

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2023.04.012

绿色补贴背景下逆向供应链主体合谋行为研究

唐一恒, 郑湘明, 张 萌

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 为探究绿色补贴背景下逆向供应链中的合谋诈骗行为, 在有限理性假设下, 构建了基于前景理论的政府、制造商和回收商的三方博弈模型, 研究逆向供应链中制造商和回收商合谋骗取政府绿色补贴的行为原理, 分析了影响政府、制造商和回收商决策的关键因素。运用 Matlab 进行算例分析, 探究均衡概率和各个参数之间的关系。结果表明: 政府的核查能力、惩罚力度、核查成本等因素能够对逆向供应链中的合谋行为产生关键影响; 对于制造商和回收商而言, 再制造成本和分赃比例是决定其是否合谋的主要因素。最后, 站在政府角度, 从核查能力、风险警示和完善奖惩制度3个方面提出了合谋防范建议。

关键词: 绿色补贴; 逆向供应链; 前景理论; 三方博弈

中图分类号: F224.32

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2023)04-0080-08

引文格式: 唐一恒, 郑湘明, 张 萌. 绿色补贴背景下逆向供应链主体合谋行为研究 [J]. 湖南工业大学学报, 2023, 37(4): 80-87.

Research on Collusive Risk Prevention Strategy of Reverse Supply Chain Under the Background of Green Subsidies

TANG Yiheng, ZHENG Xiangming, ZHANG Meng

(College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of an exploration of the collusive fraud in the reverse supply chain under the background of green subsidies, under the assumption of bounded rationality, a tripartite game model has thus been constructed of the government, manufacturers and recyclers based on prospect theory, followed by a study on the behavior principle of manufacturers and recyclers conspiring to defraud the government's green subsidies in the reverse supply chain, as well as an analysis of the key factors affecting the decision-making of the government, manufacturers and recyclers. Matlab is used for an example analysis to explore the relationship between equilibrium probability and various parameters. The results show that such factors as the governmental verification ability, penalty force, and verification cost exert a key impact on the collusive behavior in the reverse supply chain. For manufacturers and recyclers, remanufacturing costs and the spoils share are the main factors determining whether or not to take collusive risks. Finally, from the perspective of the government, suggestions are put forward for a collusive prevention from three aspects: verification ability, risk warning and penalty system improvement.

Keywords: green subsidy; reverse supply chain; prospect theory; tripartite game

收稿日期: 2022-07-22

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(21BGL025); 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目(CX2125)

作者简介: 唐一恒(1997-), 女, 江苏南京人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为物流系统规划与设计技术,

E-mail: tyhjob97@163.com

通信作者: 郑湘明(1967-), 男, 湖南耒阳人, 湖南工业大学研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为资源环境管理,

E-mail: xiangmingz333@163.com

0 引言

随着全球科技与经济的飞速发展,环境污染、资源浪费等问题日趋严重,各种废弃物并未得到很好的处理和二次利用,导致了大量的资源浪费。针对这些问题,我国在“十四五”规划中提出构建废旧产品循环体系的战略方针,这是保护环境、节约资源的关键环节,也是环境保护过程中提高资源可持续利用率的必经之路^[1]。资源回收作为节约资源的重要手段,越来越多的国家通过补贴奖励的方式推进回收企业大力开展环保行动。在日益严重的环境污染与资源浪费背景下,传统回收方式因为操作不规范、效率低下等问题,无法满足社会回收需求,逆向供应链的回收再利用已成为重要的资源节约方式。

2017年10月,国务院办公厅印发了《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》,这是我国首次部署供应链创新与应用的相关工作,明确了未来逆向供应链的发展方向。逆向供应链涉及消费者、回收商、制造商等多个参与主体,在相互关联的同时彼此之间也具有独立性^[2]。在逆向供应链中,回收商和制造商通过回收废弃物对资源进行处理后循环利用,能够将物品价值发挥到最大化,在减少环境污染的同时也可提高资源利用率,缓解资源紧缺问题;再者,政府作为市场监管主体,一方面通过绿色补贴等激励手段提高企业资源回收的积极性,但因为逆向供应链中存在信息不对称现象,若政府监管不力,回收商和制造商可能会通过信息造假、隐瞒回收信息等行为来合谋骗取补贴。因此,在绿色补贴背景下,政府如何进行有效监管以防范回收商与制造商的合谋行为,是逆向供应链发展过程中极需关注的问题。

1 文献综述

逆向供应链已经成为物流发展中非常重要的一部分,其概念源自于逆向物流,作为一种市场行为,其主要作用是对废弃物品的回收与再利用。有关逆向物流与逆向供应链的研究,国外学者涉及较早,J. R. Stock^[3]在他的著作中对逆向物流进行了初次定义,表明逆向物流是一种涵盖了退货、废弃物再加工及产品维修等多道流程的物流行为。D. S. Rogers等^[4]认为逆向供应链就是一个从消费到回收的反向过程,将产品材料及信息进行二次处理和规划,从而保证资源回收利用。经过不断的实践发展,国内学者对逆向供应链的研究也在深化,但对其概念并没有统一的定义。曹建华等^[5]认为逆向供应链的主要作用是获取废弃产品的剩余及隐藏价值,是一种降低运营成本的

盈利策略。逆向供应链的一般流程是回收商通过回收消费者手中的废弃物品,并转移到回收处理中心后进行统一操作,包括产品分类、材料检测、物品分解等行为,保留还有回收价值的部分物料,通过处理进行二次利用,根据物料类别、折旧率等属性分别转移到其他主体来获取利益,而失去利用价值的其他物料无法二次回收^[6]。

为了从不同层面对逆向供应链开展更深入的研究,国内许多学者运用博弈论来分析逆向供应链中各主体的行为。王玉燕等^[7]在政府奖惩机制背景下研究了不同供应商的逆向供应链演化流程。付小勇等^[8]分析了市场存在回收竞争的情况下逆向供应链回收渠道的各类影响因素,发现政府实施补贴政策能够稳定回收商的回收策略。在逆向供应链过程中,政府成为逆向供应链体系中重要的一部分,可以有效减少信息不对称带来的负面影响,此外,适当的监管也可以协调各主体之间的利益冲突。伍晓茜等^[9]运用演化博弈论分析了逆向供应链过程中政府补贴力度对回收商与制造商两个主体合作行为的影响。柳键等^[10]研究发现,政府的补贴政策能够在一定程度上提高逆向供应链的总体效益。范定祥等^[11]采用了两级回收供应链演化博弈模型,探讨了政府补贴惩罚机制对逆向供应链中回收主体积极性的影响。何海龙等^[12]通过建立三方博弈模型,研究了政府管制对快递包装回收产业的影响,发现适当监管有利于建立市场秩序,并推动逆向供应链的发展。

综上所述,以往的研究虽考虑了政府参与对逆向供应链机制的影响,但仍缺少将政府作为关键主体引入博弈模型的研究,同时也缺乏对逆向供应链内部主体之间可能存在合谋行为的探讨,此外,对各主体的前提假设均建立在完全理性的条件下,涉及有限理性的研究还较少。因此,本文拟在有限理性的假设下,基于前景理论构建三方博弈模型,探讨政府、制造商和回收商3个主体之间的利益竞合关系,并针对制造商与回收商二者的合谋行为展开分析,进而提出防范合谋的对策建议,从而促进我国逆向供应链体系的完善与发展。

2 基于前景理论的三方寻租博弈模型构建

2.1 主体及主体间关系

绿色补贴背景下,逆向供应链中合谋寻租行为博弈主要涉及三方主体,分别是政府、制造商和回收商。政府为逆向供应链的发起方,不直接参与回收再制造

行为,其通过建立逆向供应链体系,提升资源利用效率和降低能源消耗,最终提高社会整体福利;制造商,逆向供应链中的行动方之一,主要负责对废旧物品进行二次加工,通过销售二次加工的产品获取一定收益。政府会对制造商和回收商的回收再利用行为进行核查与监督,确保回收再利用工作的正常开展;回收商,逆向供应链的另一个行动方,主要负责对废旧物品进行回收,将回收到的废旧物品交由制造商进行二次加工处理。三者的关系如图1所示。

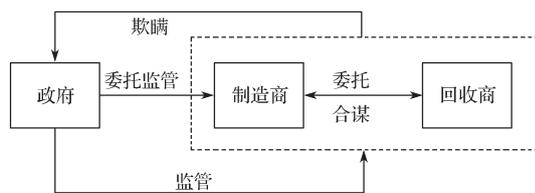


图1 主体关系图

Fig.1 Principal relationship diagram

在三者的关系中,政府与制造商之间是“委托-代理”关系,即政府委托制造商进行废旧物品的二次加工利用,政府会根据制造商对废旧物品的加工数量给予制造商一定的绿色补贴,从而激励制造商的回收再利用行为,政府也会对制造商与回收商的回收再利用行为进行核查与监督,确保回收再利用工作的正常开展。制造商与回收商之间同样为“委托-代理”关系,制造商本身不直接对废旧物品进行回收,而是负责对废旧物品的二次加工与销售,制造商付与回收商佣金,委托回收商对废旧物品进行回收。对于制造商而言,因为与政府的“委托-代理”关系存在信息不对称,当政府给予的绿色补贴金额不足以覆盖制造商回收再制造的成本时,制造商可能会联合回收商开展合谋行为,骗取更多的绿色补贴额度,而为了让回收商配合自己的工作,增加信息不对称,确保政府不会通过回收商获得相关回收信息,制造商会将二者合谋骗取的补贴金按一定比例与回收商进行分赃,而当回收商通过回收制造获得佣金收益较小或者无法覆盖其回收成本时,也会产生强烈的合谋动机。合谋让二者获得巨额利益的同时,本身付出的成本较少,且二者合谋与政府之间的信息不对称就更加严重,这会大大增加政府的核查难度。故在逆向供应链中,为了保证回收利用工作的正常开展,政府会对制造商和回收商的回收再利用行为进行核查与监督,制造商与回收商的合谋会提高信息不对称程度,降低政府核查成功的概率。

在三者的关系中,政府的补贴投入能有效地推动制造商和回收商积极参与回收工作,从而调节制造商和回收商的市场行为,同时也会对制造商和回收商的

行为进行规范和监督。政府的监督力度与逆向供应链中其他主体的利益紧密相关,为达到利益最大化,制造商和回收商决定是否形成合谋关系,通过虚报回收信息骗取更多的绿色补贴。

2.2 模型主要参数及基本假设

模型主要参数及定义如表1所示。

表1 模型参数及含义

Table 1 Model parameters with interpretation

参数	含义	参数	含义
Q_h	高回收量	p_1	政府核查实际概率
Q_l	低回收量	p_2	政府核查成功概率
R_g	单位社会收益	p_3	制造商和回收商合谋实际概率
R_m	制造商回收再制造单位产品收益	x	实际收益
C_g	政府核查成本	α	收益风险态度系数
C_m	制造商加工再制造成本	β	损失风险态度系数
C_c	回收商回收成本	λ	损失厌恶系数
z	制造商给回收商的回收单位委托费用	g	合谋骗取补贴后制造商获得金额比例
b	每单位回收产品绿色补贴额	m	对骗取补贴的行为处以 m 倍惩罚

以下为建立模型的前提假设。

假设1 政府、制造商和回收商在博弈中均为有限理性,相较于收益,三者均对损失更加敏感。

假设2 政府委托制造商对废旧物品进行回收再加工,制造商通过与回收商合作进行废旧物品的再利用。制造商再加工一单位废旧物品可增加社会整体福利 R_g 。

假设3 制造商与回收商合作开展回收再利用,制造商委托回收商回收废旧物品,制造商负责二次加工与出售。其中,回收商回收一单位的废旧物品所需的成本为 C_c ,制造商再加工一单位废旧物品的成本为 C_m ,每出售一单位再加工产品的收益为 R_m 。此外,因为制造商是委托回收商进行回收,故需支付回收商委托费用,每单位废旧物品的回收委托费用为 z 。

假设4 政府对制造商的回收再利用行为进行补贴激励,每单位废旧物品给予 b 的补贴。

假设5 制造商和回收商做出合谋风险决策,结果为(合谋,不合谋)。通过谎报回收数量以骗取政府补贴(包括合谋与不合谋两种决策),其中合谋的实际概率为 p_3 ,不合谋的实际概率为 $1-p_3$, $0 < p_3 < 1$,面临的危险是被政策核查发现合谋行为受到惩罚。在二者合谋的情况下,制造商与回收商实际回收数量为 Q_l ,但上报的回收数量为 Q_h ($Q_h > Q_l$),合谋骗取的补贴金额为 $b(Q_h - Q_l)$,二者对骗取的补贴金额进行分赃,其中制造商获得的比例为 g ,回收商获得的比例为 $1-g$ 。

假设6 政府作出对合谋行为的核查决策,结果

为(核查, 不核查), 其中核查的实际概率为 p_1 , 不核查的实际概率为 $1-p_1$, $0 < p_1 < 1$ 。若选择对制造商和回收商核查, 则需要付出核查成本 C_g , 主要对制造商和回收商的废旧产品的回收在加工量进行核查, 假设政府核查根据客观需求, 只要实施核查行为, 就需要付出成本 C_g , 故 C_g 为客观固定成本。

假设 7 因为合谋行为具有隐蔽性, 且政府与制造商、回收商之间存在信息不对称, 另外受限于人力与物力, 政府对合谋行为进行核查不能保证百分之百查处成功, 存在(核查成功, 失败) 两种可能, 其中核查成功的概率为 p_2 , 核查失败的概率为 $1-p_2$, $0 < p_2 < 1$ 。

假设 8 政府对合谋行为进行核查, 若发现制造商与回收商存在合谋行为, 对制造商和回收商各自瓜分的骗取补贴额分别处以 m 倍的惩罚, $m > 1$ 。

2.3 博弈模型构建

2.3.1 前景理论

前景理论是由 D. Kahneman 等^[13]在 1979 年提出的, 其从心理行为学的角度考虑风险决策的相关问题, 研究风险不确定情况下主体行为策略的变化及特点。该理论能够体现有限理性主体在决策时的行为特征^[14], 现阶段的前景理论在构建主体博弈模型中有一定的应用, 不同主体根据不同的考虑因素, 所持有的风险态度亦不相同。李玉等^[15]基于个体有限理性假设, 结合前景理论构建了众包物流参与者感知收益博弈矩阵, 对物流配送方案决策行为进行演化博弈分析。雷勋平等^[16]基于前景理论建立了政府监管部门与被监管企业的演化博弈模型, 构建食品行业行为监管前景值矩阵。柴智慧等^[17]运用前景理论研究了财政补贴对保险公司不规范行为的影响, 建立财政补贴背景下保险公司决策行为的影响模型。综上, 通过前景理论构建博弈模型, 能够在不确定条件下参照主观偏好对主体行为的影响, 从而更加全面地考虑相关不确定因

素, 进而有效分析收益或损失对决策者的影响。

在前景理论中, 决策者对于其损失和收益的感知价值可以用前景值 V 来衡量, 而前景值 V 则由价值函数 $v(x)$ 与权重函数 $\pi(p_i)$ 共同决定。 $v(x)$ 是实际收益 x 与决策者参照差值的函数, $\pi(p_i)$ 用来决策实际损益能够为决策者带来的主观感受价值, 是事件发生的实际概率 p_i 的函数, 表示决策者对于事件发生概率的主观判断。如制造商和回收商对政府选择核查策略的主观判断概率为 $\pi(p_1)$, 政府对制造商与回收商合谋的主观判断概率为 $\pi(p_3)$ 等。其关系为

$$V_i = \sum_{i=1}^n \pi(p_i)v(\Delta\varphi_i) \quad (1)$$

权重函数 $\pi(p_i)$ 中, 当 p_i 较小时, $\pi(p_i) > p_i$, 当 p_i 较大时, $\pi(p_i) < p_i$, 即在前景理论的假设前提下, 个体对低概率事件的主观感知高于事件发生的实际概率, 而对高概率事件的感知则低于实际概率。价值函数 $v(\Delta\varphi_i)$ 中, $\Delta\varphi_i$ 表示主观预期与个体参照点的差值, 由决策者预期所决定。 α 和 β 为决策者的风险态度系数, 通常情况下 $0 < \alpha \leq \beta \leq 1$; λ 为决策者为个体损失厌恶系数, 通常情况下 $\lambda > 1$ 。在前景理论假设下, 政府、制造商和回收商均是损失规避, 即相对于收益, 对于损失的风险敏感度更高。权重和价值函数如下:

$$\pi(p_i) \begin{cases} \pi^+(p_i) = p_i^\alpha [p_i^\alpha + (1-p_i)^\alpha]^{-\frac{1}{\alpha}}; \\ \pi^-(p_i) = p_i^\beta [p_i^\beta + (1-p_i)^\beta]^{-\frac{1}{\beta}}. \end{cases} \quad (2)$$

且 $\pi(0)=0, \pi(1)=1$,

$$v(\Delta\varphi_i) \begin{cases} (\Delta\varphi_i)^\alpha, \Delta\varphi_i \geq 0; \\ -\lambda(-\Delta\varphi_i)^\beta; \Delta\varphi_i \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

2.3.2 混合策略博弈模型构建

根据以上假设与参数, 本文构建了基于前景理论的政府、制造商和回收商三方在逆向供应链中的混合策略博弈收益矩阵, 如表 2 所示。

表 2 三方博弈矩阵

Table 2 Tripartite game matrix

		核查 $\pi(p_1)$		不核查 $\pi(1-p_1)$
		核查成功 $\pi(p_2)$	核查不成功 $\pi(1-p_2)$	
合谋 $\pi(p_3)$	政府	$Y_1: (Q_1R_g)^\alpha - (bQ_h)^\beta + [mb(Q_h - Q_1)]^\alpha - C_g$	$Y_2: (Q_1R_g)^\alpha - (bQ_h)^\beta - C_g$	$Y_{13}: (R_gQ_1)^\alpha - (bQ_h)^\beta$
	制造商	$Y_3: -[mb(Q_h - Q_1)g]^\beta + (Q_1b)^\alpha + [b(Q_h - Q_1)g]^\alpha + (Q_1R_m)^\alpha - (Q_1C_m)^\beta - (Q_1z)^\beta$	$Y_4: [b(Q_h - Q_1)g]^\alpha + (Q_1b)^\alpha + (Q_1R_m)^\alpha - (Q_1C_m)^\beta - (Q_1z)^\beta$	$Y_{14}: [b(Q_h - Q_1)g]^\alpha + (Q_1b)^\alpha + (Q_1R_m)^\alpha - (Q_1C_m)^\beta - (Q_1z)^\beta$
	回收商	$Y_5: -[mb(Q_h - Q_1)(1-g)]^\beta + [b(Q_h - Q_1)(1-g)]^\alpha + (Q_1z)^\alpha - (Q_1C_c)^\beta$	$Y_6: [b(Q_h - Q_1)(1-g)]^\alpha + (Q_1z)^\alpha - (Q_1C_c)^\beta$	$Y_{15}: [b(Q_h - Q_1)(1-g)]^\alpha + (Q_1z)^\alpha - (Q_1C_c)^\beta$
不合谋 $\pi(1-p_3)$	政府	$Y_7: (Q_1R_g)^\alpha - (bQ_h)^\beta - C_g$	$Y_8: (Q_hR_g)^\alpha - (bQ_h)^\beta - C_g$	$Y_{16}: (R_gQ_h)^\alpha - (bQ_h)^\beta$
	制造商	$Y_9: (bQ_h)^\alpha + (Q_hR_m)^\alpha - (Q_hC_m)^\beta - (Q_hz)^\beta$	$Y_{10}: (bQ_h)^\alpha + (Q_hR_m)^\alpha - (Q_hC_m)^\beta - (Q_hz)^\beta$	$Y_{17}: (bQ_h)^\alpha + (Q_hR_m)^\alpha - (Q_hC_m)^\beta - (Q_hz)^\beta$
	回收商	$Y_{11}: (Q_hz)^\alpha - (Q_hC_c)^\beta$	$Y_{12}: (Q_hz)^\alpha - (Q_hC_c)^\beta$	$Y_{18}: (Q_hz)^\alpha - (Q_hC_c)^\beta$

3 模型分析

3.1 模型求解

命题 1 当制造商、回收商合谋骗取补贴的概率为 $C_g[p_2 - (bm(Q_h - Q_h))^{-1}]$ 时 (记为 p_3^*)，政府对合谋行为核查或不核查，对其造成的损失收益相同；当合谋概率 $p_3 > p_3^*$ 时，政府会对合谋行为进行核查，以防止合谋行为造成社会福利和补贴损失；当合谋概率 $p_3 < p_3^*$ 时，政府不会开展核查工作。

证明 给定制造商与回收商合谋概率 p_3 ，政府进行合谋核查的前景值为

$$V_{11} = \pi(p_3)[\pi(p_2)Y_1 + \pi(1-p_2)Y_2] + \pi(1-p_3)[\pi(p_2)Y_7 + \pi(1-p_2)Y_8], \quad (4)$$

政府不进行监管的前景值为

$$V_{12} = \pi(p_3)Y_{13} + \pi(1-p_3)Y_{16}. \quad (5)$$

当政府进行核查和不进行核查的前景值相等时，博弈实现均衡。令 $V_{11} = V_{12}$ ，解得：

$$p_3^* = C_g [p_2(-bm(Q_h - Q_h))^\alpha]^{-1}.$$

命题 2 当政府核查概率为

$$\left[\lambda((ZQ_h)^\beta - (ZQ_l)^\beta - (C_m Q_l)^\beta + (C_m Q_h)^\beta) + (R_m Q_l)^\alpha - (R_m Q_h)^\alpha + (bg(Q_h - Q_l))^\alpha + (bQ_l)^\alpha - (bQ_h)^\alpha \right]^{-1} \left[\lambda(p_2(bgm(Q_h - Q_l)^\beta)) \right]^{-1}$$

时 (记为 p_1^1)，制造商参与合谋和不参与合谋的前景值相等；当核查概率 $p_1 > p_1^1$ 时，制造商将不会参与合谋，因为合谋带来的收益远不及合谋被发现后所带来的处罚损失；当核查概率 $p_1 < p_1^1$ 时，制造商将愿意参与合谋。

以制造商的合谋决策为着眼点，给定政府核查的概率 p_1 ，制造商参与合谋的前景值为

$$V_{21} = \pi(p_1)[\pi(p_2)Y_3 + \pi(1-p_2)Y_4] + \pi(1-p_1)Y_{14}, \quad (6)$$

不参与不合谋的前景值为

$$V_{22} = \pi(p_1)[\pi(p_2)Y_9 + \pi(1-p_2)Y_{10}] + \pi(1-p_1)Y_{17}. \quad (7)$$

当制造商参与和不参与合谋的前景值相等时，博弈实现均衡。令 $V_{21} = V_{22}$ ，解得：

$$p_1^1 = \left[\lambda((ZQ_h)^\beta - (ZQ_l)^\beta - (C_m Q_l)^\beta + (C_m Q_h)^\beta) + (R_m Q_l)^\alpha - (R_m Q_h)^\alpha + (bg(Q_h - Q_l))^\alpha + (bQ_l)^\alpha - (bQ_h)^\alpha \right]^{-1} \left[\lambda(p_2(bgm(Q_h - Q_l)^\beta)) \right]^{-1}.$$

命题 3 当政府的核查概率为

$$\left[((C_c Q_h)^\beta - (C_c Q_l)^\beta) \lambda + (ZQ_l)^\alpha - (ZQ_h)^\alpha + (bQ_h - bQ_l + bgQ_l - bgQ_h)^\alpha \right]^{-1} \left[(p_2(bm(Q_h - Q_l + gQ_h))^\beta) \lambda \right]^{-1}$$

时 (记为 p_1^2)，回收商合谋与不合谋的前景值相等；

当核查概率 $p_1 > p_1^2$ 时，回收商不会选择合谋策略，避免合谋被发现带来巨大损失；当核查概率 $p_1 < p_1^2$ 的概率时，回收商将参与合谋行为，此时合谋收益期望值大于处罚期望值。

以回收商的合谋决策为着眼点，给定政府核查的概率 p_1 ，回收商合谋前景值为

$$V_{31} = \pi(p_1)[\pi(p_2)Y_5 + \pi(1-p_2)Y_6] + \pi(1-p_1)Y_{15}, \quad (8)$$

回收商不合谋的前景值为

$$V_{32} = \pi(p_1)[\pi(p_2)Y_{11} + \pi(1-p_2)Y_{12}] + \pi(1-p_1)Y_{18}. \quad (9)$$

当回收商合谋、不合谋的前景值相等时，博弈实现均衡。令 $V_{31} = V_{32}$ ，解得：

$$p_1^2 = \left[((C_c Q_h)^\beta - (C_c Q_l)^\beta) \lambda + (ZQ_l)^\alpha - (ZQ_h)^\alpha + (bQ_h - bQ_l + bgQ_l - bgQ_h)^\alpha \right]^{-1} \left[(p_2(bm(Q_h - Q_l + gQ_h))^\beta) \lambda \right]^{-1}.$$

3.2 均衡分析

为探究各种因素对三方主体博弈纳什均衡概率的影响机理，课题组使用 Matlab 进行算例分析，观测各个参数变动对纳什均衡概率值的影响。各参数赋值情况及赋值依据如表 3 所示。

表 3 各参数算例分析赋值情况

Table 3 Parameter analysis and value assignment

参数	参数含义	赋值	赋值含义
C_g	核查成本	5	政府核查合谋行为的成本 5 万元
C_m	加工再制造成本	0.3	制造商加工再制造单位成本为 0.3 万元/kg
C_c	回收成本	0.2	回收商回收每千克废旧产品的成本为 0.2 万元/kg
p_2	政府核查成功概率	0.5	50% 的概率核查成功, $0 \leq p_2 \leq 1$
R_g	单位回收产品带来的社会收益	1.5	回收再加工每单位废旧产品的社会收益为 1.5 万元/kg
R_m	单位回收产品的销售收益	0.5	制造商销售加工再制造产品的收益为 0.5 万元/kg
z	单位回收产品的委托费用	0.1	制造商付与回收商的委托费用: 0.1 万元/kg
b	单位回收产品的绿色补贴金额	0.2	政府给予制造商的补贴费用: 0.2 万元/kg
g	分赃比例	0.5	制造商与回收商合谋骗取的补贴中制造商分得 50%, $0 < g < 1$
m	惩罚系数	2	政府惩罚核查到合谋行为对制造商和回收商处以 2 倍于二者骗取补贴金额的惩罚
Q_l	低回收再制造量	5	合谋情况下, 制造商和回收商实际加工再制造废旧产品 5 kg, 但向政府谎报 10 kg
Q_h	高回收再制造量	10	不合谋情况下, 制造商和回收商实际加工再制造废旧产品 10 kg
α	收益风险态度系数	0.52	$0 < \alpha < \beta < 1$, 依据 Wu 和 Gonzalez 的研究
β	损失风险态度系数	0.88	$0 < \alpha < \beta < 1$, 依据 Kahneman 和 Tversky 的研究
λ	损失厌恶系数	2.25	$\lambda > 1$, 依据 Kahneman 和 Tversky 的研究

3.2.1 基于政府行为的均衡分析

p_3^* 主要受 C_g 、 b 、 m 、 p_2 4 个参数的影响, 影响机理如图 2 所示。

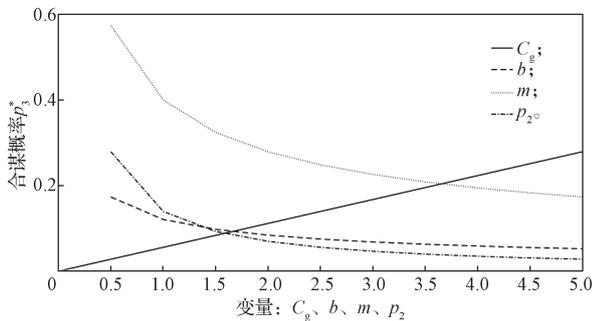


图 2 合谋均衡概率与变量间关系

Fig. 2 Relationship between collusive equilibrium probability and variables

由图 2 可知, p_3^* 与政府核查成本 C_g 正相关, 与补贴金额 b 、惩罚系数 m 和核查成功概率 p_2 负相关。

政府核查成本 C_g 与合谋概率 p_3^* 正相关。政府核查成本越高, 制造商和回收商合谋骗取补贴的概率越高。政府开展核查工作需要预算, 若预算开支过大则会阻碍核查工作的开展。此外, 政府在开展核查之前, 会综合考虑核查成功的概率和核查的机会成本, 因为政府与制造商、回收商之间存在严重的信息不对称, 故对核查成本的衡量存在较大不确定性, 从而降低核查成功的概率, 制造商和回收商考虑到这一点, 会更倾向于合谋骗取政府补贴。

政府补贴金额 b 与合谋概率 p_3^* 负相关。制造商获得的补贴越多, 开展合谋的概率越低。政府的补贴付与制造商, 若补贴加上再制造产品的销售收入让制造商有利可图, 则制造商不会冒险开展合谋。相反, 若补贴金额过低, 不足以弥补制造商的成本, 则制造商会倾向于开展合谋以获取收益。

惩罚系数 m 与合谋概率 p_3^* 负相关。政府惩罚越严厉, 制造商开展合谋的概率越低。制造商在开展合谋之前, 会考虑合谋被发现的风险以及损失, 若合谋被发现所带来的损失远大于合谋带来的收益, 制造商会选择规避损失, 从而降低合谋动机, 故惩罚越严厉, 对合谋的震慑作用越大。

核查成功概率 p_2 与合谋概率 p_3^* 负相关。政府核查合谋的成功率越高, 制造商开展合谋的概率越低。核查成功概率的高低取决于政府的核查能力, 政府核查能力的提升会对合谋产生威慑作用, 从而降低制造商开展合谋的概率。

3.2.2 基于制造商行为的均衡分析

p_1^1 主要受 z 、 C_m 、 R_m 、 b 、 m 、 p_2 、 g 7 个参数的影响, 其影响关系如图 3 所示。

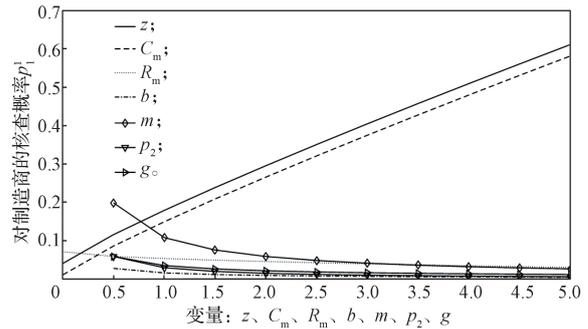


图 3 制造商合谋核查均衡概率与变量间关系

Fig. 3 Relationship between the equilibrium probability and variables of manufacturer collusion check

由图 3 可知, p_1^1 与制造商付与回收商的委托金 z 和对废旧产品再制造的成本 C_m 正相关, 与销售再制造产品的收益 R_m 、补贴金额 b 、惩罚系数 m 、政府核查成功概率 p_2 和分赃比例 g 负相关。

委托费用 z 、废旧产品再制造的成本 C_m 与 p_1^1 正相关。委托费用和再制造成本是制造商开展回收再利用的总成本, 即制造商回收再利用的总成本越高, 政府实施合谋核查的概率越高。对于制造商而言, 回收再制造成本越高, 制造商工作的积极性越低, 政府考虑到这一点, 会对制造商的工作进行更严格的核查, 以保障逆向供应链回收工作的正常开展。

销售再制造产品的收益 R_m 、补贴金 b 均与 p_1^1 负相关。再制造产品销售收入和补贴都属于制造商开展回收再利用工作的收益, 即制造商总收益越高, 政府核查概率越低。在逆向供应链中, 若制造商的收益可以弥补成本甚至可以获取丰厚的利润, 则制造商便没有必要承担风险开展合谋行为, 政府预判到这一点, 也会降低核查动机, 从而减少核查成本。

政府核查成功概率 p_2 与 p_1^1 负相关。即政府核查合谋成功概率越高, 政府开展核查工作的概率越低。政府核查成功率反映了政府的核查能力, 高核查能力会对合谋行为产生震慑作用, 从而使制造商从合谋风险偏好转为合谋风险厌恶, 从而降低合谋动机。

分赃比例 g 与 p_1^1 负相关。即制造商从合谋骗取的补贴额中获取的比例越低, 制造商开展合谋工作的概率越低。制造商的合谋行为需要回收商的参与, 二者对于骗取补贴金的分配需要达成合作, 若是制造商分配的比例过低, 不足以弥补制造商合谋所承担的风险, 制造商开展合谋的动机就会降低。

3.2.3 基于回收商行为的均衡分析

p_1^2 主要受 z 、 C_c 、 b 、 m 、 p_2 、 g 6 个参数的影响, 其影响关系如图 4 所示。由图 4 可知, p_1^2 与回收商的回收成本 C_c 正相关, 与惩罚系数 m 和委托金 z 负相关, 与其它参数的关系则并不显著。

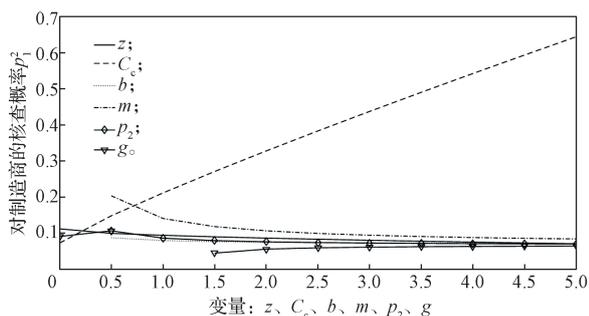


图4 回收商合谋核查均衡概率与变量间关系

Fig. 4 Relationship between equilibrium probability and variables of collusion verification of recyclers

回收成本 C_c 与 p_1^2 正相关。回收商开展回收废旧物品的成本越高,回收商参与合谋的概率越大。无论是回收商还是制造商,在逆向供应链中均以自身利益最大化为原则进行决策。当回收商开展回收工作的成本过高,预判到收益过低或收益无法抵消成本时,回收商参与合谋的动机就会增强。

惩罚系数 m 与 p_1^2 负相关。政府对合谋行为的惩罚系数越高,回收商参与合谋的概率越低。 m 代表了回收商参与合谋被发现的损失程度,政府的惩罚越严厉,回收商越偏向于损失规避,决策时综合考虑合谋收益与风险,惩罚系数的提高会使回收商实施风险规避型决策。

政府核查成功率 p_2 与 p_1^2 负相关。政府对合谋行为核查成功的概率越高,回收商参与合谋的概率越低。政府的核查能力对回收商同样有震慑作用,回收商在合谋决策时考虑到政府的高核查能力,会偏向于风险规避,降低合谋动机。

4 结论与建议

文章基于有限理性假设的前提,引入前景理论,构建了政府、制造商和回收商三方混合策略博弈模型,将政府也作为逆向供应链主体之一代入模型中,分析逆向供应链合谋行为中,影响各主体决策的关键因素,再通过 Matlab 进行算例分析,探讨合谋与监管的均衡概率与各个参数的关系,得到以下结论:

在三方行为的均衡分析中发现,逆向供应链的合谋行为主要受到政府核查成本、补贴金额、惩罚力度、核查成功率、回收再利用的成本和回收工作总收益等因素影响。

政府行为起关键作用。第一,政府补贴金额、惩罚力度和核查能力是影响逆向供应链制造商与回收商是否合谋的最主要因素;第二,绿色补贴政策在一定程度上能提高制造商和回收商的回收积极性,但依旧不能忽略二者的合谋概率。通过加大惩罚力度可有

效遏制合谋行为,制造商和回收商由此偏向于损失规避,更倾向于考虑合谋面临的风险及损失;第三,政府的核查能力决定了其核查成功率,强大的核查能力会对合谋起到威慑作用,从而降低合谋概率。

在有限理性的前提下,当制造商和回收商在逆向供应链中获得的收益不足以弥补成本时,便会增加二者合谋的概率。在合谋过程中,若一方获取的补贴金额比例较低,该主体便会减小合谋动机,从而降低合谋概率。

基于以上的研究结论,从政府角度出发,提出以下几点针对逆向供应链合谋行为的防范策略:

政府应强化自身对逆向供应链合谋行为的核查能力。第一,建立系统化的核查流程,设立专门的核查部门,对核查工作人员进行专业性培训,提升自身核查能力;第二,提高核查部门的预算水平,同时配备先进的检查设备,对核查成功人员给予奖励和表彰,提高工作人员开展核查工作的积极性。第三,针对不同方向的核查人员分配权力,拆分权力能够减少滥用职权行为的发生。第四,建立并开放举报渠道,一方面监管逆向供应链中的合谋行为,另一方面监督核查工作的廉政性。

提高回收主体的合谋风险意识。一方面,对逆向供应链中的各主体开展教育活动,通过讲座、播放宣传短视频等手段,普及主体的相关法律法规认知储备,提高主体抵制合谋行为的自觉性;另一方面,定期对违反行为规范的人员进行公开批评、处罚,强调将合谋作为盈利手段是一种高风险行为,明示后果能够有效起到警示作用。

完善奖惩制度,政府在不扭曲市场的情况下参与各主体的回收策略选择。政府参与制造商、回收商的策略选择过程能够发挥有效的控制作用,各方工作内容清晰透明,在提高逆向供应链回收工作效率的同时,也在一定程度上调整、规范了市场秩序。

参考文献:

- [1] 姜志伟. 我国环境监测质量管理可持续发展的建议与对策分析[J]. 科技风, 2020(11): 151.
JIANG Zhiwei. Suggestions and Countermeasures for the Sustainable Development of Environmental Monitoring Quality Management in China[J]. Technology Wind, 2020(11): 151.
- [2] 刘满芝, 谈 帅, 栾常锦, 等. 中国废纸回收系统物质流分析与评价[J]. 中国环境科学, 2020, 40(1): 439-452.
LIU Manzhi, TAN Shuai, LUAN Changjin, et al.

- Material Flow Analysis and Evaluation of Waste Paper Recycling System in China[J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(1): 439-452.
- [3] STOCK J R. Reverse Logistics[M]. [S.l.]: Council of Logistics Management, 1992: 5-10.
- [4] ROGERS D S, TIBBEN-LEMBKE R S. Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices[M]. [S. l.]: Reverse Logistics Executive Council, 1999: 48-62.
- [5] 曹建华, 夏绪辉, 王 蕾, 等. 逆向供应链服务组合与优化 [J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(10): 2229-2240.
CAO Jianhua, XIA Xuhui, WANG Lei, et al. Composition and Optimization of Reverse Supply Chain Services[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2017, 23(10): 2229-2240.
- [6] 王文宾, 陈祥东, 周 敏, 等. 不对称信息下逆向供应链奖惩机制研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(1): 175-182.
WANG Wenbin, CHEN Xiangdong, ZHOU Min, et al. Study on the Premium and Penalty Mechanism of Reverse Supply Chain Under Asymmetric Information[J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2014, 43(1): 175-182.
- [7] 王玉燕, 李帮义, 申 亮. 两个生产商的逆向供应链演化博弈分析 [J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(4): 43-49.
WANG Yuyan, LI Bangyi, SHEN Liang. A Study of the Evolutionary Game of Two Manufacturer's Reverse Supply Chain[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2008, 28(4): 43-49.
- [8] 付小勇, 朱庆华, 窦一杰. 回收竞争的逆向供应链回收渠道的演化博弈分析 [J]. 运筹与管理, 2012, 21(4): 41-51.
FU Xiaoyong, ZHU Qinghua, DOU Yijie. Evolutionary Game Analysis of Recycling Channel of Reverse Supply Chain Under Collection Competition[J]. *Operations Research and Management Science*, 2012, 21(4): 41-51.
- [9] 伍晓茜, 熊伟清. 政府补贴机制下的逆向供应链演化博弈研究 [J]. 绿色科技, 2012(8): 191-195.
WU Xiaoxi, XIONG Weiqing. Evolutionary Game Analysis of Reverse Supply Chain Based on Government Subsidy Mechanism[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2012(8): 191-195.
- [10] 柳 键, 曾剑锋. 征收补偿政策对家电逆向供应链运营策略与绩效的影响 [J]. 广东财经大学学报, 2014, 29(5): 27-39.
LIU Jian, ZENG Jianfeng. Effects of the Collection Compensation Policy on the Operation Strategy and Performance of Appliance Reverse Supply Chain[J]. *Journal of Guangdong University of Finance & Economics*, 2014, 29(5): 27-39.
- [11] 范定祥, 李重莲. 考虑回收积极性的逆向供应链协调的演化博弈分析 [J]. 工业工程与管理, 2020, 25(4): 86-94.
FAN Dingxiang, LI Chonglian. Evolutionary Game Analysis of Reverse Supply Chain Coordination Considering Recycling Enthusiasm[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2020, 25(4): 86-94.
- [12] 何海龙, 李明琨. 有限管制下快递包装逆向物流三方博弈行为分析 [J]. 工业工程与管理, 2021, 26(1): 157-164.
HE Hailong, LI Mingkun. A Tripartite Game Analysis on Reverse Logistics of Express Packaging Under Restricted Control Policies[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(1): 157-164.
- [13] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect Theory: an Analysis of Decision Under Risk[J]. *Econometrica*, 1979, 47(2): 263.
- [14] 张志颖. 基于前景理论的化工生产监管演化博弈研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
ZHANG Zhiying. The Evolution Game Analysis of Chemical Production Supervision Based on Prospect Theory[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2021.
- [15] 李 玉, 吴 斌, 王 超. 基于前景理论的众包物流配送方行为决策演化博弈分析: 基于发货方视角 [J]. 运筹与管理, 2019, 28(6): 129-135.
LI Yu, WU Bin, WANG Chao. Evolution Game Analysis of Decisions of the Crowdsourcing Logistics Shippers Based on Prospect Theory: From the View of Consumers[J]. *Operations Research and Management Science*, 2019, 28(6): 129-135.
- [16] 雷勋平, 邱广华. 基于前景理论的食品行业行为监管演化博弈分析 [J]. 系统工程, 2016, 34(2): 82-88.
LEI Xunping, QIU Guanghua. Evolutionary Game Analysis on Behavior Supervision of Food Industry Based on Prospect Theory[J]. *Systems Engineering*, 2016, 34(2): 82-88.
- [17] 柴智慧, 张晓夏, 刘明越. 农业保险公司与政府部门之间的动态博弈分析: 基于前景理论视角 [J]. 审计与经济研究, 2022, 37(3): 119-127.
CHAI Zhihui, ZHANG Xiaoxia, LIU Mingyue. An Analysis on Dynamic Game Between Agricultural Insurance Company and Government Department: Based on the Perspective of Prospect Theory[J]. *Journal of Audit & Economics*, 2022, 37(3): 119-127.

(责任编辑: 申 剑)