

控制与决策

Control and Decision

竞争回收下制造商的回收定价与合作策略

王勇, 蒋琼, 刘名武, 刘永

引用本文:

王勇, 蒋琼, 刘名武, 刘永. 竞争回收下制造商的回收定价与合作策略[J]. *控制与决策*, 2023, 38(9): 2681–2690.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2021.2276>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

信息非对称下考虑制造商回收行为的闭环供应链协调

Coordination of closed supply chain under asymmetric information considering manufacturer's recycling behavior

控制与决策. 2021, 36(7): 1723–1731 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1657>

考虑成员企业风险态度的制造商资金约束闭环供应链定价与回收决策

Pricing and recycling decisions of a closed-loop supply chain considering participators' risk attitudes and manufacturer capital constraint

控制与决策. 2021, 36(5): 1239–1248 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1305>

政府补贴和增值税退税政策的闭环供应链决策

Closed-loop supply chain decisions under government subsidies and VAT rebates

控制与决策. 2021, 36(11): 2771–2782 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0356>

风险规避制造商市场入侵策略

Market encroachment strategy of risk-averse manufacturer

控制与决策. 2021, 36(10): 2528–2536 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1819>

考虑Showrooms效应的供应链定价与渠道模式策略

Strategies of pricing and channel mode in a supply chain considering Showrooms effect

控制与决策. 2021, 36(12): 2891–2900 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0877>

竞争回收下制造商的回收定价与合作策略

王 勇[†], 蒋 琼, 刘名武, 刘 永

(重庆交通大学 经济与管理学院, 重庆 400074)

摘要: 针对传统人工回收和智能回收在回收方式上的差异, 考虑消费者对智能回收渠道的选择偏好, 分别构建单一传统回收、单一智能回收、双回收渠道下分散决策和集中决策模型, 以及制造商分别与传统回收商和智能回收商合作的决策模型, 分析了竞争回收下制造商的回收定价与回收合作策略. 研究表明: 相对于单一回收渠道, 双回收渠道竞争会促使传统回收商和智能回收商提高回收价, 但会降低回收商的利润; 与单一回收渠道相比, 双回收渠道下制造商、零售商和供应链的利润会增加, 而制造商与回收商合作可进一步提高制造商、零售商和供应链的利润; 以双回收渠道分散决策为参照, 制造商与传统回收商和智能回收商之间均有合作动机, 且制造商与传统回收商合作后的增量利润较大, 制造商与智能回收商合作后的增量利润较小.

关键词: 制造商; 传统人工回收; 智能回收; 消费者回收偏好; 回收定价; 回收合作策略

中图分类号: F724 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyj.2021.2276

引用格式: 王勇, 蒋琼, 刘名武, 等. 竞争回收下制造商的回收定价与合作策略研究[J]. 控制与决策, 2023, 38(9): 2681-2690.

Manufacturer's recycling pricing and cooperation strategies under competitive recycling

WANG Yong[†], JIANG Qiong, LIU Ming-wu, LIU Yong

(School of Economics & Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: As the difference in recycling methods between traditional manual recycling and smart recycling, considering consumers' preference for smart recycling channels, this study establishes a single traditional recycling model, a single smart recycling model, the centralized and the decentralized decision models under dual recycling channels, as well as the decision-making models of the manufacturer cooperating with the traditional recycler and the smart recycler respectively, and analyzes the recycling pricing and cooperation strategies of the manufacturer in competitive recycling. The results show that: compared with a single recycling channel, the recycling prices of the traditional recycler and the smart recycler are increased in dual recycling channels, while the profits of the traditional recycler and the smart recycler are reduced. Besides, the total profits of the manufacturer, the retailer, and the supply chain are increased under dual recycling channels. The overall profits of the manufacturer, the retailer, and the supply chain can be further improved with the manufacturer's cooperation strategy. The manufacturer has incentives to cooperate with the traditional recycler and the smart recycler. Moreover, the incremental profit after the manufacturer cooperates with the traditional recycler is larger, and the incremental profit after the manufacturer cooperates with the smart recycler is smaller.

Keywords: manufacturer; traditional manual recycling; smart recycling; consumer recycling preference; recycling pricing decisions; recycling cooperation strategies

0 引言

如何合理化、规范化回收与处理废旧产品, 提高产品回收利用率是当前回收活动中面临的一个难题. 近年来, 国家也出台了相关政策意见以鼓励实施

规范化和智能化回收, 如2020年11月27日, 住房和城乡建设部等部门印发了《关于进一步推进生活垃圾分类工作的若干意见》, 力争用5年左右时间使全国城市生活垃圾回收利用率达35%以上. 与此同时,

收稿日期: 2021-12-29; 录用日期: 2022-04-15.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71871035); 重庆市教委人文社科基金重点项目(20SKGH079); 重庆市教委科学技术研究重点项目(KJZD-K202000702); 重庆市留学创新项目(cx2021038); 重庆市研究生导师团队建设(JDDSTD2019008); 巴渝学者项目(YS2021058); 重庆交通大学研究生科研创新项目(2020B0007).

责任编辑: 梁樑.

[†]通讯作者. E-mail: yongwx@cqjtu.edu.cn.

我国再生资源行业也涌现出一大批“互联网+回收”的企业,如小黄狗智能垃圾分类回收等,相关企业数量从2015年的2.5万家增长至2019年的11.3万家。然而,众多新兴回收企业的进入必然会造成回收市场激烈的竞争,特别是对原有传统人工站点回收、小作坊回收。区别于传统人工站点回收,智能回收箱回收在回收方式上存在差异,致使传统回收与智能回收在回收运营上的成本投入不一。消费者对两种回收方式的接受与选择也会存在差别。回收企业的增加提高了产品回收率,但面对不同竞争回收者,制造商作为回收再制造的主导者,如何确定合理的回收定价以及采取何种回收合作策略,以减少回收者之间的冲突是制造商需解决的问题。同时,面对激烈的市场竞争,智能回收商与传统回收商之间该如何决策回收定价、寻求市场竞争优势值得探讨。基于以上背景,考虑消费者对智能回收渠道的偏好,分析竞争回收下制造商的回收定价与回收合作策略具有一定的理论价值和现实意义。

关于竞争回收渠道的研究主要集中在制造商、零售商、第三方或再制造商两两组合的竞争回收。如:Giri等^[1]分析了制造商通过网络渠道与第三方同时参与产品回收时制造商的回收定价决策和最优联盟策略选择;Wang等^[2]探讨了再制造商分别与制造商和零售商同时回收下制造商的定价策略和回收渠道配置问题;Giri等^[3]讨论了制造商通过自建网络回收渠道和传统回收者共同回收下的回收决策问题;Wei等^[4]探究了在零售商、第三方和再制造商两两组合回收下再制造商的最优定价和最大化利润决策;路应金等^[5]构建了由零售商和第三方组成的双回收渠道决策模型,以分析第三方规模经济效应强弱对供应链渠道结构决策的影响;丁杨科等^[6]研究了垄断回收与竞争回收两种不同回收模式下回收商和制造商的最优决策问题;公彦德等^[7]研究了由零售商、第三方和再制造商不同回收组合下供应链各成员的最优定价、回收率和最优利润决策问题。

关于回收合作的相关研究:Jian等^[8]考虑第三方物流和网络零售商共同合作,提出通过成本分摊机制来促进回收;Wei等^[9]分析了在两个竞争回收者共同回收下制造商的整合策略对供应链成员利润的影响;Wu等^[10]考虑回收中心通过自建网络回收渠道与第三方回收商合作回收,并采取收益共享契约以分配合作后的利润;郑本荣等^[11]研究了在制造商与第三方同时参与回收下回收渠道竞争对制造商最优联盟策略选择的影响;石纯来等^[12]探讨了在第三方负责

回收旧产品情形下规模不经济对制造商合作策略的影响;黄宗盛等^[13]考虑仅由零售商负责回收,构建了制造商成本分担和任务分担两种回收合作博弈模型以探讨回收合作模式选择问题;肖敏等^[14]考虑由回收商开展回收活动,分析产能约束条件下回收率奖惩机制对制造商合作策略的影响。

关于消费者回收行为的研究:Feng等^[15]考虑消费者对线上回收渠道的偏好,分析了回收经销商通过自建网络回收渠道和回收者共同回收下的最优决策问题;Wang^[16]等探讨了消费者回收渠道偏好对制造商、零售商和第三方不同回收组合下最优价格和利润决策的影响;Hu等^[17]研究了在制造商和回收者共同参与回收下消费者策略性回收行为对制造商和回收者合作的影响;He等^[18]考虑消费者对制造商提供的网络回收渠道感到不便,分析了制造商和零售商共同回收下最优回收投资和回收率决策问题;许民利等^[19]从消费者对传统回收渠道和网络回收渠道的态度出发,探究了制造商、传统回收商和网络回收商对再生资源回收策略问题;许民利等^[20]考虑消费者环保意识,构建了不同双回收渠道模型以分析竞争与合作下供应链决策问题。

上述竞争回收研究主要涉及制造商、零售商或第三方组合的纵向竞争回收,而对于制造商存在传统回收与智能回收组成的横向竞争回收还有待分析。其次,虽有部分文献探究了制造商回收合作,但更多关注于制造商单一回收渠道下的合作问题。尽管有少部分文献探讨了制造商双回收渠道下合作决策,但主要涉及制造商与第三方共同回收,对于制造商在横向竞争回收下的合作分析则较少。此外,在竞争回收下考虑消费者回收渠道偏好还有待进一步分析。鉴于此,本文通过构建单一传统回收、单一智能回收以及双回收渠道分散决策和集中决策模型,并分别构建制造商与传统回收商和智能回收商合作的决策模型,分析不同决策情形下供应链成员的最优决策,以期为制造商和回收商的回收定价和合作决策提供参考。

1 问题描述与模型假设

1.1 问题描述

在闭环供应链中,制造商利用原材料或旧产品进行产品生产,并将产品批发给零售商,零售商再销售给消费者。消费者将使用过的旧产品转卖给传统回收商或智能回收商以获得一定报酬。回收商将回收的旧产品转售给制造商以赚取回收收益。在博弈决策中,制造商为供应链领导者,零售商、传统回收商

和智能回收商为追随者. 本文构建了单一传统回收渠道、单一智能回收渠道、双回收渠道分散决策和集中决策模型以及制造商分别与传统回收商和智能回

收商合作的决策模型, 如图1所示. 其中: 图1(a)为双回收渠道分散决策, 图1(b)为制造商与传统回收商合作, 图1(c)为制造商与智能回收商合作.

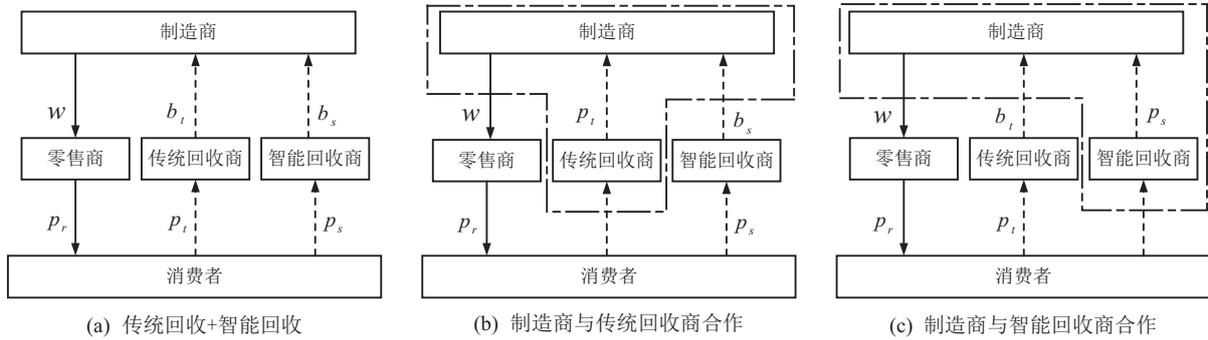


图1 制造商不同回收决策情形

1.2 模型假设

在不失一般性前提下, 本文做出如下假设:

假设1 假设制造商使用原材料生产产品的成本为 c_m , 使用旧产品的再制造成本为 c_r , 制造商再制造节约成本为 $\Delta = c_m - c_r$. 为保证制造商参与旧产品再制造活动, 需满足条件 $\Delta > 0$, 即产品再制造的单位成本小于生产新产品的单位成本.

假设2 参照文献[21], 考虑传统回收与智能回收在回收活动中回收者所投入的回收成本存在差异, 假设传统回收商所付出的回收成本低于智能回收商所付出的成本, 即 $c_s > c_t$, 且满足 $0 < c_t < c_s < 1$.

假设3 参照文献[1,18], 假设消费者选择传统回收所付出的回收成本高于智能回收, 即 $e_t > e_s$, 且满足 $0 < e_s < e_t < 1$.

假设4 假设消费者的回收成本与回收商的回收投资成本呈相反关系, 回收商回收投资越高, 消费者回收活动中感知越便利, 其回收成本越低, 即 $e_t = 1 - c_t, e_s = 1 - c_s$.

假设5 假设市场中消费者数量为1, 消费者对智能回收渠道的偏好为 θ , 且 $\theta \in (0, 1)$. 在文献[15-16, 19]基础上, 本文对消费者回收渠道偏好做进一步改进假设. 假设消费者选择传统回收所期望获得的收益为 v , 则选择智能回收期望获得的收益为 $(2 - \theta)v$. 其中: $v \sim U(0, 1)$, 密度函数为 $f(v)$.

1.3 回收函数构建

1.3.1 单一回收渠道情形

根据分析, 消费者选择传统回收的效用为 $U_t(v) = p_t - v - e_t$, 消费者选择智能回收的效用为 $U_s(v) = p_s - (2 - \theta)v - e_s$. 单一传统回收渠道下, 传统回收商的回收率为 $\tau_t = \int_0^{p_t - e_t} dv = p_t - e_t$, 其中 $0 \leq p_t \leq 1$. 同理, 单一智能回收渠道下, 智能回收商的回收率

为 $\tau_s = \int_0^{p_s - e_s} dv = p_s - e_s$, 其中 $0 \leq p_s \leq 1$.

文中模型相关符号与含义说明如表1所示.

表1 相关参数定义

参数	符号定义
w	产品批发价格
a	产品市场潜在需求
β	需求对价格的弹性系数
p_r	产品零售价格
D_r	市场总需求 $D_r = a - \beta p_r$
c_m	制造商使用原材料生产产品的单位成本
c_r	制造商使用回收旧材料生产产品的单位成本
Δ	再制造产品的节省成本
b_i	制造商给回收商的单位转移价格
p_i	回收商给消费者回收旧产品的单位回收价
v	消费者选择传统回收的期望收益
θ	消费者对智能回收渠道的偏好
c_i	回收商的单位回收成本
e_i	消费者回收过程中所需要付出的时间、运输、劳动力等回收成本
τ_i	回收商的回收率
μ_i^j	合作后利润分配系数
Π_i^j	供应链中各成员的利润. 其中: $i = m, r, t, s, c$, 分别为制造商、零售商、传统回收商、智能回收商和供应链; $j = MT, MS, TS, MC, CT, CS$, 分别为不同决策情形: 单一传统回收、单一智能回收、双回收渠道分散决策、双回收渠道集中决策、制造商与传统回收商合作、制造商与智能回收商合作

1.3.2 传统回收和智能回收共同回收情形

根据分析, 当消费者对选择传统回收和智能回收无差异时, 有 $U_t(v) = U_s(v)$, 得到 $v = \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}$. 若消费者的回收期望效用满足 $U_t(v) > U_s(v)$, 且 $U_t(v) > 0$, 则消费者选择传统回收渠道, 得到 $\frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta} < v < p_t - e_t$, 记 $v \in \left(\frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}, p_t - e_t \right)$, 此时, 传统回收渠道回收率为

$$\tau_t = \int_{\frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}}^{p_t - e_t} f(v)dv = p_t - e_t + \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}.$$

若消费者的回收期望效用满足 $U_t(v) < U_s(v)$, 且 $U_s(v) > 0$, 则有

$$v < \min \left\{ \frac{p_s - e_s}{2 - \theta}, \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta} \right\} = \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}.$$

所以当消费者对传统回收的期望价值为 $v \in \left(0, \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta} \right)$ 时, 消费者选择智能回收渠道, 此时, 智能回收渠道的回收率为

$$\tau_s = \int_0^{\frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}} f(v)dv = \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}.$$

根据上文分析, 有

$$\tau_t = \begin{cases} p_t - e_t + \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}, & p_t - e_t > \frac{p_s - e_s}{2 - \theta}; \\ 0, & p_t - e_t \leq \frac{p_s - e_s}{2 - \theta}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\tau_s = \begin{cases} \frac{p_s - p_t + e_t - e_s}{1 - \theta}, & p_t - e_t > \frac{p_s - e_s}{2 - \theta}; \\ \frac{p_s - e_s}{2 - \theta}, & p_t - e_t \leq \frac{p_s - e_s}{2 - \theta}. \end{cases} \quad (2)$$

此处考虑传统回收与智能回收共同回收, 因 $e_t = 1 - c_t, e_s = 1 - c_s$, 故有

$$\tau_s = \frac{p_s - p_t + c_t - c_s}{1 - \theta},$$

$$\tau_t = p_t + c_t - 1 + \frac{p_s - p_t + c_t - c_s}{1 - \theta}.$$

2 模型建立与求解

2.1 单一传统回收渠道决策

该决策情形下, 制造商、零售商和传统回收商的利润函数分别为

$$\max_{(w, b_t)} \Pi_m^{MT} = (w - c_m)D_r + (\Delta - b_t)\tau_t D_r, \quad (3)$$

$$\max_{p_r} \Pi_r^{MT} = (p_r - w)D_r, \quad (4)$$

$$\max_{p_t} \Pi_t^{MT} = (b_t - p_t - c_t)\tau_t D_r. \quad (5)$$

运用逆向归纳法求解, 得到制造商批发价和转移定价为

$$b_t^{MT*} = \frac{\Delta + 1}{2},$$

$$w^{MT*} = \frac{(-(\Delta - 1)^2 + 8c_m)\beta + 8a}{16\beta}.$$

传统回收商的回收价和回收率为

$$p_t^{MT*} = \frac{\Delta - 4c_t + 3}{4}, \quad \tau_t^{MT*} = \frac{\Delta - 1}{4}.$$

传统回收商和制造商的利润分别为

$$\Pi_t^{MT*} = \frac{(((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\beta + 8a)(\Delta - 1)^2}{64},$$

$$\Pi_m^{MT*} = \frac{(((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\beta + 8a)^2}{512\beta}.$$

2.2 单一智能回收渠道决策

该决策情形下, 制造商、零售商和智能回收商的利润函数分别为

$$\max_{(w, b_s)} \Pi_m^{MS} = (w - c_m)D_r + (\Delta - b_s)\tau_s D_r, \quad (6)$$

$$\max_{p_r} \Pi_r^{MS} = (p_r - w)D_r, \quad (7)$$

$$\max_{p_s} \Pi_s^{MS} = (b_s - p_s - c_s)\tau_s D_r. \quad (8)$$

运用逆向归纳法求解, 可得该决策下制造商的批发定价与回收转移定价分别为

$$w^{MS*} = \frac{(-(\Delta - 1)^2 + 8c_m)\beta + 8a}{16\beta},$$

$$b_s^{MS*} = \frac{\Delta + 1}{2}.$$

智能回收商的回收价格与回收率分别为

$$p_s^{MS*} = \frac{\Delta - 4c_s + 3}{4}, \quad \tau_s^{MS*} = \frac{\Delta - 1}{4}.$$

智能回收商和制造商的利润分别为

$$\Pi_s^{MS*} = \frac{(((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\beta + 8a)(\Delta - 1)^2}{64},$$

$$\Pi_m^{MS*} = \frac{(((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\beta + 8a)^2}{512\beta}.$$

2.3 双回收渠道分散决策

该决策情形下, 制造商、零售商、传统回收商和智能回收商的利润函数分别为

$$\max_{(w, b_t, b_s)} \Pi_m^{TS} = (w - c_m)D_r + (\Delta - b_t)\tau_t D_r + (\Delta - b_s)\tau_s D_r, \quad (9)$$

$$\max_{p_r} \Pi_r^{TS} = (p_r - w)D_r, \quad (10)$$

$$\max_{p_t} \Pi_t^{TS} = (b_t - p_t - c_t)\tau_t D_r, \quad (11)$$

$$\max_{p_s} \Pi_s^{TS} = (b_s - p_s - c_s)\tau_s D_r. \quad (12)$$

运用逆向归纳法求解, 得到该决策下制造商的回收转移定价与批发定价分别为

$$b_s^{TS*} = \frac{\Delta + 1}{2},$$

$$w^{TS*} = \frac{(2(8c_m - (\Delta - 1)^2)\theta + 5(\Delta - 1)^2 - 28c_m)\beta + 4a(4\theta - 7)}{8\beta(4\theta - 7)}.$$

传统回收商和智能回收商的回收价分别为

$$p_t^{TS*} = \frac{(\theta - 2)(2(\Delta - 4c_t + 3)\theta - 5\Delta + 14c_t - 9)}{8\theta^2 - 30\theta + 28},$$

$$p_s^{TS*} = \frac{(3\Delta - 8c_s + 5)\theta - 6\Delta + 14c_s - 8}{8\theta - 14}.$$

传统回收商和智能回收商的回收率分别为

$$\tau_t^{TS*} = \frac{(\theta - 2)((\Delta + 1)\theta - 2\theta - \Delta + 1)}{4\theta^2 - 11\theta + 7},$$

$$\tau_s^{TS*} = \frac{(1 - \Delta)(\theta - 1)}{8\theta^2 - 22\theta + 14}.$$

传统回收商、智能回收商和制造商的利润分别为

$$\begin{aligned} \Pi_t^{TS*} &= (\theta - 1)(\theta - 2)(\Delta - 1)^2((2\theta((\Delta - 1)^2 - 8c_m) - 5(\Delta - 1)^2 + 28c_m)\beta + 4a(4\theta - 7))/(16(4\theta - 7)^3), \\ \Pi_s^{TS*} &= (1 - \theta)(\Delta - 1)^2((2\theta((\Delta - 1)^2 - 8c_m) + 28c_m - 5(\Delta - 1)^2)\beta + 4a(4\theta - 7))/(64(4\theta - 7)^3), \\ \Pi_m^{TS*} &= ((2((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta - 5(\Delta - 1)^2 + 28c_m)\beta + 4a(4\theta - 7))^2/(128\beta(4\theta - 7)^2). \end{aligned}$$

命题1 在双回收渠道分散决策中存在 $b_t^{TS*} = b_s^{TS*}$, $p_t^{TS*} > p_s^{TS*}$, $\tau_t^{TS*} > \tau_s^{TS*}$, $\Pi_t^{TS*} > \Pi_s^{TS*}$.

证明 $b_t^{TS*} - b_s^{TS*} = 0$, $\tau_t^{TS*} - \tau_s^{TS*} = (\theta - 1)(2\theta - 3)(\Delta - 1)/(8\theta^2 - 22\theta + 14) > 0$, $p_t^{TS*} - p_s^{TS*} = ((c_s - c_t)(8\theta - 14) + (\Delta - 1)(1 - \theta))/(8\theta - 14) > 0$, $\Pi_t^{TS*} - \Pi_s^{TS*} = (\theta - 1)(\Delta - 1)^2((2((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta - 5(\Delta - 1)^2 + 28c_m)\beta + 4a(4\theta - 7))/(64(4\theta - 7)^2) > 0$. □

命题1表明, 双回收渠道分散决策中, 传统回收商与智能回收商的转移价格相等, 传统回收商的回收价高于智能回收商, 且传统回收商的回收率和回收利润均高于智能回收商. 说明在竞争回收下, 传统回收商在回收价格上更具有优势, 较高的回收价格更能吸引消费者选择传统回收, 进而增加其回收量和回收利润. 然而, 对于智能回收商而言, 因其回收定价较低, 如果消费者对其接受与认可程度不高, 则将导致其回收量较低, 回收利润也低.

2.4 双回收渠道集中决策

该决策情形下供应链总利润函数为

$$\begin{aligned} \max_{(p_r, p_t, p_s)} \Pi_c^{MC} &= (p_r - c_m)D_r + (\Delta - p_t - c_t)\tau_t D_r + (\Delta - p_s - c_s)\tau_s D_r. \end{aligned} \quad (13)$$

对式(13)求 p_r 、 p_t 和 p_s 的一阶偏导并联立求解, 得到 p_t 、 p_s 和 p_r 最优解分别为

$$p_t^{MC*} = \frac{\Delta - c_t + 1}{2}, \quad p_s^{MC*} = \frac{\Delta - c_s + 1}{2},$$

$$p_r^{MC*} = \frac{4a + (-\Delta - 1)^2 + 4c_m)\beta}{8\beta}.$$

产品总需求、回收率和供应链总利润分别为

$$D_r^{MC*} = \frac{4a + ((\Delta - 1)^2 - 4c_m)\beta}{8}, \quad \tau_t^{MC*} = \frac{\Delta - 1}{2},$$

$$\tau_s^{MC*} = 0, \quad \Pi_c^{MC*} = \frac{(((\Delta - 1)^2 - 4c_m)\beta + 4a)^2}{64\beta}.$$

3 制造商合作策略

3.1 制造商与传统回收商合作

制造商与传统回收商合作下双方共同决策, 零售商和智能回收商各自决策, 该决策问题可转化为如下模型:

$$\begin{aligned} \max_{(w, b_s, p_t)} \Pi_{m+t}^{CT} &= (w - c_m)D_r + (\Delta - b_s)\tau_s D_r + (\Delta - p_t - c_t)\tau_t D_r, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\max_{p_r} \Pi_r^{CT} = (p_r - w)D_r, \quad (15)$$

$$\max_{p_s} \Pi_s^{CT} = (b_s - p_s - c_s)\tau_s D_r. \quad (16)$$

运用逆向归纳法求解, 得到该决策下产品批发定价、转移定价和回收定价分别为

$$w^{CT*} = \frac{(-(\Delta - 1)^2 + 4c_m)\beta + 4a}{8\beta},$$

$$b_s^{CT*} = \frac{\Delta - 1}{2}, \quad p_t^{CT*} = \frac{\Delta - 2c_t + 1}{2}.$$

将最优解代入上述各式中, 得到该决策下各项最优解分别为

$$\tau_s^{CT*} = 0, \quad \tau_t^{CT*} = \frac{\Delta - 1}{2},$$

$$p_s^{CT*} = \frac{\Delta - 2c_s + 1}{2}, \quad \Pi_s^{CT*} = 0,$$

$$\Pi_{m+t}^{CT*} = \frac{(((\Delta - 1)^2 - 4c_m)\beta + 4a)^2}{128\beta}.$$

命题2 制造商与传统回收商合作下存在 $p_t^{CT*} > p_s^{CT*}$, $\tau_t^{CT*} > \tau_s^{CT*}$.

证明 $p_t^{CT*} - p_s^{CT*} = c_s - c_t > 0$, $\tau_t^{CT*} - \tau_s^{CT*} = \frac{\Delta - 1}{2} > 0$. □

命题2表明, 当制造商与传统回收商合作时, 传统回收价格高于智能回收价格, 且传统回收商的回收率高于智能回收商, 甚至出现智能回收商的回收率为零. 这说明制造商一旦与传统回收商合作, 加上传统回收商的回收定价高于智能回收商, 更多消费者更愿意选择传统回收, 此时智能回收商将完全处于劣势, 甚至被排挤出市场.

命题3 制造商与传统回收商合作下, 有 $\Pi_{m+t}^{CT*} > \Pi_t^{TS*} + \Pi_m^{TS*}$, 且存在 μ_m 和 μ_t 使得

$$\mu_m \Pi_{m+t}^{CT*} > \Pi_m^{TS*}, \quad \mu_t \Pi_{m+t}^{CT*} > \Pi_t^{TS*}.$$

其中

$$\mu_m > \frac{(H_1)^2}{(4\theta - 7)^2(((\Delta - 1)^2 - 4c_m)\beta + 4a)^2},$$

$$\mu_t > \frac{8\beta H_1(\theta - 1)(\theta - 2)(\Delta - 1)^2}{(4\theta - 7)^3((\Delta - 1)^2 - 4c_m)\beta + 4a)^2},$$

$$H_1 = (2\theta((\Delta - 1)^2 - 8c_m) - 5(\Delta - 1)^2 + 28c_m)\beta + 4a(4\theta - 7).$$

证明 $\Pi_{m+t}^{CT*} - (\Pi_t^{TS*} + \Pi_m^{TS*}) = ((\theta - 1)(\Delta - 1)^2((8((\Delta - 1)^2 - 4c_m)\theta^2 + (-27(\Delta - 1)^2 + 104c_m)\theta + 22(\Delta - 1)^2 - 84c_m)\beta + 4a(8\theta^2 - 26\theta + 21)))/(32(4\theta - 7)^3) > 0$. □

命题3表明,制造商与传统回收商回收合作下,双方合作后的总利润大于两者在分散决策中利润之和,且存在 μ_m 和 μ_t 使得制造商和传统回收商的利润各自均高于合作之前的利润. 其中,制造商和传统回收商合作后的利润分成比例系数大小需根据双方议价能力来确定.

3.2 制造商与智能回收商合作

制造商与智能回收商合作下双方共同决策,零售商和传统回收商各自决策,该决策问题可转化为如下模型:

$$\max_{(w, b_t, p_s)} \Pi_{m+s}^{CS} = (w - c_m)D_r + (\Delta - b_t)\tau_t D_r + (\Delta - p_s - c_s)\tau_s D_r, \quad (17)$$

$$\max_{p_r} \Pi_r^{CS} = (p_r - w)D_r, \quad (18)$$

$$\max_{p_t} \Pi_t^{CS} = (b_t - p_t - c_t)\tau_t D_r. \quad (19)$$

运用逆向归纳法求解,得到该决策下制造商的批发定价、转移定价和回收定价分别为

$$w^{CS*} = \frac{8a(\theta - 2) + ((8c_m - (\Delta - 1)^2)\theta + 3(\Delta - 1)^2 - 16c_m)\beta}{16\beta(\theta - 2)},$$

$$b_t^{CS*} = \frac{\Delta - 1}{2}, p_s^{CS*} = \frac{\Delta - 2c_s + 1}{2}.$$

将最优解代入上述各式中,得到该决策下各项最优解分别为

$$p_t^{CS*} = \frac{(\Delta - 4c_t + 3)\theta - 3\Delta + 8c_t - 5}{4\theta - 8},$$

$$\tau_t^{CS*} = \frac{\Delta - 1}{4}, \tau_s^{CS*} = \frac{1 - \Delta}{4\theta - 8},$$

$$\Pi_t^{CS*} = (\theta - 1)(\Delta - 1)^2(((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta - 3(\Delta - 1)^2 + 16c_m)\beta + 8a(\theta - 2)/(512(\theta - 2)^2),$$

$$\Pi_{m+s}^{CS*} = (((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta - 3(\Delta - 1)^2 + 16c_m)\beta + 8a(\theta - 2)/(512\beta(\theta - 2)^2).$$

命题4 制造商与智能商回收合作下存在 $p_t^{CS*} > p_s^{CS*}, \tau_t^{CS*} > \tau_s^{CS*}$.

证明

$$\tau_t^{CS*} - \tau_s^{CS*} = \frac{(\theta - 1)(\Delta - 1)}{4\theta - 8} > 0,$$

$$p_t^{CS*} - p_s^{CS*} = \frac{(4(c_s - c_t) - \Delta + 1)\theta - 8(c_s - c_t) + \Delta - 1}{4\theta - 8} > 0.$$

命题得证. □

命题4表明,即使在制造商与智能回收商合作下,智能回收商提供的回收价格仍低于传统回收商,且智能回收商的回收率也始终低于传统回收商. 这是因为智能回收商主要应用智能回收箱进行回收,前期回收投入与日常运营成本较高,智能回收商只能降低回收价格,以减少成本支出. 即使制造商与智能回收商合作,其回收定价仍低于传统回收商,这也造成智能回收在价格上难以吸引消费者,回收量低.

命题5 制造商与智能回收商合作下,有 $\Pi_{m+s}^{CS*} > \Pi_s^{TS*} + \Pi_m^{TS*}$,且存在 μ_m 和 μ_s 使得 $\mu_m \Pi_{m+s}^{CS*} > \Pi_m^{TS*}, \mu_s \Pi_{m+s}^{CS*} > \Pi_s^{TS*}$. 其中

$$\mu_m > \frac{4(\theta - 2)^2(H_1)^2}{(4\theta - 7)^2(H_2)^2},$$

$$\mu_s > \frac{8\beta H_1(1 - \theta)(\theta - 2)^2(\Delta - 1)^2}{(4\theta - 7)^3(H_2)^2},$$

$$H_2 = (16c_m + ((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta - 3(\Delta - 1)^2)\beta + 8a(\theta - 2).$$

证明 $\Pi_{m+s}^{CS*} - (\Pi_s^{TS*} + \Pi_m^{TS*}) = (1 - \theta)(\Delta - 1)^2((16((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta^3 + (-100(\Delta - 1)^2 + 672c_m)\theta^2 + (199(\Delta - 1)^2 - 1168c_m)\theta - 127(\Delta - 1)^2 + 672c_m)\beta + 16a(\theta - 2)(4\theta - 7)(2\theta - 3))/(512(4\theta - 7)^3(\theta - 2)^2) > 0$. □

命题5表明,制造商与智能回收商合作下,双方合作后的总利润高于两者在分散决策中总利润之和,且存在 μ_m 和 μ_s 使得制造商和智能回收商各自的利润均高于合作之前的利润. 其中,制造商和智能回收商各自的利润分成比例系数大小需根据双方讨价还价的能力来确定.

4 不同回收决策间的对比分析

命题6 不同决策情形下,产品批发价、零售价和市场需求满足关系: $w^{MT*} = w^{MS*} > w^{TS*} > w^{CS*} > w^{CT*}, p_r^{MT*} = p_r^{MS*} > p_r^{TS*} > p_r^{CS*} > p_r^{CT*} > p_r^{MC*}, D_r^{MC*} > D_r^{CT*} > D_r^{CS*} > D_r^{TS*} > D_r^{MS*} = D_r^{MT*}$.

证明

$$w^{MS*} - w^{TS*} = \frac{3(\Delta - 1)^2}{112 - 64\theta} > 0,$$

$$w^{TS*} - w^{CS*} = \frac{(1 - \theta)(\Delta - 1)^2}{64\theta^2 - 240\theta + 224} > 0,$$

$$\begin{aligned}
 w^{CS*} - w^{CT*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)^2}{32-16\theta} > 0, \\
 p_r^{MS*} - p_r^{TS*} &= \frac{3(\Delta-1)^2}{224-128\theta} > 0, \\
 p_r^{TS*} - p_r^{CS*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)^2}{128\theta^2-480\theta+448} > 0, \\
 p_r^{CS*} - p_r^{CT*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)^2}{64-32\theta} > 0, \\
 p_r^{CT*} - p_r^{MC*} &= \frac{((\Delta-1)^2-4c_m)\beta+4a}{16\beta} > 0, \\
 D_r^{MC*} - D_r^{CT*} &= \frac{4a+((\Delta-1)^2-4c_m)\beta}{16} > 0, \\
 D_r^{CT*} - D_r^{CS*} &= \frac{\beta(1-\theta)(\Delta-1)^2}{64-32\theta} > 0, \\
 D_r^{CS*} - D_r^{TS*} &= \frac{\beta(1-\theta)(\Delta-1)^2}{128\theta^2-480\theta+448} > 0, \\
 D_r^{TS*} - D_r^{MS*} &= \frac{3\beta(\Delta-1)^2}{224-128\theta} > 0.
 \end{aligned}$$

命题得证. □

命题6表明, 单一传统回收和单一智能回收下, 产品批发价、零售价和市场需求均相等, 且单一回收渠道下产品批发价和零售价高于双回收渠道, 而市场需求低于双回收渠道分散决策. 同时, 制造商与回收商合作决策下, 产品批发价与零售价低于双回收渠道分散决策, 而市场需求高于双回收渠道分散决策. 此外, 与制造商和智能回收商合作相比, 制造商和传统回收商合作下产品批发价与零售价更低, 而市场需求更高. 这是因为再制造成本是制造商决策转移定价的主要依据, 双回收渠道增加了总回收量, 对减少生产成本和降低批发价与零售价有利, 能增加市场需求. 相对于分散决策, 制造商与回收商合作决策减少了决策中的双重边际化效应, 能够提高回收价格, 增进总回收量, 进而减少生产成本, 降低零售价格.

命题7 不同决策情形下制造商的转移定价满足关系: $b_t^{MT*} = b_t^{TS*} = b_t^{CT*}$, $b_s^{MS*} = b_s^{TS*} = b_s^{CS*}$, 且 $b_t^{MT*} = b_s^{MS*}$.

证明 $b_t^{MT*} - b_t^{TS*} = 0$, $b_s^{MS*} - b_s^{TS*} = 0$, $b_t^{MT*} - b_s^{MS*} = 0$. □

命题7表明, 不同决策情形下, 制造商决策给传统回收商和智能回收商的转移价格始终保持不变, 且两个回收商的转移价格相等. 说明在传统回收与智能回收竞争下, 制造商采取相同转移定价决策能实现自身利润最大化, 也能为两个回收商提供公平的转移价格机制, 减少制造商与回收商之间的冲突.

命题8 不同决策情形下传统回收商和智能回收商的回收定价满足关系: $p_t^{MC*} = p_t^{CT*} > p_t^{CS*} > p_t^{TS*} > p_t^{MT*}$, $p_s^{MC*} = p_s^{CT*} = p_s^{CS*} > p_s^{TS*} > p_s^{MT*}$.

证明

$$\begin{aligned}
 p_t^{CT*} - p_t^{CS*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)}{8-4\theta} > 0, \\
 p_t^{CS*} - p_t^{TS*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)}{16\theta^2-60\theta+56} > 0, \\
 p_t^{TS*} - p_t^{MT*} &= \frac{2(2-\theta)(\Delta-1)}{16\theta^2-60\theta+56} > 0, \\
 p_s^{CS*} - p_s^{TS*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)}{14-8\theta} > 0, \\
 p_s^{TS*} - p_s^{MS*} &= \frac{(5-2\theta)(\Delta-1)}{28-16\theta} > 0.
 \end{aligned}$$

命题得证. □

命题8表明, 单一回收渠道下, 传统回收定价与智能回收定价均低于双回收渠道分散决策, 且双回收渠道集中决策下传统回收定价和智能回收定价最高. 同时, 制造商与回收商合作下, 传统回收价和智能回收价均高于分散决策下的回收价, 且制造商与传统回收商合作时, 传统回收定价和智能回收定价与集中决策时的回收定价一致. 这是因为传统回收与智能回收的市场竞争, 迫使回收商提高回收价格, 使得双回收渠道下回收定价均高于单一回收渠道决策下的回收价. 此外, 因集中决策以整体利润最优为目的, 且减少了分散决策下成员只考虑各自边际效益, 使得集中决策下回收定价最高, 而制造商与回收商合作决策能减少制造商和回收商各自决策的边际化效应, 对提高回收定价有利.

命题9 不同决策情形下传统回收商、智能回收商和供应链的总回收率满足关系: $\tau_t^{MC*} = \tau_t^{CT*} > \tau_t^{TS*} > \tau_t^{CS*} = \tau_t^{MT*}$, $\tau_s^{MS*} = \tau_s^{CS*} > \tau_s^{TS*} > \tau_s^{CT*} = \tau_s^{MC*}$, $\tau_c^{MC*} = \tau_c^{CT*} > \tau_c^{CS*} > \tau_c^{TS*} > \tau_c^{MT*} = \tau_c^{MS*}$.

证明

$$\begin{aligned}
 \tau_t^{CT*} - \tau_t^{TS*} &= \frac{(1-\theta)(3-2\theta)(\Delta-1)}{8\theta^2-22\theta+14} > 0, \\
 \tau_t^{TS*} - \tau_t^{CS*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)}{16\theta^2-44\theta+28} > 0, \\
 \tau_s^{CS*} - \tau_s^{TS*} &= \frac{(1-\theta)(2\theta-3)(\Delta-1)}{16\theta^3-76\theta^2+116\theta-56} > 0, \\
 \tau_s^{TS*} - \tau_s^{CT*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)}{8\theta^2-22\theta+14} > 0, \\
 \tau_c^{CT*} - \tau_c^{CS*} &= \frac{(1-\theta)(\Delta-1)}{8-4\theta} > 0, \\
 \tau_c^{CS*} - \tau_c^{TS*} &= \frac{-(\theta-1)^2(\Delta-1)}{16\theta^3-76\theta^2+116\theta-56} > 0, \\
 \tau_c^{TS*} - \tau_c^{MT*} &= \frac{3(1-\theta)(\Delta-1)}{16\theta^2-44\theta+28} > 0.
 \end{aligned}$$

命题得证. □

命题9表明, 单一传统回收以及制造商与智能回

收商合作下,传统回收商的回收率相等且均低于双回收渠道分散决策下的回收率. 双回收渠道集中决策以及制造商与传统回收商合作下,传统回收商的回收率相等,且达到最高. 单一智能回收以及制造商与智能回收商合作下智能回收商的回收率最高,而制造商与传统回收商合作时,智能回收商的回收率最低. 相对于单一回收渠道,双回收渠道能够增加供应链总回收率,制造商与回收商合作决策更能提高供应链总回收率,其中制造商与传统回收商合作下供应链总回收率能够达到集中决策下的总回收率. 说明双回收渠道下竞争回收对传统回收商和供应链增加回收率有利,对智能回收商不利,制造商与回收商合作均能提高回收商的回收率.

命题10 不同决策情形下传统回收商和智能回收商的利润满足关系: $\Pi_t^{MT*} > \Pi_t^{TS*} > \Pi_t^{CS*}$, $\Pi_s^{MS*} > \Pi_s^{TS*} > \Pi_s^{CT*}$.

证明

$$\begin{aligned} \Pi_t^{MT*} - \Pi_t^{TS*} &= \\ &(\Delta - 1)^2((16((\Delta - 1)^2 + 16c_m)\theta^2 - \\ &4(5(\Delta - 1)^2 + 248c_m)\theta - 23(\Delta - 1)^2 + \\ &952c_m)\beta - 32a\theta(8\theta + 31))/(512(4\theta - 7)^3) > 0, \\ \Pi_t^{TS*} - \Pi_t^{CS*} &= \\ &(1 - \theta)(\Delta - 1)^2(((16(\Delta - 1)^2 - 256c_m)\theta^3 + \\ &(-132(\Delta - 1)^2 + 1440c_m)\theta^2 + (325(\Delta - 1)^2 - \\ &2696c_m)\theta - 251(\Delta - 1)^2 + 1680c_m)\beta + 8a(4\theta - \\ &7)(\theta - 2)(8\theta - 15))/(512(\theta - 2)^2(4\theta - 7)^3) > 0, \\ \Pi_s^{MS*} - \Pi_s^{TS*} &= \\ &(\Delta - 1)^2(((64(\Delta - 1)^2 - 512c_m)\theta^3 + 320(8c_m - \\ &(\Delta - 1)^2)\theta^2 + 4(133(\Delta - 1)^2 - 1088c_m)\theta - \\ &303(\Delta - 1)^2 + 2520c_m)\beta + 8a(16\theta^2 - 52\theta + \\ &45)(4\theta - 7))/(512(4\theta - 7)^3) > 0, \\ \Pi_s^{TS*} - \Pi_s^{CT*} &= \\ &(1 - \theta)(\Delta - 1)^2(((2((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta - 5(\Delta - \\ &1)^2 + 28c_m)\beta + 4a(4\theta - 7))/(64(4\theta - 7)^3) > 0. \end{aligned}$$

命题得证. \square

命题10表明,单一回收渠道下传统回收商和智能回收商各自的利润高于双回收渠道分散决策. 以双回收渠道分散决策为参考,当制造商与传统回收商合作时,智能回收商的利润会降低. 同样地,当制造商与智能回收商合作时,传统回收商的利润也会减少. 说明制造商与其中一个回收商合作,而未参与合

作的回收商其利润将会受损. 制造商采取双回收渠道分散决策时,能够保证两个回收商均有利可图.

命题11 不同决策情形下零售商、制造商和供应链的总利润满足关系: $\Pi_r^{CT*} > \Pi_r^{CS*} > \Pi_r^{TS*} > \Pi_r^{MT*} = \Pi_r^{MS*}$, $\Pi_m^{TS*} > \Pi_m^{MT*} = \Pi_m^{MS*}$, $\Pi_c^{MC*} > \Pi_c^{CT*} > \Pi_c^{TS*} > \Pi_c^{CS*} > \Pi_c^{MT*} = \Pi_c^{MS*}$.

证明

$$\begin{aligned} \Pi_r^{CT*} - \Pi_r^{CS*} &= \\ &(\theta - 1)(\Delta - 1)^2(((3(\Delta - 1)^2 - 16c_m)\theta - 7(\Delta - \\ &1)^2 + 32c_m)\beta + 16a(\theta - 2))/(1024(\theta - 2)^2) > 0, \\ \Pi_r^{CS*} - \Pi_r^{TS*} &= \\ &(1 - \theta)(\Delta - 1)^2((8((\Delta - 1)^2 - 8c_m)\theta^2 + (-37 \times \\ &(\Delta - 1)^2 + 240c_m)\theta + 41(\Delta - 1)^2 - 224c_m)\beta + \\ &16a(\theta - 2)(4\theta - 7))/(1024(\theta - 2)^2(4\theta - 7)^2) > 0, \\ \Pi_r^{TS*} - \Pi_r^{MT*} &= \\ &3(\Delta - 1)^2((-8(\Delta - 1)^2 + 64c_m)\theta + 17(\Delta - 1)^2 - \\ &112c_m)\beta - 16a(4\theta - 7))/(1024\beta(4\theta - 7)^2) > 0, \\ \Pi_m^{TS*} - \Pi_m^{MT*} &= \\ &(\Delta - 1)^2((8(-(\Delta - 1)^2 + 8c_m)\theta + 17(\Delta - 1)^2 - \\ &112c_m)\beta - 16a(4\theta - 7))/(512(4\theta - 7)^2) > 0, \\ \Pi_c^{CT*} - \Pi_c^{TS*} &= \\ &(\theta - 1)(\Delta - 1)^2(((4(7(\Delta - 1)^2 - 32c_m)\theta^2 + \\ &(-97(\Delta - 1)^2 + 416c_m)\theta + 81(\Delta - 1)^2 - \\ &336c_m)\beta + 16a(2\theta - 3)(4\theta - 7))/(4\theta - 7)^3) > 0, \\ \Pi_c^{TS*} - \Pi_c^{CS*} &= \\ &(\theta - 1)(\Delta - 1)^2(((32(\Delta - 1)^2\theta^3 - 4(35(\Delta - 1)^2 + \\ &32c_m)\theta^2 + (171(\Delta - 1)^2 + 480c_m)\theta - \\ &39(\Delta - 1)^2 - 448c_m)\beta + 32a(\theta - 2)(4\theta - 7))/(\\ &1024(\theta - 2)^2(4\theta - 7)^3) > 0, \\ \Pi_c^{MC*} - \Pi_c^{CT*} &= \\ &(((\Delta - 1)^2 - 4c_m)\beta + 4a)^2/(256\beta) > 0, \\ \Pi_c^{CS*} - \Pi_c^{MT*} &= \\ &(\Delta - 1)^2(((2(-3(\Delta - 1)^2 + 16c_m)\theta + 13(\Delta - 1)^2 - \\ &64c_m)\beta + 32a(2 - \theta))/(1024(\theta - 2)^2) > 0. \end{aligned}$$

命题得证. \square

命题11表明,单一回收情形下零售商和供应链的利润最低且相等,制造商与回收商合作下零售商和供应链的利润高于双回收渠道分散决策,而制造商与传统回收商合作下零售商和供应链的利润最高. 其

中,双回收渠道集中决策下供应链总利润最高.此外,单一智能回收下制造商利润最低,双回收渠道分散决策下制造商利润高于单一回收情形.说明相对于单一回收渠道,双回收渠道不仅能够增加制造商利润,也能提高零售商和供应链的利润,且制造商与回收商合作也能改善零售商和供应链的利润.这是因为制造商拓宽回收渠道可增加产品回收量,减少生产成本,降低批发价和零售价,刺激了市场需求,进一步提高了零售商和供应链的利润.

命题12 考虑双回收渠道分散决策以及制造商分别与传统回收商和智能回收商合作,从制造商利润最大化角度出发,其最优合作策略选择条件如下:

1) 如果制造商选择与传统回收商合作,则条件需满足 $\Pi_{m+t}^{CT*} > \Pi_t^{TS*} + \Pi_m^{TS*}$, 且 $\Pi_{m+t}^{CT*} - \Pi_t^{TS*} > \Pi_{m+s}^{CS*} - \Pi_s^{TS*}$.

2) 如果制造商选择与智能回收商合作,则条件需满足: $\Pi_{m+s}^{CS*} > \Pi_s^{TS*} + \Pi_m^{TS*}$, 且 $\Pi_{m+s}^{CS*} - \Pi_s^{TS*} > \Pi_{m+t}^{CT*} - \Pi_t^{TS*}$.

证明 由命题3和命题5可知 $\Pi_{m+t}^{CT*} > \Pi_t^{TS*} + \Pi_m^{TS*}$, 而 $\Pi_{m+s}^{CS*} > \Pi_s^{TS*} + \Pi_m^{TS*}$ 已证, 故只需证 $\Pi_{m+t}^{CT*} - \Pi_t^{TS*} > \Pi_{m+s}^{CS*} - \Pi_s^{TS*}$. 反之, 如果 $\Pi_{m+t}^{CT*} - \Pi_t^{TS*} > \Pi_{m+s}^{CS*} - \Pi_s^{TS*}$ 不成立, 则 $\Pi_{m+s}^{CS*} - \Pi_s^{TS*} > \Pi_{m+t}^{CT*} - \Pi_t^{TS*}$ 成立. 因为

$$\begin{aligned} & \Pi_{m+t}^{CT*} - \Pi_t^{TS*} - (\Pi_{m+s}^{CS*} - \Pi_s^{TS*}) = \\ & (\Delta - 1)^2(1 - \theta)((128(\Delta - 1)^2 - 512c_m)\beta + \\ & 512a)\theta^4 + ((3328c_m - 896(\Delta - 1)^2)\beta - \\ & 3328a)\theta^3 + ((2284(\Delta - 1)^2 - 7904c_m)\beta + \\ & 7904a)\theta^2 + ((-2489(\Delta - 1)^2 + 8048c_m)\beta - \\ & 8048a)\theta + (961(\Delta - 1)^2 - 2912c_m)\beta + \\ & 2912a)/((512(\theta - 2)^2(7 - 4\theta)^3) > 0. \end{aligned}$$

所以命题得证. □

命题12表明,以双回收渠道分散决策为参考,制造商与传统回收商和智能回收商合作均能够提高其利润.从合作后增量利润来看,制造商与传统回收商合作能够增加更多利润,为其最优策略,而制造商与智能回收商合作为其次优策略.因此,制造商与传统回收商合作的动机更大.

5 结论

本文针对制造商主导的供应链中存在传统回收与智能回收竞争的情形,考虑消费者对智能回收渠道的偏好,构建了制造商不同回收渠道决策与合作模型,分析了不同决策情形下供应链成员的最优决策,

旨在为制造商和回收者的回收定价与合作决策提供参考.

研究表明:1)不同决策情形下,制造商给传统回收商和智能回收商各自的转移价格均不变,且两个回收商的转移价格相等.2)相较于单一回收渠道,双回收渠道分散决策下回收商的回收价格高于单一回收渠道,而制造商与回收商合作下回收商的回收定价高于双回收渠道分散决策.3)相对于单一回收渠道,双回收渠道能增加传统回收商和供应链的回收率,但会降低智能回收商的回收率,而制造商与回收商合作能进一步增加回收商和供应链的回收率,甚至制造商与传统回收商合作能使供应链的回收率达到集中决策下的总回收率.4)单一回收渠道对传统回收商和智能回收商的利润增长有利,而双回收渠道竞争下会降低回收商的利润,制造商与回收商合作能提高回收商的利润.5)与单一回收渠道相比,双回收渠道能增加制造商、零售商和供应链的利润.以双回收渠道分散决策为参考,制造商与回收商合作能提高制造商和回收商的利润,而未参与到合作的回收商其利润将会受损.其中,制造商与传统回收商合作后的增量利润较大,与智能回收商合作后的增量利润较小,故制造商与传统回收商的合作动机更大.

本文探讨了竞争回收下制造商的回收定价与合作策略,但仅从制造商利润最大化角度出发,智能回收与传统回收之间的竞争并不会削减.制造商如何发挥其供应链的主导作用,协调回收商之间的竞争,减少回收渠道冲突还有待探究.同时,智能回收商应如何寻求突破,增强其竞争优势还有待分析.

参考文献(References)

- [1] Giri B C, Chakraborty A, Maiti T. Pricing and return product collection decisions in a closed-loop supply chain with dual-channel in both forward and reverse logistics[J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 2017, 42: 104-123.
- [2] Wang N M, He Q D, Jiang B. Hybrid closed-loop supply chains with competition in recycling and product markets[J]. *International Journal of Production Economics*, 2019, 217: 246-258.
- [3] Giri B C, Dey S K. Game theoretic analysis of a closed-loop supply chain with backup supplier under dual channel recycling[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 129: 179-191.
- [4] Wei J, Wang Y, Zhao J, et al. Analyzing the performance of a two-period remanufacturing supply chain with dual collecting channels[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 135: 1188-1202.
- [5] 路应金, 徐雪珺, 艾兴政. 第三方规模效应下闭环供应链双渠道回收决策研究[J]. *管理工程学报*, 2018, 32(2): 207-217.

- (Lu Y J, Xu X F, Ai X Z. Collective decision-making of a closed-loop supply chain dual-channel model under the third-party economies of scale[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2018, 32(2): 207-217.)
- [6] 丁杨科, 冯定忠, 金寿松, 等. 基于博弈论的再制造逆向物流定价决策[J]. *控制与决策*, 2018, 33(4): 749-758.
(Ding Y K, Feng D Z, Jin S S, et al. Pricing decision for remanufacturing reverse logistics based on game theory[J]. *Control and Decision*, 2018, 33(4): 749-758.)
- [7] 公彦德, 蒋雨薇, 达庆利. 不同混合回收模式和权力结构的逆向供应链决策分析[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(10): 131-143.
(Gong Y D, Jiang Y W, Da Q L. Decision analysis of reverse supply chain with different mixture recycling modes and power structures[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(10): 131-143.)
- [8] Jian H Y, Xu M L, Zhou L. Collaborative collection effort strategies based on the “Internet + recycling” business model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 241: 118120.
- [9] Wei J, Chen W Y, Liu G X. How manufacturer’s integration strategies affect closed-loop supply chain performance[J]. *International Journal of Production Research*, 2021, 59(14): 4287-4305.
- [10] Wu D, Chen J H, Li P, et al. Contract coordination of dual channel reverse supply chain considering service level[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 260: 121071.
- [11] 郑本荣, 杨超, 杨珺. 回收渠道竞争下制造商的战略联盟策略选择[J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(6): 1479-1491.
(Zheng B R, Yang C, Yang J. Manufacturer’s optimal alliance strategy in closed loop supply chains in the presence of competing recycling channels[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2018, 38(6): 1479-1491.)
- [12] 石纯来, 聂佳佳. 规模不经济下奖惩机制对闭环供应链制造商合作策略影响[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(3): 85-95.
(Shi C L, Nie J J. The effects of premium and penalty mechanism on manufacturer’s cooperative strategies in the closed-loop supply chain with production diseconomies[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(3): 85-95.)
- [13] 黄宗盛, 聂佳佳, 赵映雪. 再制造闭环供应链产品回收合作模式研究[J]. *管理工程学报*, 2019, 33(3): 147-152.
(Huang Z S, Nie J J, Zhao Y X. The cooperation recovery strategies across the closed-loop supply chain[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2019, 33(3): 147-152.)
- [14] 肖敏, 张耀. 回收率奖惩下考虑产能约束的闭环供应链制造商合作策略[J]. *计算机集成制造系统*, 2021, 27(10): 3026-3035.
(Xiao M, Zhang Y. Manufacture’s cooperation strategy in closed-loop supply chain considering capacity constraints with recycling rate reward and punishment mechanism[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2021, 27(10): 3026-3035.)
- [15] Feng L P, Govindan K, Li C F. Strategic planning: Design and coordination for dual-recycling channel reverse supply chain considering consumer behavior[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 260(2): 601-612.
- [16] Wang N M, Song Y F, He Q D, et al. Competitive dual-collecting regarding consumer behavior and coordination in closed-loop supply chain[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 144: 106481.
- [17] Hu S, Dai Y, Ma Z J, et al. Designing contracts for a reverse supply chain with strategic recycling behavior of consumers[J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 180: 16-24.
- [18] He Q D, Wang N M, Yang Z, et al. Competitive collection under channel inconvenience in closed-loop supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 275(1): 155-166.
- [19] 许民利, 邹康来, 简惠云. “互联网+”环境下考虑消费者行为的资源回收策略[J]. *控制与决策*, 2019, 34(8): 1745-1753.
(Xu M L, Zou K L, Jian H Y. Strategy of renewable resource recycling considering consumers’ behavior based on Internet+[J]. *Control and Decision*, 2019, 34(8): 1745-1753.)
- [20] 许民利, 向泽华, 简惠云. 考虑消费者环保意识的WEEE双渠道回收模型[J]. *控制与决策*, 2020, 35(3): 713-720.
(Xu M L, Xiang Z H, Jian H Y. Dual-recycling channel for WEEE considering environmental awareness of consumers[J]. *Control and Decision*, 2020, 35(3): 713-720.)
- [21] 朱晓东, 吴冰冰, 王哲. 双渠道回收成本差异下的闭环供应链定价策略与协调机制[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(12): 188-196.
(Zhu X D, Wu B B, Wang Z. Closed-loop supply chain pricing strategy and coordination mechanism under the difference of dual-channel recycling cost[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(12): 188-196.)

作者简介

王勇(1983—), 男, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理、运筹优化调度等研究, E-mail: yongwx@cqjtu.edu.cn;

蒋琼(1992—), 女, 博士生, 从事物流与供应链管理的研究, E-mail: cqjtjiangqiong@163.com;

刘名武(1979—), 男, 教授, 博士生导师, 从事物流与供应链管理、运筹优化和智能决策等研究, E-mail: liumingwu2007@aliyun.com;

刘永(1983—), 男, 高级实验师, 博士, 从事决策理论与优化方法、数据模型与决策等研究, E-mail: liuevery@gmail.com.