数对 M 模型和 R 模型下的决策者利润的影响,将对其进行算例分析。假设 $A=2$;$c_n=15$;$c_r=8$;$b=\frac{1}{10}$;$c_1=2$;$c_2=3$;$h_0=10$;$\beta=\frac{1}{10}$;$\theta=\frac{4}{10}$;$v=1\ 000$;$s=20$。

根据图 3 可以看出,两种回收模式下的制造商利润函数图象都呈上升趋势,由此可得,M 模型和 R 模型下的制造商利润都会随着搭便车系数的增加而增加。不难理解,搭便车现象越严重,就会有更多从零售商处体验产品等服务后再选择去直销渠道购买产品的消费者,使得直销渠道的收益就会增加,而直销渠道的直接获益者便是制造商,因此,搭便车系数的增加与制造商的利润正相关。根据图 4 可以看出,两种回收模式下的零售商利润的函数图象都呈下降趋势,由此可知,两种回收模式下的零售商利润都随着搭便车系数的增加而减少。同理,随着搭便车系数的增加,在传统渠道体验零售商提供的产品服务后反而去直销渠道购买产品的消费者就会增加,传统渠道的收益就会减少,而传统渠道的直接获益者就是零售商,因此,零售商的利润就会减少。

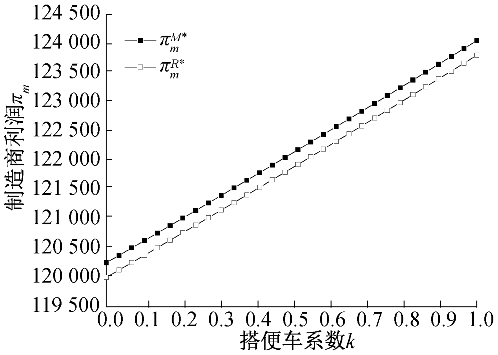

图 3　搭便车系数对制造商利润的影响

Fig. 3　The influence of free-riding coefficient on manufacturer's profit

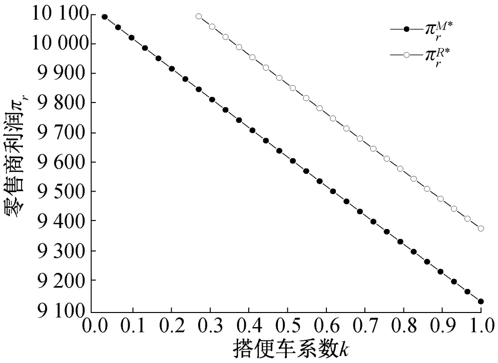

图 4　搭便车系数对零售商利润的影响

Fig. 4　The influence of free-riding coefficient on retailer's profit

5　结论

在存在搭便车行为的闭环供应链中,回收模式的选择只对最优回收价格和两决策者的利润产生影响;产品在两个销售渠道的最优定价和需求量都不受回收模式的影响。搭便车行为对传统渠道的产品定价、需求量、利润等总是产生消极的影响,对直销渠道的产品定价、需求量、利润总是产生积极的影响。

本文的研究还可以进一步扩展,在本文中只考虑了单向的搭便车行为。在未来的研究中,我们可以考虑双向的搭便车行为;而且本文考虑的只是单渠道回收模式,未来可以进一步研究多渠道回收模式。

参考文献:

[1]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(03):370-376.

[2]LIU Y, DING C, FAN C, et al. Pricing Decision under Dual-Channel Structure Considering Fairness and Free-Riding Behavior[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2014, 2014: 1-10.

[3]WANG S, CHANG D, LUO T. Pricing Strategy in Multi-Channel Apparel Supply Chain with Showrooming Effect[J]. American Journal of Industrial and Business Management, 2020, 10(04): 749-774. .

[4]池方圆,徐 庆,陈婷婷. 搭便车效应下双渠道供应链收益共享契约设计[J]. 数学的实践与认识,2018,48(18):39-53.

[5]经有国,孟月霞. 搭便车行为下双渠道绿色供应链协调机制研究[J]. 工业工程与管理,2019,24(05):72-80.

[6]徐广业,蔺全录,孙金岭. 基于消费者渠道迁徙行为的

双渠道供应链定价决策[J]. 系统管理学报,2019,28(02):386-391.
[7]吴晓志,曹细玉,陈 宏. 考虑服务水平的全渠道供应链运行模式比较研究[J]. 数学的实践与认识,2020,50(02):104-110.
[8]陈建华,梅俊晓,曹菁菁. 零售商主导闭环供应链混合回收渠道选择决策[J]. 计算机集成制造系统,2021,27(03):954-964.
[9]李 健,王 博. 需求不确定下混合回收渠道闭环供应链模型[J]. 天津大学学报:社会科学版,2015(4):296-300.
[10]董乾东,李 敏,姜素红. 基于产品质量差异的闭环供应链混合回收模式[J]. 系统工程,2017(2):116-121.
[11]公彦德,蒋雨薇. 闭环供应链混合回收模式定价及渠道选择研究[J]. 软科学,2018,32(05):127-131+144.
[12]姚锋敏,刘 珊,陈东彦,等. 有企业社会责任的闭环供应链回收及定价决策[J]. 控制与决策,2019(9):1981-1990.
[13]李文龙,王 雪,李璐璐,等. 考虑价格敏感度的闭环供应链回收模式选择研究[J]. 生态经济,2020,36(08):206-212.
[14]孙 浩,王 磊,李 晨,等. 回收模式相异的零售商主导型闭环供应链竞争模型研究[J]. 中国管理科学,2020,28(04):86-98.

（责任编辑 王利君）