

# 考虑CSR的第三方回收闭环供应链定价与协调

孙 浩, 尉爽华, 李尚玲

青岛大学商学院, 山东 青岛

Email: rivaldoking@126.com, 2849169124@qq.com, 545650715@qq.com

收稿日期: 2020年9月3日; 录用日期: 2020年9月18日; 发布日期: 2020年9月25日

## 摘 要

本文围绕第三方回收的闭环供应链系统, 考虑制造商和零售商共同履行CSR, 将消费者剩余作为CSR绩效指标, 基于此分别构建优化模型和Stackelberg博弈模型得到集中式决策和分散式决策下的零售价、回收率、成员效用(利润)与系统总效用, 然后探讨收入共享 - 成本共担契约在闭环供应链协调中的适用性, 进而分析CSR履行水平对相关绩效指标和契约参数可行范围的影响, 研究结论表明: 1) 分散式决策下的零售价和回收率分别高于和低于集中式决策, 渠道总效用低于集中式决策; 在分散式决策下, 零售商CSR履行水平增加对渠道效率、回收率和消费者剩余产生的积极影响大于同等程度制造商CSR履行程度的增加; 2) 当制造商与零售商的CSR履行水平满足一定条件时, 若契约参数亦在合理范围内, 则RCS契约能够完美协调该闭环供应链, 并实现三方效用(利润)的Pareto改进。

## 关键词

第三方回收, 闭环供应链, 企业社会责任, 收益共享 - 费用共担契约

# Pricing and Coordination for a Third-Party Collection Closed-Loop Supply Chain with Consideration of CSR

Hao Sun, Shuanghua Wei, Shangling Li

School of Business, Qingdao University, Qingdao Shandong

Email: rivaldoking@126.com, 2849169124@qq.com, 545650715@qq.com

Received: Sep. 3<sup>rd</sup>, 2020; accepted: Sep. 18<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 25<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

For a third-party-collection closed-loop supply chain system in which both the manufacturer and

the retailer perform CSR, this paper establishes the optimization model and Stackelberg game model to derive the equilibrium prices, collection rate, the parties' utilities (profits) and total utility of the entire closed loop supply chain in centralized and decentralized decision-making models. Consumer surplus is treated as the measurement index of CSR performance. The applicability of revenue-cost sharing contract (RCS) in the coordination of decentralized closed-loop supply chain is examined. It also focuses on the impacts of both parties' CSR levels on the performance indexes and the feasible ranges of contract parameters. The conclusions of this thesis show that: 1) The product prices and collection rate under decentralized decision is higher and lower than those under centralized decision, respectively. The total channel utility under decentralized decision is lower than that under centralized decision; under decentralized model, the improvement of CSR performing level of the retailer has a greater positive impact on channel efficiency, collection rate and consumer surplus than that of the manufacturer with the same CSR level's increasing; 2) When the CSR levels of the manufacturer and the retailer satisfy a certain condition and contract parameters are all in reasonable ranges, RCS contract can perfectly coordinate this closed-loop supply chains with third-party collection, and realize the Pareto improvement for all three parties' utilities (profits).

## Keywords

Third-Party-Collection, Closed-Loop Supply Chain, Corporation Social Responsibility, Revenue and Cost Sharing Contract

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

企业社会责任(Corporate Social Responsibility, CSR)是当前企业运作管理领域的热点议题之一,其核心涵义是企业 在追求经济利润的同时,还应履行对社会、环境、股东、员工和消费者等各种利益相关者的责任[1]。企业违背 CSR 的行为无疑将对自身产生显著的负面影响,如三鹿集团的“毒奶粉”和长春长生的“假疫苗”事件均使得涉事企业的公众形象与社会声誉跌入谷底。考虑到企业通常又处在复杂的供应链环境中,其中任一企业的悖德行为均可能波及该链上其他成员。如为上海麦当劳提供肉类制品的福喜集团大量使用过期变质肉品,使得麦当劳也受到极大牵连[2]。Amaeshi 等(2011)就指出供应链中的核心企业(渠道领导者)有责任引领其他成员(跟随者)履行 CSR [3]。

此外,在全社会环保意识不断增强及旧品回收再制造日益普及的背景下,由再制造驱动的闭环供应链管理同样受到了学界广泛的关注。Savaskan (2004)归纳出企业在闭环供应链实践中常采取的三种旧品回收模式:制造商回收、零售商回收和第三方回收[4]。而据有关统计资料显示,现阶段我国制造商和零售商仍重点关注产品的生产和销售,尚未有足够的资金和技术实施旧品回收,超过 90%比例的回收量是由第三方回收商完成[5],因此第三方回收模式是当前我国旧品回收的主流模式。

综上,探究考虑企业具有 CSR 行为(尤其是多方成员共同履行 CSR)的第三方回收型闭环供应链运营决策具有重要的理论价值和现实意义。

## 2. 文献综述

学界对于 CSR 的研究早期集中于案例与实证领域,如 Ciliberti 等(2011)针对渠道领导企业在引领跟

随企业履行 CSR 过程中可能因信息不对称而出现的道德风险现象,采用 CSR 规范以约束跟随企业的行为,进而通过南西欧的案例验证了其有效性[6]。Nikolaou 等(2013)基于“经济、环境和社会”的三重底线原则,构建了物流系统 CSR 绩效评价指标体系并进行了实证检验[7]。随后将 CSR 引入传统正向供应链博弈模型的相关研究开始涌现。如 Cruz 等(2008, 2013)在复杂供应链网络环境中探究了制造商兼顾经济利润、废弃物排放以及供应端扰动风险的产品定价与 CSR 履行水平联合决策[8] [9]。Ni 等(2010)利用 CSR 投资成本分担策略协调了三种不同渠道权力结构的两级供应链系统[10]。Modak 等(2014)探讨了具有 CSR 行为的分散式双渠道供应链的定价策略以及数量折扣与特许经营联合契约[11]。其他相关研究包括考虑不完全需求信息和政府补贴等因素的 CSR 决策问题[12] [13]。

近期,部分学者将CSR的研究拓展至闭环供应链领域。如高举红等(2014)探讨了制造商和零售商共同履行CSR时的闭环供应链定价与协调策略[14]。郑本荣(2018)等探讨了制造商与零售商分别履行或不履行CSR四种组合下的闭环供应链均衡决策及二部定价协调机制[15]。Liu和Xiao (2020)将市场细分为普通消费者和绿色消费者,旧品回收率的增加将提升绿色消费者对产品的认可程度,从而增加制造商的产品需求量。基于此比较了制造商回收模式和零售商回收模式下的两级闭环供应链零售价、回收率和社会福利[16]。然而以上文献均将CSR水平作为统一的决策变量处理,未明确指出其具体涵义。

Panda (2017)首次将消费者剩余(Consumer Surplus, CS)作为 CSR 绩效的度量方式,在此基础上运用收入共享契约对零售商回收的闭环供应链实施协调[17]。文献[18] [19] [20] [21] [22]继承了该度量方式。刘亮等(2018)同样围绕零售商回收的分散式闭环供应链,给出了制造商和零售商均具有 CSR 意识时的博弈均衡决策和收入共享契约[18]。Shu 等(2018)探讨了政府碳排放奖惩机制对零售商回收型闭环供应链的影响[19]。许民利等(2019)针对制造商回收且履行 CSR 的两级闭环供应链,考虑需求同时依赖于产品零售价和广告投放水平,比较了制造商和零售商分别投放广告两种策略下的闭环供应链定价决策、回收率和双方利润[20]。刘珊等(2019)聚焦于不同的渠道权力结构对零售商回收闭环供应链 CSR 责任分担策略的影响[21]。杨宽等(2020)探究了再制造成本扰动等突发事件对制造商履行 CSR 时的制造商回收型以及零售商回收型闭环供应链定价与生产计划调整策略的影响[22]。

文献[17]-[22]均是围绕制造商回收模式和零售商回收模式开展研究。正如前文所述,第三方回收在我国当前回收实践中占据主导地位。目前涉及 CSR 的第三方回收型闭环供应链定价与协调研究包括:姚锋敏等(2019)探究了制造商 CSR 行为对三种回收渠道闭环供应链的影响,验证了 CSR 行为对提升供应链绩效及改善消费者福利方面均具有积极作用[23]。姚锋敏等(2020)比较了制造商和零售商分别承担 CSR 投资和促销成本时四种第三方回收型闭环供应链的价格、销售努力程度以及成员效用(利润) [5]。

通过如上文献回顾可知,当前学界已在考虑 CSR 的闭环供应链运营管理方面取得一系列成果,对本研究具有较好的借鉴价值,但尚存在以下局限性:

- 1) 绝大部分闭环供应链 CSR 研究均假定单一成员(通常为渠道领导者)履行 CSR,目前仅有文献[14] [18] [21]考虑了制造商和零售商共同履行 CSR 的情形,但并未涉及第三方回收模式; 2) 文献[5] [23]考虑了第三方回收商从事旧品回收的情形,但其未探讨提升分散式闭环供应链绩效的契约协调机制。与文献[17] [18]中零售商回收型闭环供应链的收入共享契约不同,第三方回收型闭环供应链中涉及制造商、零售商和回收商三方成员,故其协调机制无疑更加复杂。

综上所述,与以往文献皆不同,本文拟围绕第三方回收的闭环供应链系统,考虑渠道领导者制造商在履行 CSR 的同时也引领下游零售商履行 CSR,基于此分别探究集中式与分散式闭环供应链的定价和回收策略,然后将利用收入共享—成本共担契约来克服分散式闭环供应链的效率损失,使其能够达到集中

式决策的水平，并在此过程中确定合理的契约参数取值范围来实现三方效用(利润)的 Pareto 改进。

### 3. 模型假设和参数定义

#### 模型描述与参数说明

##### 1) 模型描述

在第三方回收型闭环供应链中，产品制造商委托第三方回收商负责旧品回收，然后从回收商处购回旧品后从事再制造，进而将采用原材料生产的新品和再制品交由下游零售商共同销售。为便于模型构建，作如下假设：

① 和 Savaskan (2004) [4]一致，假定制造商从回收商处购回的旧品均能被再制造，且再制品与新品在外观、质量和价格方面皆无差异；

② 制造商为渠道领导者，零售商和回收商为跟随者，各方博弈信息对称；

③ 制造商不但自身履行 CSR，而且也引领零售商履行 CSR，参照 Panda 等(2017) [17]，消费者剩余被用以衡量 CSR 的履行绩效。

##### 2) 参量说明

相关参量设置如下：制造商的单位新品生产成本和旧品再制造成本分别为  $c_m$  和  $c_r$ ，为下文表示方便，引入  $\Delta = c_m - c_r$  表示再制造相比于传统生产的成本节约额；制造商和零售商分别决策的批发价和零售价为  $w$  和  $p$ 。市场需求量  $D(p)$  是价格  $p$  的线性递减函数，不失一般性，假定  $D(p) = \alpha - \beta p$  ( $\alpha > 0, \beta > 0$ )， $\alpha$  和  $\beta$  分别代表市场容量和价格敏感因子；回收商回收成本  $I(\tau)$  包含固定成本  $C(\tau) = C_L \tau^2$  和可变成本  $A\tau D(P)$  两部分[4]，其中  $C_L$  为规模系数， $A$  为回收商从消费者手中获取单位旧品应支付的成本，且  $C_L > 0, A \geq 0$ ；制造商从回收商处购回旧品的价格为  $b$ ，故满足  $b > A$  时回收商才有利可图；另外可知  $\Delta \geq b$  时制造商才愿意从事再制造。依据 Liu 等(2017) [24]的研究结论，因  $A < b \leq \Delta$  成立时  $A$  是否为 0 并不影响模型的主要结论，故本文亦取  $A = 0$ 。

根据 Panda 等(2017) [17]-[22]，消费者剩余 CS 的计算公式如下：

$$CS = \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} D(p) dp = \int_{(\alpha - D)/\beta}^{\alpha/\beta} (\alpha - \beta p) dp = \frac{(\alpha - \beta p)^2}{2\beta} \quad (1)$$

令  $\theta_2$  和  $\theta_1$  分别表示制造商和零售商履行 CSR 的水平，且满足  $0 \leq \theta_1 \leq 1$  和  $0 \leq \theta_2 \leq 1$ ， $\theta_1$  或  $\theta_2$  越大则表明双方更加注重消费者利益。 $\pi_m, \pi_r$  和  $\pi_t$  依次表示制造商、零售商和第三方的净利润， $v_m, v_r$  分别表示制造商效用和零售商效用，则三者的决策目标由式(2)至式(4)给出。

$$v_m(w, b) = \pi_m + \theta_2 \cdot CS = (\alpha - \beta p) [w - c_m + (\Delta - b)\tau] + \frac{\theta_2}{2\beta} (\alpha - \beta p)^2 \quad (2)$$

$$v_r(p) = \pi_r + \theta_1 \cdot CS = (p - w)(\alpha - \beta p) + \frac{\theta_1}{2\beta} (\alpha - \beta p)^2 \quad (3)$$

$$\pi_t(\tau) = b\tau(\alpha - \beta p) - C_L \tau^2 \quad (4)$$

以下变量、利润和效用的上标  $M$  和  $C$  分别对应分散式和集中式决策。

### 4. 集中式决策

在集中式决策中，三者隶属于同一利益方，将式(2)至式(4)加总得到系统总利润为：

$$v^c(p, \tau) = (\alpha - \beta p)(p - c_m + \Delta\tau) - C_L \tau^2 + \frac{\theta_1}{2\beta} (\alpha - \beta p)^2 + \frac{\theta_2}{2\beta} (\alpha - \beta p)^2 \quad (5)$$

计算  $v^C$  关于  $p^C$  和  $\tau^C$  的 Hessian 矩阵, 得到

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial^2 v^C}{\partial p^2} & \frac{\partial^2 v^C}{\partial p \partial \tau} \\ \frac{\partial^2 v^C}{\partial \tau \partial p} & \frac{\partial^2 v^C}{\partial \tau^2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\beta(2-\theta_1-\theta_2) & -\beta\Delta \\ -\beta\Delta & -2C_L \end{vmatrix} = 2\beta(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta^2\Delta^2。因此当  $2(2-\theta_1-\theta_2)C_L > \beta\Delta^2$  时,$$

该 Hessian 矩阵负定, 即  $v^C$  为  $p$  和  $\tau$  联合凹函数, 此时存在唯一最优解。联立方程  $\partial v^C / \partial p = 0$  和  $\partial v^C / \partial \tau = 0$ , 求解得

$$p^{C*} = \frac{2[(1-\theta_1-\theta_2)\alpha + \beta c_m]C_L - \beta\Delta^2\alpha}{\beta[2(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} \tag{6}$$

$$\tau^{C*} = \frac{\Delta(\alpha - \beta c_m)}{2(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2} \tag{7}$$

将式(6)和(7)代入式(5), 计算知

$$v^{C*} = \frac{C_L(\alpha - \beta c_m)^2}{\beta[2(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} \tag{8}$$

### 5. 分散式决策

在分散式决策下, 三方展开主从博弈, 博弈先后次序为: ① 制造商制定批发价  $w^M$  和旧品购回价  $b^M$ ; ② 零售商确定零售价  $p^M$ , 与此同时第三方决定回收率  $\tau^M$ , 采用逆序法进行求解。

i) 联立一阶必要条件  $\partial v_r^M(\tau) / \partial p = 0$  和  $\partial \pi_t^M(\tau) / \partial \tau = 0$  得到零售商和第三方的最优反应函数分别为  $p^M(w^M) = \frac{(1-\theta_1)\alpha + \beta w}{\beta(2-\theta_1)}$  和  $\tau^M(b^M, p^M) = \frac{b(\alpha - \beta p)}{2C_L}$ , 然后将二者代入  $v_m^M$  中得

$$v_m^M(w, b) = \left[ \alpha - \frac{\alpha(1-\theta_1) + \beta w}{2-\theta_1} \right] \left[ w - c_m + \frac{b(\Delta - b)(\alpha - \beta p)}{2C_L} \right] + \frac{\theta_2}{2\beta} \left[ \alpha - \frac{\alpha(1-\theta_1) + \beta w}{2-\theta_1} \right]^2 \tag{9}$$

ii) 依据 Savaskan (2004) [4] 的处理方式, 首先分析制造商在其旧品购回价  $b^M$  给定时的批发价  $w^M(b^M)$ , 然后利用  $p^M(w^M)$  和  $\tau^M(b^M, p^M)$  得到  $p^M(b^M)$  和  $\tau^M(b^M)$ , 进而代入式(9)将  $v_m^M$  转化为只含  $b^M$  的函数表达式, 最后优化求得  $v_m^M$  实现最大化时的  $b^{M*}$ 。计算过程如下:

求解  $\frac{\partial v_m^M(w, b)}{\partial w} = 0$  得到  $w^M(b^M) = \frac{[(2-\theta_1-\theta_2)\alpha + (2-\theta_1)\beta c_m]C_L - \beta b(\Delta - b)\alpha}{\beta[(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta b(\Delta - b)]}$ , 代入  $p^M(w^M)$  和  $\tau^M(b^M, p^M)$  得  $p^M(b^M) = \frac{[(3-2\theta_1-\theta_2)\alpha + \beta c_m]C_L - \beta b(\Delta - b)\alpha}{\beta[(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta b(\Delta - b)]}$  与

$\tau^M(b^M) = \frac{b(\alpha - \beta c_m)}{2[(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta b(\Delta - b)]}$ , 再将  $w^M(b^M)$ ,  $p^M(b^M)$  和  $\tau^M(b^M)$  代入式(9), 整理得

$v_m^M(b^M) = \frac{C_L(\alpha - \beta c_m)^2}{2\beta[(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta b(\Delta - b)]}$ 。易知当  $b^{M*} = \Delta/2$  时  $v_m^M$  达到最优, 相应的价格变量、回收

率变量、各方效用(利润)以及系统总效用如式(10)至式(16)给出。

$$p^{M*} = \frac{4[(3-2\theta_1-\theta_2)\alpha + \beta c_m]C_L - \beta\Delta^2\alpha}{\beta[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} \tag{10}$$

$$w^{M*} = \frac{4[(2-\theta_1-\theta_2)\alpha + (2-\theta_1)\beta c_m]C_L - \beta\Delta^2\alpha}{\beta[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} \quad (11)$$

$$\tau^{M*} = \frac{\Delta(\alpha - \beta c_m)}{4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2} \quad (12)$$

$$v_m^{M*} = \frac{2C_L(\alpha - \beta c_m)^2}{\beta[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} \quad (13)$$

$$v_r^{M*} = \frac{8(2-\theta_1)C_L^2(\alpha - \beta c_m)^2}{\beta[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} \quad (14)$$

$$\pi_t^{M*} = \frac{C_L\Delta^2(\alpha - \beta c_m)^2}{[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} \quad (15)$$

$$v^{M*} = v_m^{M*} + v_r^{M*} + \pi_t^{M*} = \frac{C_L(\alpha - \beta c_m)^2[8(6-3\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]}{\beta[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} \quad (16)$$

## 6. 均衡结果比较与性质分析

**命题 1:** 两种决策模式下的产品零售价、回收率和系统总效用的数量关系为:  $p^{M*} < p^{C*}$ ,  $\tau^{C*} > \tau^{M*}$ ,  $v^{C*} > v^{M*}$ 。

证明略。命题 1 表明: 与集中式决策相比, 分散式决策博弈过程中存在的双重边际化效应将使其回收率和系统总效用较低, 相反产品零售价较高, 从而使消费者剩余较低。

**命题 2:** 两种决策模式下的批发价、零售价、回收率、各方效用(利润)、系统总效用与 CSR 履行水平  $\theta_1, \theta_2$  的增减关系如下:

$$\text{i) } \frac{\partial w^{M*}}{\partial \theta_2} < \frac{\partial w^{M*}}{\partial \theta_1} < 0; \quad \frac{\partial p^{M*}}{\partial \theta_1} < \frac{\partial p^{M*}}{\partial \theta_2} < 0 \text{ 且 } \left| \frac{\partial p^{M*}}{\partial \theta_1} \right| = 2 \left| \frac{\partial p^{M*}}{\partial \theta_2} \right|; \quad \frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta_1} > \frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta_2} > 0 \text{ 且 } \frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta_1} = 2 \frac{\partial \tau^{M*}}{\partial \theta_2};$$

$$\frac{\partial v_m^{M*}}{\partial \theta_1} > \frac{\partial v_m^{M*}}{\partial \theta_2} > 0 \text{ 且 } \frac{\partial v_m^{M*}}{\partial \theta_1} = 2 \frac{\partial v_m^{M*}}{\partial \theta_2}; \quad \frac{\partial v_r^{M*}}{\partial \theta_1} > \frac{\partial v_r^{M*}}{\partial \theta_2} > 0; \quad \frac{\partial \pi_t^{M*}}{\partial \theta_1} > \frac{\partial \pi_t^{M*}}{\partial \theta_2} > 0 \text{ 且 } \frac{\partial \pi_t^{M*}}{\partial \theta_1} = 2 \frac{\partial \pi_t^{M*}}{\partial \theta_2};$$

$$\frac{\partial v^{M*}}{\partial \theta_2} > \frac{\partial v^{M*}}{\partial \theta_1} > 0。$$

$$\text{ii) } \frac{\partial p^{C*}}{\partial \theta_1} = \frac{\partial p^{C*}}{\partial \theta_2} < 0; \quad \frac{\partial \tau^{C*}}{\partial \theta_1} = \frac{\partial \tau^{C*}}{\partial \theta_2} > 0; \quad \frac{\partial v^{C*}}{\partial \theta_1} = \frac{\partial v^{C*}}{\partial \theta_2} > 0。$$

证明略。命题 2-i 表明: 在分散式决策下, 双方 CSR 履行水平的增加均能够降低批发价和零售价、提高回收率和闭环供应链各方成员效用(利润)以及系统总效用, 但跟随者零售商 CSR 履行水平增加的效果更加显著。具体地, 除制造商 CSR 履行水平增加使其更愿意降低批发价外, 在双方 CSR 履行水平同等增量条件下, 制造商增加履行水平引发的价格减幅、回收率增幅、制造商效用增幅和第三方利润增幅仅为零售商的 1/2。故处于领导地位的制造商, 应充分意识到其引领跟随者零售商履行 CSR 的经济效益和环保价值。

命题 2-ii 表明: 在集中式决策下, 制造商和零售商的 CSR 履行水平对零售价、回收率和成员总效用的影响程度是完全相同的。

### 7. 契约协调机制

本节针对分散式闭环供应链存在的效率损失，设计收入共享—回收成本共担契约(Revenue and Cost Sharing, RCS)使其绩效能够达到集中式决策水平，前提是满足各成员的参与约束。

收入共享—成本共担契约(Revenue and Cost Sharing, RCS)是指制造商与回收商和零售商签订  $(w^{RCS}, b^{RCS}, \lambda_1^{RCS}, \lambda_2^{RCS})$  型协议，具体条款为：一方面制造商以较低的协调批发价  $w^{RCS}$  将产品批发给零售商，而零售商将其销售收入的  $1-\lambda_2^{RCS}$  比例回馈给制造商；另一方面，制造商以  $1-\lambda_1^{RCS}$  的比例分摊回收商的回收成本，同时以协议价  $b^{RCS}$  从回收商处购回旧品。RCS 契约下各方效用(利润)函数由式(17)至式(19)给出。

$$v_r^{RCS}(p^{RCS}) = (\lambda_2 p - w)(\alpha - \beta p) + \frac{\theta_1}{2\beta}(\alpha - \beta p)^2 \tag{17}$$

$$v_m^{RCS}(w^{RCS}, b^{RCS}) = (\alpha - \beta p)[(1 - \lambda_2)p + w - c_m + (\Delta - b)\tau] - (1 - \lambda_1)C_L \tau^2 + \frac{\theta_2}{2\beta}(\alpha - \beta p)^2 \tag{18}$$

$$\pi_r^{RCS}(\tau^{RCS}) = b\tau(\alpha - \beta p) - \lambda_1 C_L \tau^2 \tag{19}$$

分别通过  $\partial v_r^{RCS} / \partial p = 0$  和  $\partial \pi_r^{RCS} / \partial \tau = 0$  得

$$p^{RCS}(w^{RCS}) = \frac{\beta w^{RCS} + (\lambda_2^{RCS} - \theta_1)\alpha}{\beta(2\lambda_2^{RCS} - \theta_1)} \tag{20}$$

$$\tau^{RCS}(b^{RCS}, p^{RCS}) = \frac{b^{RCS}(\alpha - \beta p^{RCS})}{2\lambda_1^{RCS} C_L} \tag{21}$$

为使 RCS 契约协调时的分散式供应链达到集中式决策的效果，应满足  $p^{RCS*} = p^{C*}$ ，故得到

$$w^{RCS*} = \frac{2[(2\lambda_2^{RCS} - \theta_1)\beta c_m + ((1 - \lambda_2^{RCS})\theta_1 - \lambda_2^{RCS}\theta_2)\alpha]C_L - \lambda_2^{RCS}\alpha\beta\Delta^2}{\beta[2(2 - \theta_1 - \theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} \tag{22}$$

同时协调时的回收率  $\tau^{RCS*}$  也应与集中式决策相同，因而将  $p^{RCS*} = p^{C*}$  代入  $\tau^{RCS}(b^{RCS}, p^{RCS})$  中，并令  $\tau^{RCS*} = \tau^{C*}$ ，可得  $b^{RCS*} = \lambda_1^{RCS}\Delta$ 。

将  $p^{RCS*}, \tau^{RCS*}, w^{RCS*}, b^{RCS*}$  代入式(17)至(19)中，得到

$$v_r^{RCS*} = \frac{2(2\lambda_2^{RCS} - \theta_1)C_L^2(\alpha - \beta c_m)^2}{\beta[2(2 - \theta_1 - \theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} \tag{23}$$

$$\pi_r^{RCS*} = \frac{\lambda_1^{RCS}C_L\Delta^2(\alpha - \beta c_m)^2}{\beta[2(2 - \theta_1 - \theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} \tag{24}$$

$$v_m^{RCS*} = \frac{C_L(\alpha - \beta c_m)^2[2(2 - 2\lambda_2^{RCS} - \theta_2)C_L - (1 + \lambda_1^{RCS})\beta\Delta^2]}{\beta[2(2 - \theta_1 - \theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} \tag{25}$$

由于收入分配比例  $\lambda_1^{RCS}$  和成本分摊比例  $\lambda_2^{RCS}$  均应介于 (0,1) 内，故应满足

$$\lambda_2^{RCS} > 0 \Rightarrow w^{RCS*} > \frac{2\theta_1 C_L(\alpha - \beta c_m)}{\beta[2(2 - \theta_1 - \theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} = w_{\min}^{RCS} \tag{26}$$

$$\lambda_2^{RCS} < 1 \Rightarrow w^{RCS*} < \frac{2[(2-\theta_1)\beta c_m - \theta_2\alpha]C_L - \beta\Delta^2\alpha}{\beta[2(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]} = w_{\max}^{RCS} \quad (27)$$

为保证  $w_{\min}^{RCS} \leq w_{\max}^{RCS}$ ，制造商和零售商的 CSR 履行水平之和应满足：

$$0 \leq \theta_1 + \theta_2 \leq \min \left\{ \frac{\beta[4C_L c_m - \alpha\Delta^2]}{2\alpha C_L}, 2 \right\}$$

相应的回收商回收率  $\tau^{RCS*} \in \left[ \frac{\Delta(\alpha - \beta c_m)}{2C_L - \beta\Delta^2}, \frac{\Delta\alpha}{4C_L} \right]$ ，即双方 CSR 履行水平及旧品回收率处于上述区间

是 RCS 契约有效的先决条件。

以上仅表明当批发价满足  $w^{RCS*} \in (w_{\min}^{RCS}, w_{\max}^{RCS})$  时，能够使 RCS 契约机制下的成员效用之和达到集中式决策水平。进一步地，为使各方均能接受该契约，必须满足其参与约束，即  $v_m^{RCS*} \geq v_m^{M*}$ ， $v_r^{RCS*} \geq v_r^{M*}$  和  $\pi_t^{RCS*} \geq \pi_t^{M*}$ ，可依次计算如下：

i) 由  $v_r^{RCS*} \geq v_r^{M*}$ ，可推知

$$\lambda_2^{RCS} \geq \frac{16[4\theta_1 + 3\theta_1^3 + 2(2-\theta_2)^2 - 2(5-\theta_2)\theta_1^2]C_L^2 - 8[4(2-\theta_1-\theta_2) + \theta_1\theta_2]C_L\beta\Delta^2 + (8-3\theta_1)\beta^2\Delta^4}{2[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} = \underline{\lambda}_2^{RCS} \quad (28)$$

此外，根据  $v_m^{RCS*} + v_r^{RCS*} + \pi_t^{RCS*} = v^{C*}$  以及应确保  $v_m^{RCS*} \geq v_m^{M*}$  和  $\pi_t^{RCS*} \geq \pi_t^{M*}$  均成立，可知  $v_r^{RCS*} \leq v^{C*} - v_m^{M*} - \pi_t^{M*}$ ，进而计算得

$$\lambda_2^{RCS} \leq \frac{16[2(8-6\theta_2 + \theta_2^2) - (4-\theta_2)\theta_1^2 - 4\theta_1(2-\theta_2) + 2\theta_1^3]C_L^2 - 2[28-\theta_1^2-\theta_2^2-4\theta_2-2\theta_1(6+\theta_2)]C_L\beta\Delta^2 - (2-2\theta_1-\theta_2)\beta^2\Delta^4}{2[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} = \bar{\lambda}_2^{RCS} \quad (29)$$

将  $\underline{\lambda}_2^{RCS}$  和  $\bar{\lambda}_2^{RCS}$  代入式 (22) 中，得到

$$w^{RCS} \geq \frac{16[2(2-\theta_1)(2-\theta_1-\theta_2)\beta c_m + (2\theta_1(1-\theta_1)(6-\theta_2) - 2\theta_2(2-\theta_2) + 3\theta_1^3)\alpha]C_L^2 - 8[2(2-\theta_1)\beta c_m + (4-\theta_1)(2-\theta_1-\theta_2)\alpha]C_L\beta\Delta^2 - (2-2\theta_1-\theta_2)\alpha\beta^2\Delta^4}{2\beta[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} = \underline{w}^{RCS} \quad (30)$$

$$w^{RCS} \leq \frac{16(4-2\theta_1-\theta_2)[2(2-\theta_1)\beta c_m + (2\theta_1-\theta_1^2-2\theta_2)\alpha]C_L^2 + 2[2(2-\theta_1-\theta_2)\beta c_m - (32-\theta_1^2-14\theta_1-\theta_2^2-6\theta_2-2\theta_1\theta_2)\alpha]C_L\beta\Delta^2 - (2-2\theta_1-\theta_2)\alpha\beta^2\Delta^4}{2\beta[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} = \bar{w}^{RCS} \quad (31)$$

容易验证  $(\bar{w}^{RCS}, \underline{w}^{RCS}) \in (w_{\min}^{RCS}, w_{\max}^{RCS})$  严格成立。

ii) 由  $v_m^{RCS*} \geq v_m^{M*}$  可推知

$$\frac{[2(2-2\lambda_2^{RCS}-\theta_2)C_L - (1+\lambda_1^{RCS})\beta\Delta^2]}{[2(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} \geq \frac{2}{4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2} \quad (32)$$

iii) 由  $\pi_t^{RCS*} \geq \pi_t^{M*}$  可推知



$$\lambda_1^{RCS} \geq \frac{[2(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2}{[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2} = \underline{\lambda}_1^{RCS}. \quad (33)$$

此外, 根据  $v_m^{RCS*} + v_r^{RCS*} + \pi_t^{RCS*} = v^{C*}$  以及应确保  $v_m^{RCS*} \geq v_m^{M*}$  和  $v_r^{RCS*} \geq v_r^{M*}$  均成立, 可知  $\pi_t^{RCS*} \leq v^{C*} - v_r^{M*} - v_m^{M*}$ , 进而计算得

$$\lambda_1^{RCS} \leq \frac{[2(2-\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2][4(4(2-\theta_1)^2 C_L + (6-3\theta_1-\theta_2)\beta\Delta^2)C_L - \beta^2\Delta^4]}{[4(4-2\theta_1-\theta_2)C_L - \beta\Delta^2]^2 \beta\Delta^2} = \bar{\lambda}_1^{RCS} \quad (34)$$

故  $\lambda_1^{RCS}$  的上限应满足  $\bar{\lambda}_1^{RCS} = \min\{\bar{\lambda}_1^{RCS}, 1\}$ 。

**命题 3: RCS 契约协调时的成本分摊比例  $\lambda_1$  与收入分成比例  $\lambda_2$  的上下限与 CSR 履行水平  $\theta_1, \theta_2$  间的增减关系分别为:**

- i)  $\frac{\partial \lambda_1^{RCS}}{\partial \theta_1} < 0, \frac{\partial \bar{\lambda}_1^{RCS}}{\partial \theta_1} < 0, \frac{\partial \lambda_2^{RCS}}{\partial \theta_1} > 0, \frac{\partial \bar{\lambda}_2^{RCS}}{\partial \theta_1} > 0;$
- ii)  $\frac{\partial \lambda_1^{RCS}}{\partial \theta_2} < 0, \frac{\partial \bar{\lambda}_1^{RCS}}{\partial \theta_2} < 0, \frac{\partial \lambda_2^{RCS}}{\partial \theta_2} < 0, \frac{\partial \bar{\lambda}_2^{RCS}}{\partial \theta_2} < 0.$

命题 3 表明在 RCS 契约协调时, 制造商和零售商 CSR 履行水平的增加均将使回收商承担的回收成本比例上下限降低, 相反制造商承担的回收成本比例上下限提高, 该结论符合常理; 零售商增加 CSR 履行水平将使其自身保留的销售收入比例上下限增加, 而制造商增加 CSR 履行水平将使零售商保留的销售收入比例上下限降低, 该结论可由式(22)推出——容易验证  $\partial w^{RCS*} / \partial \lambda_2^{RCS} > 0$ , 即批发价与零售商保留的销售收入比例正相关, 而制造商的 CSR 履行水平  $\theta_2$  的增加必将引起  $w^{RCS*}$  的降低, 故通过  $w^{RCS*}$  与  $\lambda_2^{RCS}$  的正相关关系可得  $\partial \lambda_2^{RCS} / \partial \theta_2 < 0$  和  $\partial \bar{\lambda}_2^{RCS} / \partial \theta_2 < 0$ ; 虽然零售商 CSR 履行水平  $\theta_1$  的增加也会使  $w^{RCS*}$  降低, 但由于  $p^{RCS*}$  随  $\theta_1$  的下降幅度更大, 零售商边际利润  $(p^{RCS*} - w^{RCS*})$  缩减, 故其需要更高的分成比例以保证自身效用, 即  $\lambda_2^{M-RCS}, \bar{\lambda}_2^{M-RCS}$  增加。

### 8. 算例分析

本节通过算例验证命题 1 至命题 3。假设某可再制造产品的相关参数取值如下: 市场容量  $\alpha = 60$ , 价格敏感因子  $\beta = 4$ , 新品生产成本和旧品再制造成本分别为  $c_m = 8$  和  $c_r = 3$ , 则成本节约额  $\Delta = c_m - c_r = 5$ , 回收规模系数  $C_L = 300$ 。考虑到当前 CSR 实践尚处于起步阶段, 故假定制造商和零售商的 CSR 履行水平  $\theta_1, \theta_2$  不会过高, 其上限均为 0.5 [18]。在此基础上借助 Matlab 软件分析  $\theta_1, \theta_2$  在从 0 到 0.5 的增长过程中, 两种决策模式下的零售价、回收率、系统总效用及 RCS 契约参数的变化趋势, 具体由图 1~5 给出。

图 1 和图 2 表明分散式决策下的零售价和回收率分别高于和低于集中式决策, 且两种模式的零售价均随制造商和零售商的 CSR 履行水平的增加而降低, 相反回收率均随二者 CSR 履行水平的增加而提升, 故任一方 CSR 履行水平的增加均有助于增加消费者剩余并改善环保绩效。但可发现分散式决策下零售商 CSR 履行水平的增加所产生的价格降低幅度与回收率提升幅度均大于同等增量的制造商 CSR 履行水平。图 3 表明两种模式下的系统总效用均随双方 CSR 履行水平增加, 但分散式决策明显劣于集中式决策。即因此图 1~3 验证了命题 1 和命题 2 的结论。

首先易证明  $\theta_1, \theta_2$  的取值范围能够满足 RCS 契约协调闭环供应链的先决条件。基于此, 图 4 和图 5 分别给出了该契约中双方 CSR 履行水平对零售商销售收入分成比例  $\lambda_2$  的上下限及回收商的回收成本承担比例  $\lambda_1$  下限的影响。从图中可发现  $\lambda_2$  上下限分别随  $\theta_1$  提高及随  $\theta_2$  而降低;  $\lambda_1$  下限随  $\theta_1$  和  $\theta_2$  均降低(在

本算例中, 由式(34)得到的理论上限  $\bar{\lambda}_1$  严格大于 1, 故无论  $\theta_1$  和  $\theta_2$  取值如何,  $\bar{\lambda}_1$  均为 1), 因此验证了命题 3 的结论。但需指出的是, 在 RCS 契约有效即各方效用(利润)均比分散式决策有所改善的要求下,  $\bar{\lambda}_1$  与  $\bar{\lambda}_2$  无法同时实现。原因如下:  $\underline{\lambda}_1$  与  $\underline{\lambda}_2$  保证协调时回收商和零售商分别实现对分散式决策利润(效用)的 Pareto 改进,  $\bar{\lambda}_1$  与  $\bar{\lambda}_2$  则确保协调时其他两位成员效用(利润)至少不低于分散式决策。如  $\lambda_2 = \bar{\lambda}_2$  意味着将协调状态下系统总效用(即集中式决策下的系统效用)相比于分散式决策系统总效用的增量完全分配给零售商, 此时制造商和回收商均只能获得与分散式决策相同的效用(利润), 故在满足各方参与约束条件下  $\bar{\lambda}_2$  必然对应于  $\underline{\lambda}_1$ ; 而当  $\bar{\lambda}_1 = 1$  时,  $\lambda_2$  不必取  $\underline{\lambda}_2$ , 这是因为仅当  $\lambda_1 = \bar{\lambda}_1 > 1$  时, 协调状态相比于分散式决策的系统总效用增量才完全属于回收商, 但考虑到  $\bar{\lambda}_1 > 1$  且  $\lambda_1$  取值范围被限定在区间  $[0, 1]$ , 故当  $\bar{\lambda}_1 = 1$  时, 尚有部分效用增量由制造商与零售商共同所有, 具体分配结果取决于双方的谈判能力, 在零售商谈判能力最低的情况下,  $\lambda_2 = \underline{\lambda}_2$ , 此部分效用增量完全归属于制造商; 而只要满足  $\lambda_2 > \underline{\lambda}_2$ , 则双方可共享该部分增量。因此  $\lambda_1$  (或  $\lambda_2$ ) 上下限仅能保证回收商(或零售商)自身实现 Pareto 改进, 而二者可行组合还应满足契约协调状态下的制造商利润不低于分散式决策。

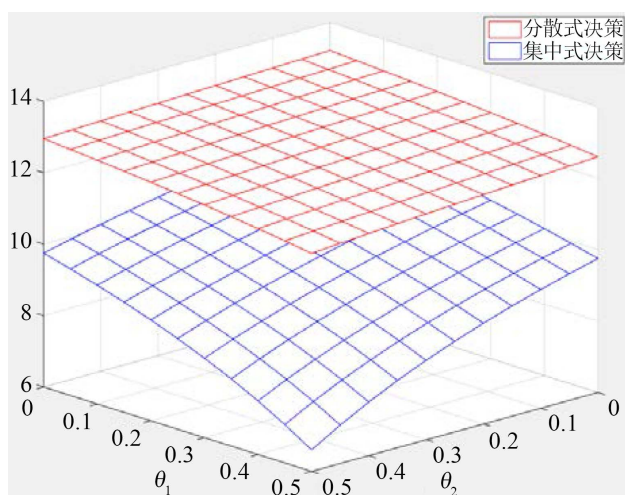


Figure 1. Product price vs.  $\theta_1, \theta_2$

图 1. 产品价格 vs.  $\theta_1, \theta_2$

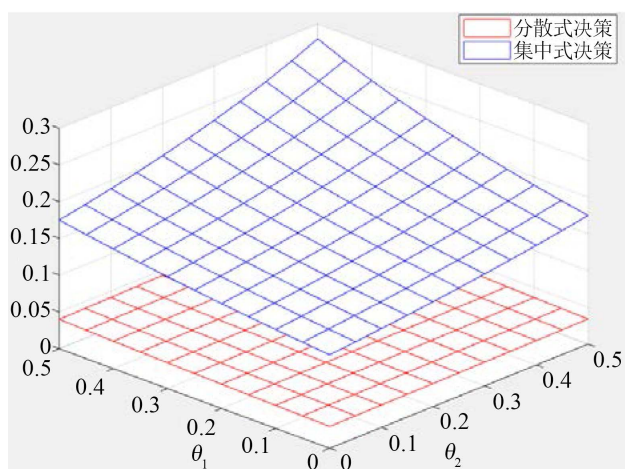


Figure 2. Collection rate vs.  $\theta_1, \theta_2$

图 2. 回收率 vs.  $\theta_1, \theta_2$

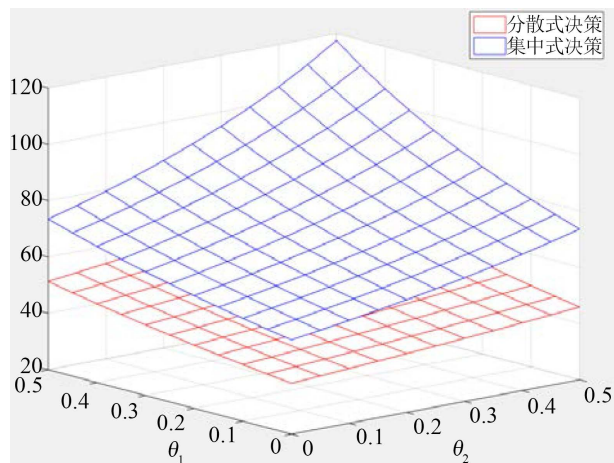


Figure 3. Total system utility vs.  $\theta_1, \theta_2$

图 3. 系统总效用 vs.  $\theta_1, \theta_2$

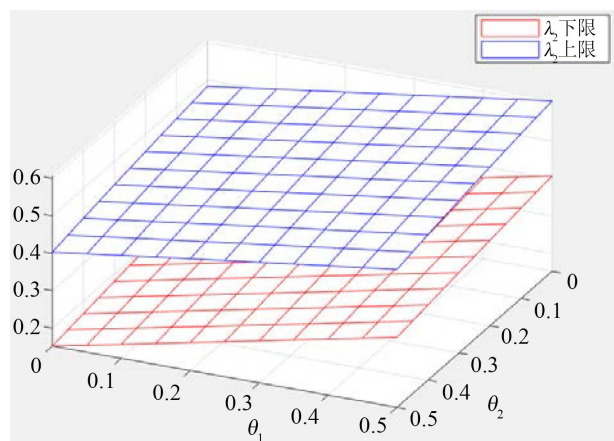


Figure 4. The upper and lower bound of revenue sharing ratio  $\lambda_2$  vs.  $\theta_1, \theta_2$

图 4. 利润分成比例  $\lambda_2$  上下限 vs.  $\theta_1, \theta_2$

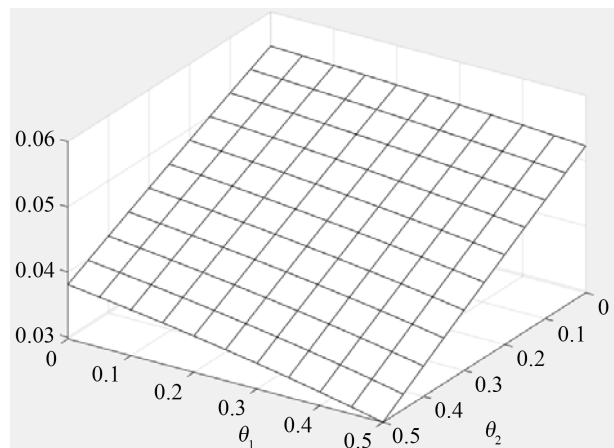


Figure 5. The lower bound of cost sharing ratio  $\lambda_1$  vs.  $\theta_1, \theta_2$

图 5. 成本分摊比例  $\lambda_1$  下限 vs.  $\theta_1, \theta_2$

## 9. 结束语

本文围绕第三方回收的闭环供应链系统,分别探讨了集中式和分散式两种决策模式下制造商和零售商同时履行 CSR 时的成员定价、回收率与 CSR 履行水平决策,然后提出 RCS 契约对分散式决策予以协调,主要结论如下:

1) 在分散式决策下,制造商和零售商 CSR 履行水平的增加均能够改善回收效率、降低零售价并提高消费者福利,但从某种程度而言,作为渠道领导者的制造商引领零售商履行 CSR 比其自身履行 CSR 的效果更加显著。

2) 当制造商与零售商的 CSR 履行水平之和处于一定区间时,若继续满足制造商和零售商间的收入分成比例、制造商与回收商间的回收成本分担比例均在合理范围内,则 RCS 契约能完美协调该第三方回收型闭环供应链,实现三方效用(利润)的 Pareto 改进。

3) 在协调状态下,制造商或零售商 CSR 履行水平的增加均将使回收商承担的回收成本比例上下限降低,相反制造商承担的回收成本比例上下限提高;零售商(制造商)增加 CSR 履行水平将使零售商可行销售收入比例的上下限增加(降低)。

未来的研究方向是探讨存在多个回收方的闭环供应链定价、CSR 水平与协调策略。

## 基金项目

教育部人文社会科学研究项目(17YJC630130);山东省自然科学基金(ZR2017MG015)。

## 参考文献

- [1] Freeman, R.E. (2001) *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] 洪巍, 史敏, 洪小娟, 等. 食品安全网络舆情中网民微博转发行为影响因素研究——以上海福喜事件为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 21(5): 167-176.
- [3] Amaeshi, K.M., Osuji, O.K. and Nnodim, P. (2008) Corporate Social Responsibility in Supply Chains of Global Brands: A Boundaryless Responsibility? Clarifications, Exceptions and Implications. *Journal of Business Ethics*, **81**, 223-234. <https://doi.org/10.1007/s10551-007-9490-5>
- [4] Savaskan, R.C., Bhattacharya, S. and Van Wassenhove, L.N. (2004) Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing. *Management Science*, **50**, 239-252. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0186>
- [5] 姚锋敏, 王悦, 滕春贤. 考虑 CSR 的闭环供应链销售努力与定价决策[J]. *计算机集成制造系统*, 2020, 26(3): 839-848.
- [6] Ciliberti, F., De Haan, J., De Groot, G., et al. (2011) CSR Codes and the Principal-Agent Problem in Supply Chains: Four Case Studies. *Journal of Cleaner Production*, **19**, 885-894. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.005>
- [7] Nikolaou, I.E., Evangelinos, K. and Allan, S. (2013) A Reverse Logistics Social Responsibility Evaluation Framework Based on the Triple Bottom Line Approach. *Journal of Cleaner Production*, **56**, 173-184. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.009>
- [8] Cruz, J.M. (2008) Dynamics of Supply Chain Networks with Corporate Social Responsibility through Integrated Environmental Decision-Making. *European Journal of Operational Research*, **184**, 1005-1031. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.12.012>
- [9] Cruz, J.M. (2013) Mitigating Global Supply Chain Risks through Corporate Social Responsibility. *International Journal of Production Research*, **51**, 3995-4010. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.762134>
- [10] Ni, D., Li, K.W. and Tang, X. (2010) Social Responsibility Allocation in Two-Echelon Supply Chains: Insights from Wholesale Price Contracts. *European Journal of Operational Research*, **207**, 1269-1279. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.06.026>
- [11] Modak, N.M., Panda, S., Sana, S.S., et al. (2014) Corporate Social Responsibility, Coordination and Profit Distribution in a Dual-Channel Supply Chain. *Pacific Science Review*, **16**, 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.pscr.2015.05.001>
- [12] Raza, S.A. (2018) Supply Chain Coordination under a Revenue-Sharing Contract with Corporate Social Responsibility and Partial Demand Information. *International Journal of Production Economics*, **205**, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.023>

- 
- [13] Liu, Y., Qaun, B., Xu, Q., *et al.* (2019) Corporate Social Responsibility and Decision Analysis in a Supply Chain through Government Subsidy. *Journal of Cleaner Production*, **208**, 436-447. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.121>
- [14] 高举红, 韩红帅, 侯丽婷, 等. 考虑社会责任的闭环供应链决策与协调[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(6): 1453-1461.
- [15] 郑本荣, 杨超, 杨珺. CSR投入对闭环供应链定价与协调决策的影响[J]. 中国管理科学, 2018, 26(10): 64-78.
- [16] Liu, Y. and Xiao, T. (2020) Pricing and Collection Rate Decisions and Reverse Channel Choice in a Socially Responsible Supply Chain with Green Consumers. *IEEE Transactions on Engineering Management*, **67**, 483-495. <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2887118>
- [17] Panda, S., Modak, N.M. and Cárdenas-Barrón, L.E. (2017) Coordinating a Socially Responsible Closed-Loop Supply Chain with Product Recycling. *International Journal of Production Economics*, **188**, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.010>
- [18] 刘亮, 李斧头. 零售商视角下的双边社会责任闭环供应链最优决策与协调研究[J]. 工业工程与管理, 2018, 23(6): 173-181.
- [19] Shu, T., Liu, Q., Chen, S., *et al.* (2018) Pricing Decisions of CSR Closed-Loop Supply Chains with Carbon Emission Constraints. *Sustainability*, **10**, 1-25. <https://doi.org/10.3390/su10124430>
- [20] 许民利, 郭爽, 简惠云. 考虑企业社会责任和广告效应的闭环供应链决策[J]. 管理学报, 2019, 16(4): 615-623.
- [21] 刘珊, 姚锋敏, 陈东彦, 等. 不同权力结构下闭环供应链 CSR 分摊机制及定价策略[J]. 控制与决策, 2020, 35(6):1525-1536.
- [22] 杨宽, 柳玉娟, 徐伟进, 等. 突发事件风险下考虑企业社会责任的闭环供应链决策[J]. 财经理论与实践, 2020, 41(2): 100-107.
- [23] 姚锋敏, 刘珊, 陈东彦, 等. 具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, 34(9): 1981-1990.
- [24] Liu, L., Wang, Z., Xu, L., *et al.* (2017) Collection Effort and Reverse Channel Choices in a Closed-Loop Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, **144**, 492-500. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.126>