

考虑渠道权力结构和绿色偏好的闭环供应链决策优化^{*}

邢光军^{1,2}, 杨重庆^{1,2}

(1. 南京邮电大学 江苏现代信息服务业决策咨询研究基地; 2. 南京邮电大学 管理学院, 南京 210003)

摘要:【目的】考虑消费者绿色偏好的影响,研究不同渠道权力结构下闭环供应链的决策模型。【方法】在单一制造商、单一零售商和单一的第三方回收商组成闭环供应链中,构建零售商、制造商和第三方回收商集中决策模型,零售商与第三方回收商 Nash 均衡模型以及制造商与第三方回收商 Nash 均衡模型,利用 Nash 博弈、Stackelberg 博弈和最优化理论分析并比较闭环供应链的不同渠道权力结构下的优化决策以及绿色偏好对最优决策的影响。【结果】发现集中决策闭环供应链的最优利润随消费者绿色偏好的增加而增加;制造商领导下两类 Nash 均衡模型中各个权利主体的利润随着消费者绿色偏好的增加而增加;各权力结构下的绿色度和价格均随消费者绿色偏好的增加而增加等。【结论】拓展了先前的研究成果,为供应链参与者指定决策提供帮助。

关键词: 闭环供应链;渠道权力结构;绿色偏好;Nash 博弈

中图分类号: O225;F274

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2021)01-0076-11

有限的资源和高速发展的世界经济环境,使得资源危机、生态污染等问题持续恶化。各国逐渐意识到保护环境、发展绿色经济的重要性。企业为适应经济大环境,提高经济效益和社会效益,逐步改变传统的经济模式。再生产环节越来越被视为生产活动的一部分^[1],闭环供应链以节能环保等优势,成为企业在生产环节中不可忽视的环节。同时,消费者消费时也逐渐将产品的绿色度纳入参考范围,具有明显的绿色偏好。研究不同渠道权力结构下和消费者绿色偏好影响下的闭环供应链有利于实现利润最大化,促进供应链绿色健康发展。

许多学者对闭环供应链的渠道权力结构进行了详细研究。刘文杰等人^[2]针对不同渠道权力结构和产品双重差异的再制造闭环供应链,研究最优定价问题。王文宾等人^[3]探讨集中和分散决策的渠道权力,并用二部定价契约进行协调。Gao 等人^[4]探讨不同的渠道权力结构对具有价格和努力依赖需求的闭环供应链的最优决策和性能的影响,以确定最有利可图的渠道权力结构,并提出分散型供应链的协调策略。聂佳佳^[5]在供应商、零售商、第三方回收商组成的闭环供应链模型中研究了 4 种渠道结构带来的影响,得出任意两方的联盟又有利于增加另一方利益。Savaskan 等人^[6]研究了零售业竞争时,制造商收集消费后商品的逆向渠道选择与正向渠道中产品定价策略决策之间的相互作用,并讨论了制造商在选择最优逆向渠道结构时所面临的经济权衡问题。Choi 等人^[7]考察了零售商、制造商回收商组成的不同的 CLSC 在不同的渠道领导下的绩效。通过系统比较,发现零售商主导的模型给出了最有效的 CLSC。闻卉等人^[8]针对双渠道环境下的渠道权力结构变化,对闭环供应链模型进行定价与协调。以上研究从简单的集中、分散到考虑不同情况下的渠道权利结构,通过对比找到最优决策,有助于供应链参与者进行决策优化。

消费者绿色偏好促使闭环供应链参与者面对市场需求的变化,开始重新考虑产品流程及供应链的协调^[9]等问题。吕宝龙等人^[10]在闭环供应链同类成员存在竞争的基础上,结合制造商的绿色度研究以及政府碳税政策,建立具有消费者绿色低碳偏好的闭环供应链的网络均衡模型。曾蔚等人^[11]基于绿色偏好影响下对再造产品功

^{*} 收稿日期:2020-08-12 修回日期:2020-09-30 网络出版时间:2021-03-10 16:35

资助项目:国家自然科学基金(No. 71771126);江苏省社会科学基金资助项目(No. 14HQ005);江苏省高校哲学社会科学重点研究基地开放课题项目(No. JDS213004);江苏现代信息服务业决策咨询研究基地开放课题项目(No. NYJD217009);南京邮电大学人文社会科学基金重点项目(No. NYS212015);江苏省研究生科研创新计划项目(No. KYCX20_0843)

第一作者简介:邢光军,男,副教授,博士,研究方向为物流与供应链管理,E-mail: guangjunx@163.com;通信作者:杨重庆,女,E-mail: 2478445293@qq.com;

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20210310.1202.016.html

能质量和环境质量的不同支付意愿,并分析由此产生的决策影响。梁喜等人^[12]研究发现消费者绿色偏好影响下,制造商承担的社会责任比例的增加有助于提高产品绿色度。Yu 等人^[13]研究发现,消费者绿色偏好明显影响制造商和供应商的产品绿色水平,并对边际理性供应链的调整速度产生复杂的影响。Zhang 等人^[14]在分析绿色供应链协调时考虑绿色改善与绿色偏好的影响。Flynn 等人^[15]强调了消费者偏好对供应链关系产生的有利影响。黄祖庆等人^[16]研究发现消费者偏好与低碳新品和普通废旧品的价格成正比。张焕勇等人^[17]将消费者市场分为普通消费者和绿色消费者,探究具有绿色偏好的消费者规模的扩大对闭环供应链的影响。Zhang 等人^[18]研究发现消费者绿色偏好可能会促进制造商实施激进的绿色创新。以上研究以消费者绿色偏好对供应链及相应的参与者产生的影响为主,主要研究对象涉及零售商和制造商,缺少第三方回收商的参与。

然而,上述文献研究大部分以制造商和零售商为主要闭环供应链参与者,并未研究不同渠道权力结构和消费者绿色偏好对闭环供应链决策产生的影响。从这个角度出发,结合消费者绿色偏好和渠道权力结构,分别建立集中决策、零售商与第三方合作博弈、制造商与第三方合作博弈 3 种渠道权力结构模型,比较不同模型下的最优决策,并通过数值实验分析结果。

1 问题描述与基本假设

假设市场存在由 1 个制造商、1 个零售商和 1 个第三方回收商组成的闭环供应链。制造商生产两种商品,即新产品生产和废旧产品再生产,生产出的产品质量相同且以相同价格销售。制造商将产品以批发价 w 销售给下游的零售商。基于消费者绿色偏好,制造商付出研发努力提高产品绿色度。零售商将产品以零售价 p 卖给消费者。第三方回收商以回收价 z 向消费者回收废旧产品,同时将废旧产品以回收价 d 卖给制造商。不同渠道权力结构下考虑消费者绿色偏好的闭环供应链运营过程见图 1。

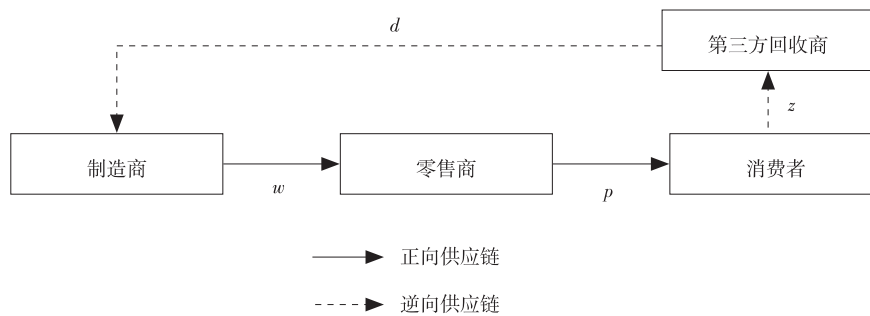


图 1 绿色偏好影响下的闭环供应链运营流程

Fig. 1 Operation process of closed-loop supply chain under the influence of green preference

为便于分析模型,在不影响一般性的前提下,本文对模型做出如下假设。

假设 1 市场需求受价格和绿色度影响,产品绿色度越高,市场需求越大。不考虑其他因素,产品市场需求为: $q = \alpha - \beta p + \gamma g$, 其中: q 表示产品市场需求, α 表示市场潜在容量, β 表示价格弹性系数, p 表示产品零售价格, γ 表示消费者的绿色偏好系数, g 表示产品绿色度。为确保假设成立,令 $\alpha \geq \beta p - \gamma g$ 。

假设 2 废旧产品的回收率为 τ 。制造商生产新产品和再制造产品的单位生产成本为 c 。每件废旧产品存在可提取原料用于废旧产品再生产,定义为残值 v ,用于减少再制造产品的生产成本。为使制造商有利可图,令 $0 \leq v \leq c$ 且 $z \leq v$ 。同时,制造商生产绿色产品需要付出的研发努力成本是一次性投入^[12],参考边际成本递增原理,投入金额与产品绿色度呈现 2 次方关系,设为 $\frac{1}{2} \eta g^2$, η 代表制造商研发努力系数;为提高回收效率,第三方付出回收努力,满足 $C(\tau)' > 0, C(\tau)'' > 0$,这表明第三方的努力程度提高,努力成本随之增加并且增加速度增快,假设 $C(\tau) = k\tau^2$, k 表示回收努力成本对回收率的敏感系数。

假设 3 为简化计算,令所有博弈行为处于完全信息下的动态博弈,即参与者的行为存在先后顺序,且后者可以准确知晓先者的行动。从经济学角度考虑,企业即博弈者以利润最大化为目标。

假设 4 $\Pi m, \Pi r, \Pi t$ 分别表示制造商、零售商和第三方的决策目标函数, Πs 代表整个闭环供应链的

利润函数。制造商、零售商和第三方的利润函数分别为:

$$\Pi m = (w - c)q + (v - d)\tau q - \frac{1}{2}\eta g^2 = (w - c)(\alpha - \beta p + \gamma g) + (v - d)\tau(\alpha - \beta p + \gamma g) - \frac{1}{2}\eta g^2, \quad (1)$$

$$\Pi r = (p - w)q = (p - w)(\alpha - \beta p + \gamma g), \quad (2)$$

$$\Pi t = (d - z)\tau q - k\tau^2 = (d - z)\tau(\alpha - \beta p + \gamma g) - k\tau^2. \quad (3)$$

在下文中,上述变量加上标“c,M,R”表示集中式决策、制造商和第三方回收商 Nash 均衡博弈模型、零售商和第三方回收商 Nash 均衡博弈模型,上标加“*”表示最优决策结果。

模型中相关符号及相应含义见表 1。

表 1 符号及相应的含义

Tab. 1 Symbols and their meanings

符号	含义	符号	含义
w	批发价	g	产品绿色度
p	零售价	τ	废旧产品回收率
d	制造商回收废旧产品价格	c	制造商单位生产成本
z	第三方收购废旧产品价格	v	单位废旧产品残值
q	产品市场需求	η	制造商研发努力系数
α	市场潜在容量	k	回收努力成本对回收率的敏感系数
β	价格弹性系数	$\Pi m, \Pi r, \Pi t$	制造商、零售商、第三方的决策目标函数
γ	消费者的绿色偏好系数	Π_s	闭环供应链整体利润函数

若制造商、零售商与第三方回收商之间以供应链整体利润最大化为目标,三者之间进行集中决策;若制造商与第三方之间权力均等且处于优势地位,制造商与第三方之间将进行 Nash 博弈,制造商、第三方与零售商进行 Stackelberg 博弈。若制造商处于优势地位,零售商与第三方之间权力均等,二者将进行 Nash 博弈,制造商与第三方、零售商进行 Stackelberg 博弈。3 种渠道权力结构下的 Stackelberg 博弈都只考虑以制造商或制造商与第三方联盟为主导,以零售商主导的 Stackelberg 博弈推演过程类似,不作论述。渠道权力结构将会影响参与者的决策顺序,3 种渠道权力结构下制造商、零售商和第三方回收商的具体决策顺序见图 2~图 4。

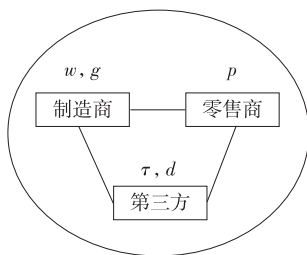


图 2 制造商、零售商与第三方回收商集中决策流程

Fig. 2 Centralized decision-making process of manufacturer, retailer and third-party recycler

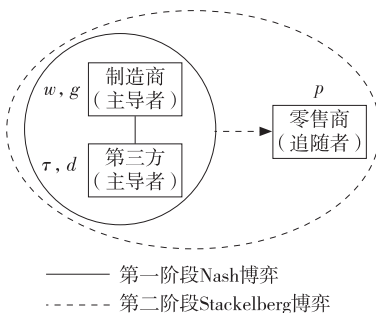


图 3 制造商和第三方回收商 Nash 均衡博弈流程

Fig. 3 Nash equilibrium game process between manufacturer and third-party recycler

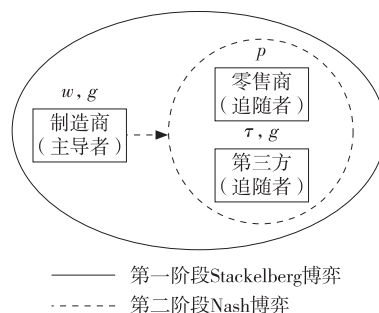


图 4 零售商与第三方回收商 Nash 均衡博弈流程

Fig. 4 Nash equilibrium game process between retailer and third-party recycler

2 模型构建与求解

2.1 集中式决策模型

集中式决策模型是一种以闭环供应链整体利润最大化为目标的理想化组织,在这种组织结构下,制造商、零

售商、第三方回收商共同决策,共同承担。通过确定最优零售价格 p^* ,最优绿色度 g^* 和最优回收率 τ^* ,最大化整个供应链的利润。

根据以上假设和(1)~(3)式可知,集中决策下闭环供应链整体利润函数为:

$$\Pi s^c = (\alpha - \beta p + \gamma g)(v - z)\tau - k\tau^2 - \beta p^2 + p(\alpha + \beta c + \gamma g) - cg\gamma - \frac{\gamma g^2}{2} - ac. \quad (4)$$

命题 1 在消费者绿色偏好影响下的闭环供应链模型中,(5)式是关于 p^c, g^c, τ^c 的严格凹函数,存在唯一最优解,求解可得该模型各项最优决策分别为:

$$\frac{\partial}{\partial p^c} \Pi s^c = \alpha - (v - z)\beta\tau - 2\beta p + \beta c + g\gamma, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial g^c} \Pi s^c = (v - z)\gamma\tau + p\gamma - \gamma c - \gamma g, \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau^c} \Pi s^c = (v - z)(\alpha - \beta p + \gamma g) - 2k\tau. \quad (7)$$

供应链最优利润为:

$$\Pi s^{c*} = \frac{k\gamma(\beta c - \alpha)^2}{4k\beta\gamma - \gamma(v - z)^2\beta^2 - 2\gamma^2k}. \quad (8)$$

证明 分别对(4)式求 p^c, g^c, τ^c 的一阶偏导数,得到(5)~(7)式。

同时令 $\frac{\partial}{\partial p^c} \Pi s^c = 0, \frac{\partial}{\partial g^c} \Pi s^c = 0, \frac{\partial}{\partial \tau^c} \Pi s^c = 0$, 求解可得最优零售价格、最优绿色度和最优回收率为:

$$p^c = \frac{((2ck - \alpha(v - z)^2)\beta + 2k\alpha)\gamma - 2ck\gamma^2}{(4k - (v - z)^2\beta)\beta\gamma - 2\gamma^2k}, \quad (9)$$

$$g^c = \frac{2k\gamma(\alpha - \beta c)}{4k\beta\gamma - \gamma(v - z)^2\beta^2 - 2\gamma^2k}, \quad (10)$$

$$\tau^c = \frac{\gamma\beta(v - z)(\alpha - \beta c)}{4k\beta\gamma - \gamma(v - z)^2\beta^2 - 2\gamma^2k}. \quad (11)$$

将(9)~(11)式代入(4)式中,可得闭环供应链的最优利润为:

$$\Pi s^{c*} = \frac{k\gamma(\beta c - \alpha)^2}{4k\beta\gamma - \gamma(v - z)^2\beta^2 - 2\gamma^2k}. \quad \text{证毕}$$

2.2 制造商和第三方回收商 Nash 均衡博弈

制造商和第三方回收商 Nash 均衡博弈情形下,制造商和第三方回收商二者实力相当,都无法绝对领导市场,双方同时决策实现自身利润最大化,零售商在市场中属于追随者,根据 Stackelberg 博弈顺序,1) 制造商和第三方回收商同时确定绿色度 g^M 、批发价 w^M 和回收率 τ^M ; 2) 零售商再确定零售价 p^M 。

命题 2 Πm^M 是关于 g^M, w^M 的严格凹函数, Πt^M 是关于 τ^M 的严格凹函数, Πr^M 是关于 p^M 的严格凹函数,均存在唯一最优解。

证明 在完全信息下,该博弈的均衡为子博弈精炼 Nash 均衡,故可以采用逆向归纳法求解博弈。对(2)式求 p^M 的一阶偏导数,得 $\frac{\partial \Pi r^M}{\partial p^M} = \alpha - \beta p + \gamma g - (p - w)\beta$ 。

令 $\frac{\partial \Pi r^M}{\partial p^M} = 0$, 得 $p^M = \frac{\alpha + \gamma g + w\beta}{2\beta}$, 将 $p^M = \frac{\alpha + \gamma g + w\beta}{2\beta}$ 代入(1),(3)式,分别求 $\Pi m^M, \Pi t^M$ 关于 g^M, w^M 和 τ^M 的一阶导数,结果如下:

$$g^{M*} = \frac{2\gamma k(c\beta - \alpha)}{\gamma(d - z)(d - v)\beta^2 + 8\beta\gamma k - 2\gamma^2k}, \quad (12)$$

$$w^{M*} = \frac{((d^2\alpha - \alpha(v + z)d + vz\alpha + 4ck)\beta + 4k\alpha)\gamma - 2k\gamma^2}{\beta((d - z)(d - v)\beta + 8k)\gamma - 2\gamma^2k}, \quad (13)$$

$$\tau^{M*} = \frac{(d - z)\beta\gamma(c\beta - \alpha)}{\gamma(d - z)(d - v)\beta^2 + 8\beta\gamma k - 2\gamma^2k}. \quad (14)$$

将(12)~(14)式代入 p^M , 得: $p^M = \frac{((d^2\alpha - \alpha(v+z)d + vz\alpha + 2ck)\beta + 6k\alpha)\eta - 2ck\gamma^2}{\beta((d-z)(d-v)\beta + 8k)\eta - 2\gamma^2k}$ 。

此时, 制造商的最优利润 Π^{m^*} 、第三方回收商的最优利润 Π^{t^*} 和零售商的最优利润 Π^{r^*} 分别为:

$$\Pi^{m^*} = \frac{8\left(\beta\eta - \frac{\gamma^2}{4}\right)k^2\eta(c\beta - \alpha)^2}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k)^2},$$

$$\Pi^{t^*} = \frac{k(d-z)^2\beta^2\eta^2(c\beta - \alpha)^2}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k)^2},$$

$$\Pi^{r^*} = \frac{4\beta k^2\eta^2(c\beta - \alpha)^2}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k)^2}。$$

证毕

2.3 零售商和第三方回收商 Nash 均衡模型

零售商和第三方回收商 Nash 均衡博弈情形下, 零售商和第三方回收商二者实力相当, 双方同时决策实现自身利润最大化, 制造商在市场中属于主导者, 根据 Stackelberg 博弈顺序, 1) 制造商确定绿色度 g^R 、批发价 w^R ; 2) 零售商和第三方回收商同时再确定零售价 p^R 和回收率 τ^R 。

命题 3 Π^{m^R} 是关于 g^R, w^R 的严格凹函数, Π^{t^R} 是关于 τ^R 的严格凹函数, Π^{r^R} 是关于 p^R 的严格凹函数, 均存在唯一最优解。

证明 在完全信息下, 该博弈的均衡为子博弈精炼 Nash 均衡, 故可以采用逆向归纳法求解博弈。对(2), (3)式同时求 p^R 和 τ^R 的一阶偏导数, 得到:

$$\frac{\partial \Pi^{r^R}}{\partial p^R} = \alpha - \beta p + \gamma g - (p - w)\beta, \frac{\partial \Pi^{t^R}}{\partial \tau^R} = (\alpha - \beta p + \gamma g)(d - z) - 2k\tau。$$

令 $\frac{\partial \Pi^{r^R}}{\partial p^R} = 0, \frac{\partial \Pi^{t^R}}{\partial \tau^R} = 0$, 得 $p^R = \frac{\alpha + \gamma g + w\beta}{2\beta}, \tau^R = \frac{(d-z)(\gamma g + \alpha - \beta w)}{4k}$, 将 p^R, τ^R 代入(1)式, 并求

Π^{m^R} 关于 g^R, w^R 的一阶导数:

$$g^{R^*} = \frac{\gamma k(c\beta - \alpha)}{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k - \gamma^2k}, \quad (15)$$

$$w^{R^*} = \frac{((d^2\alpha - \alpha(v+z)d + vz\alpha + 2ck)\beta + 2k\alpha)\eta - ck\gamma^2}{\beta((d-z)(d-v)\beta + 4k)\eta - \gamma^2k}, \quad (16)$$

将(15), (16)式代入 p^R, τ^R , 得:

$$p^{R^*} = \frac{((d^2\alpha - \alpha(v+z)d + vz\alpha + ck)\beta + 3k\alpha)\eta - ck\gamma^2}{\beta((d-z)(d-v)\beta + 4k)\eta - \gamma^2k}, \tau^{R^*} = \frac{\beta\eta(d-z)(\alpha - c\beta)}{2\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k}。$$

此时, 制造商的最优利润 $\Pi^{m^{R^*}}$ 、零售商的最优利润 $\Pi^{r^{R^*}}$ 和第三方回收商的最优利润 $\Pi^{t^{R^*}}$ 分别为:

$$\Pi^{m^{R^*}} = \frac{k\eta(c\beta - \alpha)^2}{2\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k},$$

$$\Pi^{r^{R^*}} = \frac{\beta k^2\eta^2(c\beta - \alpha)^2}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k - \gamma^2k)^2},$$

$$\Pi^{t^{R^*}} = \frac{(d-z)^2\beta^2\eta^2(c\beta - \alpha)^2}{4(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k - \gamma^2k)^2}。$$

证毕

3 不同渠道权力结构下消费者绿色偏好对闭环供应链的影响分析

在模型研究的基础上, 本部分比较分析不同渠道权力结构下考虑消费者绿色偏好的最优决策, 并探讨绿色偏好对不同渠道结构的影响。首先比较分析不同渠道结构下最优的产品绿色度。

推论 1 不同渠道权力结构下, 绿色度对渠道权力结构偏好为 $g^c \leq g^R \leq g^M$ 。

证明 g^c 分别减去 g^M 和 g^R , 得:

$$g^c - g^M = \frac{2k\gamma(\alpha - \beta c)}{4k\beta\eta - \eta(v-z)^2\beta^2 - 2\gamma^2k} - \frac{2\gamma k(c\beta - \alpha)}{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k}, \quad (17)$$

$$g^{c^*} - g^{R^*} = \frac{2k\gamma(\alpha - \beta c)}{4k\beta\eta - \eta(v-z)^2\beta^2 - 2\gamma^2k} - \frac{\gamma k(c\beta - \alpha)}{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k - \gamma^2k}, \quad (18)$$

g^{M^*} 减去 g^{R^*} , 得:

$$g^{M^*} - g^{R^*} = \frac{2\gamma k(c\beta - \alpha)}{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k} - \frac{\gamma k(c\beta - \alpha)}{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k - \gamma^2k}. \quad (19)$$

由(17)式可知, 当 $-(v-z)^2 \geq (d-z)(d-v) + 4\beta\eta k$ 时, $g^{c^*} \leq g^{M^*}$; 当 $-(v-z)^2 < (d-z)(d-v) + 4\beta\eta k$ 时, $g^{c^*} > g^{M^*}$ 。

由(18)式可知, 当 $-(v-z)^2 \geq 2(d-z)(d-v) + 4\beta\eta k$ 时, $g^{c^*} \leq g^{R^*}$; 当 $-(v-z)^2 < 2(d-z)(d-v) + 4\beta\eta k$ 时, $g^{c^*} > g^{R^*}$ 。

由(19)式可知, $g^{M^*} \geq g^{R^*}$ 。

综上分析, 当 $(z-d)(d-v) - \frac{4k}{\beta} \leq (v-d)^2 \leq (z-d)(d-v) - 4\beta\eta k$ 时, $g^{c^*} \leq g^{R^*} \leq g^{M^*}$ 。证毕

推论 1 表明 3 种渠道权力结构下, 制造商与第三方均衡模型下的绿色度高于零售商与第三方均衡模型下的绿色度, 集中决策模型下的产品绿色度最低。这意味着从满足消费者绿色偏好以及政府绿色环保政策的角度出发, 为了提高产品绿色度, 制造商与第三方联盟的倾向大于与零售商联盟, 此时可以获得更高的绿色度。此外, 不同渠道结构下产品绿色度的高低与废旧产品残值、第三方回收价格和转移支付相关。

推论 2 满足 $\frac{2k}{\beta^2} < (v-z)^2 < \frac{\gamma^2 k + 4\beta\eta k}{\eta\beta^2}$ 时, g^{c^*} , g^{M^*} , g^{R^*} 均随着消费者绿色偏好 γ 的增加而增加; p^{c^*} , p^{M^*} , p^{R^*} 均随着消费者绿色偏好 γ 的增加而增加; τ^{c^*} 随着消费者绿色偏好 γ 的增加而增加; τ^{M^*} 随着消费者绿色偏好 γ 的增加而减少; τ^{R^*} 则与 γ 的大小无关。

证明 当 $\gamma^2 k + 4\beta\eta k - \eta(v-z)^2\beta^2 > 0$ 时, 有:

$$\begin{aligned} \frac{\partial g^{c^*}}{\partial \gamma} &= \frac{(\alpha - \beta c)k(4\beta\eta k + 2\gamma^2 k - \eta(v-z)^2\beta^2)}{2(4\beta\eta k - 2\gamma^2 k - \eta(v-z)^2\beta^2)^2} > 0, \\ \frac{\partial g^{M^*}}{\partial \gamma} &= \frac{2(\alpha - \beta c)k(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k + 2\gamma^2 k)}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2 k)^2} > 0, \\ \frac{\partial g^{R^*}}{\partial \gamma} &= \frac{(\alpha - \beta c)k(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k + \gamma^2 k)}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k - \gamma^2 k)^2} > 0. \end{aligned}$$

当 $2k - (v-z)^2\beta > 0$ 时, 有:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p^{c^*}}{\partial \gamma} &= \frac{(\alpha - \beta c)k\eta(2k - (v-z)^2\beta)}{(\beta\eta k - 2\gamma^2 k - \eta(v-z)^2\beta^2)^2} > 0, \\ \frac{\partial p^{M^*}}{\partial \gamma} &= \frac{4(\alpha - \beta c)\gamma\eta k((d-z)(d-v)\beta + 6k)}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2 k)^2} > 0, \\ \frac{\partial p^{R^*}}{\partial \gamma} &= \frac{2(\alpha - \beta c)\gamma\eta k((d-z)(d-v)\beta + 3k)}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 4\beta\eta k - \gamma^2 k)^2} > 0. \end{aligned}$$

再求 τ^{c^*} , τ^{M^*} , τ^{R^*} 关于 γ 的导数:

$$\frac{\partial \tau^{c^*}}{\partial \gamma} = \frac{4(\alpha - \beta c)k\gamma\eta\beta(v-z)}{(4\beta\eta k - 2\gamma^2 k - \eta(v-z)^2\beta^2)^2} > 0, \quad \frac{\partial \tau^{M^*}}{\partial \gamma} = \frac{4(\alpha - \beta c)\gamma\beta\eta k(d-z)}{(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2 k)^2} > 0, \quad \frac{\partial \tau^{R^*}}{\partial \gamma} = 0. \quad \text{证毕}$$

推论 2 表明 3 种不同渠道权力结构模型下, 在满足一定条件时, 产品绿色度和零售价格随着消费者绿色偏好 γ 的增加而增加。这说明消费者绿色偏好在符合条件时会增加 3 种渠道权力结构模型下的产品绿色度和零售价格。同时消费者绿色偏好 γ 的增加会提高集中决策模型下的产品回收率, 降低制造商和第三方 Nash 均衡模型下的产品回收率, 但不能影响零售商和第三方 Nash 均衡模型下的产品回收率。这表明从绿色度和零售价的角度出发, 3 种渠道权力结构模型都适合消费者绿色偏好影响下的市场环境; 从回收率的角度出发, 采用集中模型最优, 其次是零售商和第三方 Nash 均衡模型, 采用制造商和第三方 Nash 均衡模型不利于废旧产品的回收再利用。

推论 3 不同渠道权力结构下闭环供应链最优市场需求满足: 集中决策模型下最优市场需求量最大, 其次是零售商与第三方均衡模型下的最优市场需求量, 制造商与第三方均衡模型时最优市场需求量最小。即:

$$q^{c^*} > q^{R^*} > q^{M^*}。$$

推论 3 的证明过程与推论 2 类似。

推论 3 表明,消费者绿色偏好影响下,零售商与第三方均衡模型下的市场需求量高于制造商与第三方均衡模型下的市场需求量。当第三方回收努力程度、消费者价格敏感系数、残值、转移支付和第三方回收价格满足一定关系时,集中决策模型下的市场需求量可以高于零售商与第三方均衡模型以及制造商与第三方均衡模型下的市场需求量。这表明,从市场需求量最大的角度出发,采取集中决策模型优于零售商与第三方均衡模型,其次是制造商与第三方均衡模型。

推论 4 两种 Nash 均衡模型下,最优产品的零售价大小关系如下:

- 1) 若 $\gamma^2 \geq 4\beta\eta$, 则 $p^{M^*} \geq p^{R^*}$;
- 2) 若 $\gamma^2 < \beta\eta, \beta^2\eta v z < k(\gamma^2 - 4\beta\eta)$, 则 $p^{M^*} < p^{R^*}$;
- 3) 若 $\gamma^2 < \beta\eta, \beta^2\eta v z > 2k(\gamma^2 - 4\beta\eta)$, 则 $p^{M^*} < p^{R^*}$;
- 4) 若 $\gamma^2 > \beta\eta, k(\gamma^2 - 4\beta\eta) < \beta^2\eta v z < 2k(\gamma^2 - 4\beta\eta)$, 则 $p^{M^*} < p^{R^*}$ 。

证明

$$p^{M^*} - p^{R^*} = \frac{((d^2\alpha - \alpha(v+z)d + vza + 2ck)\beta + 6k\alpha)\eta - 2ck\gamma^2}{\beta((d-z)(d-v)\beta + 8k)\eta - 2\gamma^2k} - \frac{((d^2\alpha - \alpha(v+z)d + vza + ck)\beta + 3k\alpha)\eta - ck\gamma^2}{\beta((d-z)(d-v)\beta + 4k)\eta - \gamma^2k}。$$

化简得:

$$p^{M^*} - p^{R^*} = \frac{\beta\eta k v z (-\beta\eta + \gamma^2)(-\beta c + \alpha)}{(-\beta^2\eta v z - 8k\beta\eta + 2\gamma^2k)(-\beta^2\eta v z - 4k\beta\eta + \gamma^2k)}。$$

令 $\beta^2\eta v z = A, 4\beta\eta k - \gamma^2k = B, \beta\eta k v z(\alpha - \beta c) = C, \gamma^2 - \beta\eta = D$, (19) 式可化简为 $\frac{CD}{(A+2B)(A+B)}$, 已知 $C > 0, A > 0$, 则:

1) 当 $D \geq 0, (A+2B)(A+B) \geq 0$ 或 $D \leq 0, (A+2B)(A+B) \leq 0$ 时, $\frac{CD}{(A+2B)(A+B)} \geq 0$, 易证明 $D \leq 0, (A+2B)(A+B) \leq 0$ 矛盾, 不存在该选项。即当 $\gamma^2 \geq 4\beta\eta$ 时, $p^{M^*} \geq p^{R^*}$;

2) 当 $D < 0, (A+2B)(A+B) > 0$ 或 $D > 0, (A+2B)(A+B) < 0$ 时, $\frac{CD}{(A+2B)(A+B)} < 0, p^{M^*} < p^{R^*}$ 。

当 $\gamma^2 < \beta\eta, \beta^2\eta v z < k(\gamma^2 - 4\beta\eta)$, 或者 $\gamma^2 < \beta\eta, \beta^2\eta v z > 2k(\gamma^2 - 4\beta\eta)$, 或 $\gamma^2 > \beta\eta, k(\gamma^2 - 4\beta\eta) < \beta^2\eta v z < 2k(\gamma^2 - 4\beta\eta)$ 时, $p^{M^*} < p^{R^*}$ 。证毕

推论 5 两种 Nash 均衡模型下,最优产品的回收率大小关系为: 当 $-\sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}} \leq \gamma \leq \sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}}$ 时, $\tau^{M^*} \leq \tau^{R^*}$ 。

证明

$$\tau^{M^*} - \tau^{R^*} = \frac{(d-z)\beta\eta(c\beta - \alpha)}{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k} - \frac{\beta\eta(d-z)(\alpha - c\beta)}{2\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k}, \text{ 已知 } (d-z)\beta\eta(\alpha - \beta c) > 0,$$

比较分母大小, 得:

$$2\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k - (\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k) = \eta(d-z)(d-v)\beta^2 < 0,$$

则当 $\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2k \geq 0$ 时, $\tau^{M^*} \leq \tau^{R^*}$ 。证毕

推论 5 表明消费者绿色偏好对两种 Nash 均衡模型下回收率的影响受到第三方回收努力程度、消费者价格敏感系数、残值、转移支付等因素的影响, 这些因素共同作用, 改变回收率大小。当满足一定条件时, 制造商与第三方均衡模型的回收率大于零售商与第三方均衡模型的回收率, 此时第三方回收商倾向于与制造商联盟获得更高的回收率。

推论 6 集中决策闭环供应链的最优利润随着消费者绿色偏好的增加而增加。即当

$$-\sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}} \leq \gamma \leq \sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}}$$

时, Nash 均衡下制造商、零售商、第三方回收商的最优利润随着消费者绿色偏好的增加而增加。

证明

$$\frac{\partial \Pi^{s^*}}{\partial \gamma} = \frac{4\eta k^2 \gamma (\beta c - \alpha)^2}{(-\eta(v-z)^2\beta^2 + 4\beta\eta k - 2\gamma^2k^2)^2} > 0,$$

$$\frac{\delta \Pi m^R}{\delta \gamma} = \frac{4\eta k^2 \gamma (\beta c - \alpha)^2}{(2\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2 k^2)^2} > 0,$$
$$\frac{\delta \Pi m^M}{\delta \gamma} = \frac{4(\eta(d-z)(d-v)\beta^2 - 8\beta\eta k + 2\gamma^2 k)k^2 \eta \gamma (\beta c - \alpha)^2}{(\eta(v-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k - 2\gamma^2 k)^3}.$$

若令 $\frac{\delta \Pi m^M}{\delta \gamma} > 0$, 则 $-\sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}} \leq \gamma \leq \sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}}$, 同理可得, 在 Nash 均衡模型中, 零售商、第三方回收商最优利润随着消费者绿色偏好 γ 的增加而增加。证毕

推论 5、推论 6 表明集中决策下闭环供应链的最优利润随着消费者绿色偏好的增加而增加; Nash 均衡决策满足 $-\sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}} \leq \gamma \leq \sqrt{\frac{\eta(d-z)(d-v)\beta^2 + 8\beta\eta k}{2k}}$ 时, 最优利润随着消费者绿色偏好的增加而增加。这说明消费者绿色偏好在 3 种渠道权力结构下都会增加对应最优利润。

4 数值算例

为进一步直观验证模型的有效性及其合理性, 研究消费者绿色偏好对不同渠道权力结构下各参与者以及供应链之间的影响, 本节采用管理科学研究常用工具 Maple 对数值算例进行分析。参考文献[12], 根据实际情况做适当变动, 参数均满足假设。相关参数赋值如表 2 所示。所得结果见图 5~图 8。

表 2 相关参数赋值情况
Tab. 2 Related parameter assignment

参数	c	α	β	η	d	k	v	z
赋值	10	1 000	0.2	0.01	3.5	2	6	0.5

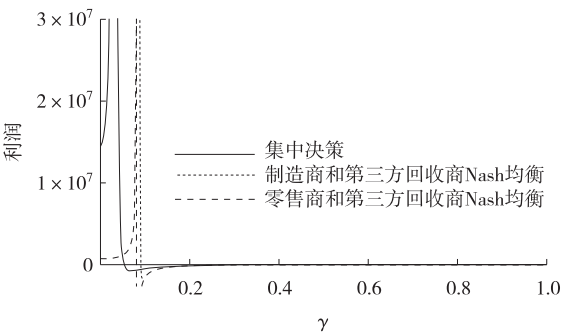


图 5 不同渠道权力结构下制造商利润的比较
Fig. 5 Comparison of manufacturer's profit under different channel power structure

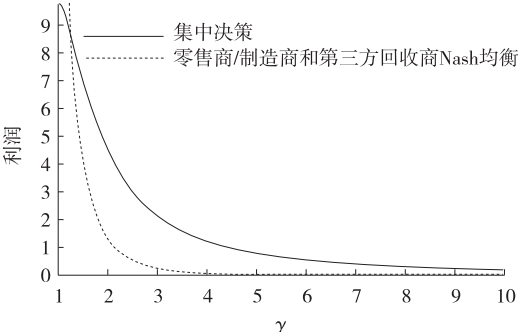


图 6 不同渠道权力结构下零售商利润的比较
Fig. 6 Comparison of retailer profit under different channel power structure

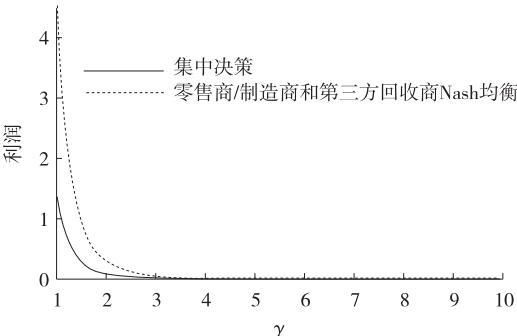


图 7 不同渠道权力结构下第三方回收商利润的比较
Fig. 7 Comparison of profits of third-party recyclers under different channel power structures

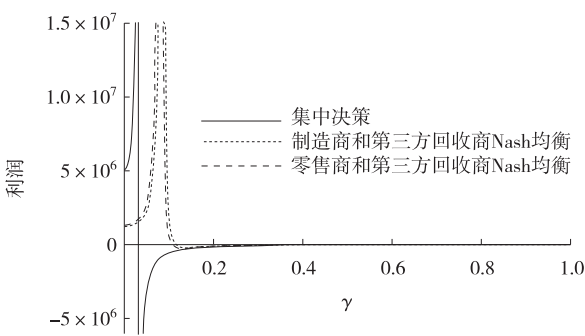


图 8 不同渠道权力结构下闭环供应链的总体利润的比较
Fig. 8 Comparison of total profit of closed-loop supply chain under different channel power structure

通过图 5 可以观察到,消费者绿色在集中决策模型中存在一个极限区域。在极限区域左侧,制造商利润随着消费者绿色偏好的增加而增加;在极限区域右侧,制造商利润随着消费者绿色偏好的增加,先减少,到达最低值后再缓慢趋向于 0。消费者绿色偏好参数在制造商和第三方回收商 Nash 均衡模型以及零售商和第三方回收商 Nash 均衡模型中都存在一个相同的渐进线,在渐进线左侧,制造商利润为正且随着消费者绿色偏好的增加而增加;在渐进线右侧,制造商利润为负且随着消费者绿色偏好的增加而增加,最终无限趋向于 0。这意味着在不同渠道权力结构下,制造商对于消费者绿色偏好参数存在偏好倾向。

通过图 6 可以观察到,零售商的利润在不同渠道权力结构下都随着消费者绿色偏好的增加而减少,零售商与第三方回收商 Nash 均衡模型下零售商利润受消费者绿色偏好的影响程度和制造商与第三方回收商 Nash 均衡模型下零售商利润受消费者绿色偏好的影响程度大小相当。零售商与第三方回收商 Nash 均衡模型以及制造商与第三方回收商 Nash 均衡模型下零售商利润受消费者绿色偏好的影响大于集中决策下零售商利润受消费者绿色偏好的影响。

通过图 7 可以观察到,第三方回收商的利润在不同渠道权力结构下都随着消费者绿色偏好的增加而减少,零售商与第三方回收商 Nash 均衡模型下第三方回收商利润受消费者绿色偏好的影响程度和制造商与第三方回收商 Nash 均衡模型下受消费者绿色偏好的影响程度大小相同。零售商与第三方回收商 Nash 均衡模型以及制造商与第三方回收商 Nash 均衡模型下第三方回收商利润受消费者绿色偏好的影响大于集中决策下零售商受消费者绿色偏好的影响。第三方回收商利润受消费者绿色偏好的影响小于同渠道权力结构下零售商利润受消费者绿色偏好的影响。

通过图 8 可以观察到,集中决策闭环供应链整体利润在渐进线两侧随消费者绿色偏好的增加而增加,左侧为正值,右侧为负值。零售商与第三方回收商 Nash 均衡模型以及制造商与第三方回收商 Nash 均衡模型下闭环供应链整体利润受消费者绿色偏好影响呈现相似的变化,都是在一定范围内先随消费者绿色偏好的增加而增加,超出该范围就随着消费者绿色偏好的增加而减少,且制造商与第三方回收商 Nash 均衡模型下闭环供应链整体利润受消费者绿色偏好影响程度更大。这意味着当市场受消费者绿色偏好影响时,第三方回收商倾向于选择与制造商联盟,实现 Nash 均衡。

5 结语

在单一制造商、单一零售商和单一第三方回收商构成的闭环供应链中,考虑消费者绿色偏好影响,研究 3 种不同的渠道权力结构下各权力主体有效的决策行为。构建了制造商、零售商和第三方回收商集中决策模型、制造商和第三方回收商 Nash 均衡博弈模型、零售商和第三方回收商 Nash 均衡博弈,通过模型之间的对比以及案例分析,得到如下结论:

1) 在消费者绿色偏好影响下,集中决策下产品绿色度最高,制造商与第三方均衡下的绿色度高于零售商与第三方均衡下的绿色度。即出于绿色度考虑,供应链参与者选择集中决策效果最优,当集中决策不能实现时,第三方回收商更愿意和制造商形成联盟。

2) 消费者绿色偏好对 3 种渠道权力结构下的绿色度、零售价格和回收率产生影响。不同渠道权力结构下的绿色度和零售价格都随着消费者绿色偏好的增加而增加;集中决策下回收率随着消费者绿色偏好的增加而增加,制造商和第三方回收商 Nash 均衡下回收率随着消费者绿色偏好的增加而减少,零售商和第三方回收商 Nash 均衡下回收率与消费者绿色偏好无关。两种 Nash 均衡的最优回收率和最优零售价都受到消费者价格敏感系数、第三方回收努力系数、残值、废旧产品回收价格和制造商研发努力系数的影响。

3) 消费者绿色偏好存在的情况下,不同权利主体的状态为:对制造商来说,制造商对供应链整体利润的影响力最大,当市场的消费者绿色偏好没有或较低时,制造商倾向于集中决策;当消费者绿色偏好存在一定影响力时,制造商倾向于选择与第三方回收商 Nash 均衡。对零售商来说,选择哪种 Nash 均衡模型不影响自身利润。对第三方回收商来说,Nash 均衡模型获得的利润空间大于集中决策模型。

本研究可以从以下几个方面进行扩展:1) 考虑信息不对称带来的影响;2) 考虑市场存在更多的竞争者,如零售商或第三方回收商之间存在竞争的情况;3) 渠道权力的拓展,考虑网络直销和网络回收的情形。

参考文献:

- [1] 黄祖庆,达庆利. 直线型再制造供应链决策结构的效率分析[J]. 管理科学学报, 2006, 9(4): 51-57.
HUANG Z Q, DA Q L. Study on efficiency of serial supply chains with remanufacture[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(4): 51-57.
- [2] 刘文杰,沈宁宁,张璟,等. 考虑渠道权力结构和产品双重差异的再制造闭环供应链最优定价决策[J]. 工业工程, 2018, 21(6): 54-63.
LIU W J, SHEN N N, ZHANG J, et al. Optimal pricing for remanufacturing closed-loop supply chain under different of channel power structure and product dual differentiation[J]. Industrial Engineering Journal, 2018, 21(6): 54-63.
- [3] 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 Journal of Management Science, 2011, 19(5): 29-36.
- [4] GAO J H, HAN H S, HOU L T, et al. Pricing and effort decisions in a closed-loop supply chain under different channel power structures[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112(3): 2043-2057.
- [5] 聂佳佳. 渠道结构对第三方负责回收闭环供应链的影响[J]. 管理工程学报, 2012, 26(3): 151-158.
NIE J J. The effect of channel structures on third-party collecting closed-loop supply chain[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2012, 26(3): 151-158.
- [6] SAVASKAN R C, BHATTACHARYA S, VAN WASSENHOVE L N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-252.
- [7] CHOI T M, LI Y J, XU L. Channel leadership, performance and coordination in closed loop supply chains[J]. International Journal of Production Economics, 2013, 146(1): 371-380.
- [8] 闻卉,郑本荣,曹晓刚,等. 不同渠道权力结构下的双渠道闭环供应链定价与协调决策[J]. 运筹与管理, 2020, 29(6): 65-74.
WEN H, ZHENG B R, CAO X G, et al. Pricing and coordination of dual-channel closed-loop supply chain with different channel power structure[J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29(6): 65-74.
- [9] 尚春燕,关志民,米力阳. 考虑双重消费偏好的绿色供应链政府补贴策略分析[J]. 系统工程, 2020, 38(5): 93-102.
SHANG C Y, GUAN Z M, MI L Y. Analysis of government subsidy strategy for green supply chain considering dual consumption preference[J]. Systems Engineering, 2020, 38(5): 93-102.
- [10] 吕宝龙,张桂涛,刘阳,等. 考虑碳税和产品绿色度的闭环供应链网络 Nash 博弈均衡模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 59-69.
LÜ B L, ZHANG G T, LIU Y, et al. Nash game equilibrium model of the closed-loop supply chain network considering carbon tax mechanism and product green degree[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(1): 59-69.
- [11] 曾蔚,马北玲,汪继,等. 考虑消费者绿色偏好的闭环供应链决策研究[J]. 软科学, 2018, 32(9): 108-113.
ZENG W, MA B L, WANG J, et al. Research on decision of the closed-loop supply chain based on consumer's green preference[J]. Soft Science, 2018, 32(9): 108-113.
- [12] 梁喜,魏承莉. 考虑社会责任和消费者绿色偏好的双渠道闭环供应链决策及协调[J/OL]. 控制工程. (2020-06-15)[2021-01-15]. <https://doi.org/10.14107/j.cnki.kzgc.20190035>.
LIANG X, WEI C L. Decision making and coordination of dual channel closed-loop supply chain considering social responsibility and consumer green preference[J/OL]. (2020-06-15)[2021-01-15]. Control Engineering of China. <https://doi.org/10.14107/j.cnki.kzgc.20190035>.
- [13] WANG Y, HOU G S. A duopoly game with heterogeneous green supply chains in optimal price and market stability with consumer green preference[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 255: 120161.
- [14] ZHANG X, YOUSAF H M A U. Green supply chain coordination considering government intervention, green investment, and customer green preferences in the petroleum industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 246: 118984.
- [15] FLYNN B B, ZHAO X, HUO B, et al. We've got the power! How customer power affects supply chain relationships[J]. Business Horizons, 2008, 51(3): 169-174.
- [16] 黄祖庆,蒋连杰,孟丽君. 供应链竞争下考虑消费者偏好的最优决策机制研究[J]. 工业工程与管理, 2020, 25(6): 71-79.
HUANG Z Q, JIANG L J, MENG L J. Optimal decision-making mechanism considering consumer preference based on supply chain competition[J]. Industrial Engineering and Management, 2020, 25(6): 71-79.
- [17] 张焕勇,张震. 绿色消费者规模对闭环供应链成员定价决策的影响[J]. 产经评论, 2019, 10(6): 46-57.

ZHANG H Y, ZHANG Z. The impact of green consumer scale on pricing decision of closed-loop supply chain members[J]. Industrial Economic Review, 2019, 10(6): 46-57.

- [18] ZHANG S Z, YU Y M, ZHU Q H, et al. Green innovation mode under carbon tax and innovation subsidy: an evolutionary game analysis for portfolio policies[J]. Sustainability, 2020, 12(4): 1385.

Operations Research and Cybernetics

Decision Optimization of Closed-Loop Supply Chain and Considering Channel Power Structure and Green Preference

XING Guangjun^{1,2}, YANG chongqing^{1,2}

- (1. Modern Information Service Decision and Consulting Research Institute, Nanjing University of Posts and Telecommunications;
2. School of Management, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: [Purposes] Considering the influence of consumers' green preference, the decision-making model of closed-loop supply chain is studied under different channel power structures. [Methods] In a closed-loop supply chain composed of a single manufacturer, a single retailer and a single third-party recycler, considering the influence of green preferences, a centralized decision-making model is constructed for retailers, manufacturers and third-party recyclers, a Nash equilibrium model for retailers and third-party recyclers, and a Nash equilibrium model for manufacturers and third-party recyclers, using Nash game, Stackelberg game and optimization. The optimal decision of closed-loop supply chain is analyzed and compared under different channel power structure and the influence of green preference on the optimal decision. [Findings] The results show that: the optimal profit of closed-loop supply chain with centralized decision-making increases with the increase of consumers' green preference; the profit of each right subject in the two Nash equilibrium model under the leadership of manufacturer increases with the increase of consumers' green preference; the green degree and price under each power structure increase with the increase of consumers' green preference. [Conclusions] The main results extend the previous research results and help supply chain participants to make decisions.

Keywords: closed-loop supply chain; channel power structure; green preference; Nash game

(责任编辑 黄 颖)