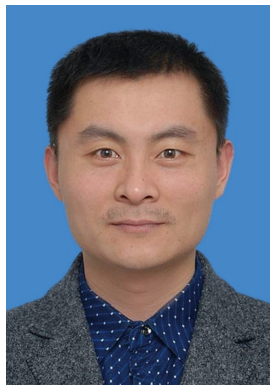


## 特约论文



王治莹 博士, 教授, 博士生导师, 加拿大温莎大学访问学者, 安徽省青年皖江学者、安徽省高校“双带头人”教师党支部书记工作室获得者、安徽工业大学青年拔尖人才青年学者 A 档和青年英才一档培养人选, 中国系统工程学会应急管理系统工程专委会委员、中国(双法)应急管理专委会委员, 国家自然科学基金项目及陕西省、广东省自然科学基金项目通讯评议专家, 《安徽工业大学学报(自然科学版)》青年编委。主要研究方向为舆情危机管理、突发事件应急管理、系统优化与决策分析, 主持国家自然科学基金项目 2 项(青年和面上各 1 项)、安徽省自然科学基金项目 1 项、安徽省高校杰出青年基金项目 1 项、其他省级基金项目 6 项; 在 *Comput Ind Eng*、*Nonlinear Dynam*、《管理科学学报》《系统工程理论与实践》《中国管理科学》等权威期刊发表论文 52 篇, 出版学术专著 3 部。获教育部高等学校科学研究优秀成果(人文社科)二等奖、马鞍山市社会科学优秀成果奖、安徽省优秀青年研究生导师、《中国管理科学》优秀审稿专家、安徽工业大学高水平导师等奖励荣誉。

## 考虑政府补贴与零售商过度自信的双渠道绿色供应链决策

王治莹, 王 崔, 楼振凯

(安徽工业大学 管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

**摘要:** 针对当前研究较少考虑政府补贴和零售商过度自信行为同时影响双渠道绿色供应链决策的现状, 基于 Stackelberg 博弈模型构建制造商主导的双渠道绿色供应链两阶段基准模型; 考虑政府对制造商有无补贴及零售商过度自信行为, 改进两阶段模型和三阶段模型, 对比分析零售商过度自信和政府对供应链成员决策、利润及社会总福利的影响。结果表明: 政府无补贴时, 随着零售商过度自信水平的增加, 产品绿色度、批发价格、线上直销渠道价格、制造商利润均不断降低, 而线下零售渠道价格和零售商利润的变化还取决于直销渠道市场份额以及产品绿色化效率; 政府有补贴时, 零售商过度自信水平对产品绿色度、线上直销渠道价格、线下零售渠道价格及社会总福利的影响被部分抵消。政府补贴在推动绿色供应链可持续发展中的作用显著, 政府在规范行业行为以及绿色供应链上游企业运营决策过程中, 应约束零售商过度自信可能造成的风险。

**关键词:** 绿色供应链; 双渠道; 过度自信; 政府补贴; Stackelberg 博弈

**中图分类号:** F 272.3; F 224.3 **文献标志码:** A **doi:** 10.12415/j.issn.1671-7872.24058



收稿日期: 2024-04-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(72074002, 71704001); 安徽省自然科学基金项目(2208085Y20); 安徽省高校杰出青年基金项目(2022AH020031)

作者简介: 王治莹(1987—), 男, 山东济南人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为应急管理、系统优化与决策分析等。

引文格式: 王治莹, 王崔, 楼振凯. 考虑政府补贴与零售商过度自信的双渠道绿色供应链决策[J]. 安徽工业大学学报(自然科学版), 2025, 42(1):96-107.

## Dual-channel Green Supply Chain Decision Considering Government Subsidies and Retailer Overconfidence

WANG Zhiying, WANG Cui, LOU Zhenkai

(School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

**Abstract:** In light of the limited consideration given by current research to the influence of retailer overconfidence behavior and government subsidies on the decision-making in a dual-channel green supply chain, a two-stage benchmark model for a manufacturer-led dual-channel green supply chain was constructed based on Stackelberg game model. This model was then refined into improved two-stage and three-stage models considering scenarios with and without government subsidies to manufacturers as well as the overconfidence behavior of retailers. The impacts of retailer overconfidence and government subsidies on the decisions, profits of supply chain members, and overall social welfare were compared and analyzed. The results show that without government subsidies, as the level of retailer overconfidence increases, the product's greenness, wholesale price, direct online channel price, and manufacturer's profit continuously decrease. Meanwhile, changes in the offline retail channel price and retailer's profit also depend on the market share of the direct sales channel and the efficiency of product greening. When there are government subsidies, the effect of the retailer's overconfidence on product's greenness, direct online channel price, offline retail channel price, and total social welfare is partially offset. Government subsidies play a significant role in promoting the sustainable development of green supply chains. Both in regulating industry behavior and during the operational decision-making process of upstream enterprises in the green supply chain, the government should constrain the risks that may be caused by excessive retailer confidence..

**Keywords:** green supply chain; dual channel; overconfidence; government subsidies; Stackelberg game

近年来,随着绿色消费理念的逐渐普及,世界各国不断推出和完善绿色激励约束政策来推动绿色产业发展,激励企业进行改革创新。例如,2022年1月,国家发展改革委等部门联合印发的《促进绿色消费实施方案》指出“增强财政支持精准性”“加大金融支持力度”“充分发挥价格机制作用”“推广更多市场化激励措施”。越来越多的企业紧抓绿色市场发展机遇,如格力创新推出零碳源空调系统并加速市场推广应用;同时众多企业开启线上直销渠道,与线下零售形成双渠道销售模式,不仅扩大了市场规模,还能满足消费者个性化需求。但是也有部分零售商因决策者过度自信而造成巨大损失。例如,美国全食超市(Whole Foods Market)作为美国老牌零售超市,因管理者过高估计消费者对产品绿色度的喜好及需求,最终无法应对市场竞争和市场变化而被亚马逊收购。因此,研究零售商过度自信对双渠道绿色供应链决策的影响,对于推动绿色供应链可持续发展具有重要意义。

与本文相关的研究主要涉及绿色供应链决策、政府补贴的绿色供应链决策及供应链成员非理性因素对供应链决策的影响。已有许多研究者关注绿色供应链决策问题,通常引入绿色度来描述供应链特征。Li等<sup>[1]</sup>探究产品定价和绿色促销努力策略,分析融资利率、绿色促销努力和搭便车行为对最优策略的影响;Mandal等<sup>[2]</sup>考虑绿色水平、促销水平和销售价格敏感线性需求的研究发现,集中式系统中的链式结构性能最优,其具有较高的环境和经济效益;王建华等<sup>[3]</sup>提出基于成本共担-收益共享的供应链综合协调契约,用以改善零售商公平偏好行为对供应链造成的影响;贺勇等<sup>[4]</sup>研究不同政府补贴下绿色供应链的最优减排决策问题;Chen等<sup>[5]</sup>在分析集中模式下供应链价格、销售努力和绿色度策略的基础上,提出2种分散模式和2种协调模式;Wu等<sup>[6]</sup>构建供应链成员产品定价-订货-绿色化联合决策问题模型,探讨需求不确定性的影响,提出通过供应链成员关于批发价格的讨价还价博弈来协调决策。上

述文献仅考虑了绿色供应链内部因素的影响,实际上政府会对绿色供应链进行不同程度的补贴。

政府补贴一般起到调节供应链成员决策和促进供应链绿色发展的作用。对于考虑政府补贴的情况,学者们往往从不同补贴策略角度开展研究。潘金涛等<sup>[7]</sup>采用动态博弈和非线性消费者效用函数构建模型,研究政府不同补贴策略下零售商公平关切对绿色供应链的影响;Wang等<sup>[8]</sup>分析政府对制造商研发和生产绿色产品进行补贴时的绿色供应链最优决策;Wang等<sup>[9]</sup>研究政府补贴下集中决策、分散决策及零售商与制造商不存在需求预测信息共享3种情形;Gao等<sup>[10]</sup>针对政府补贴,研究引入网上交易平台对供应链成员利润的影响;Xu等<sup>[11]</sup>分析政府补贴时的绿色产品定价和“绿色化”投资最优策略,探讨采用区块链技术的条件。对于不考虑政府补贴的情况,学者们主要考虑供应链结构和成员延伸责任的影响。唐娟等<sup>[12]</sup>研究制造商承担企业社会责任时,收益共享契约和两部定价契约对闭环供应链协调效果的影响;孙立成等<sup>[13]</sup>研究消费者低碳参考效应对零售商与制造商宣传的影响;边展等<sup>[14]</sup>引入第三方平台,通过构建制造商双渠道供应链模型,研究资金受限制制造商的融资策略选择。关于双渠道绿色供应链决策中的非理性因素,学者们多考虑公平关切和风险规避。王道平等<sup>[15]</sup>研究政府补贴和制造商的互惠偏好行为对碳减排供应链运营产生的长期影响;Meng等<sup>[16]</sup>考虑政府给予和不给予补贴2种情况下消费者绿色偏好和渠道偏好对绿色供应链决策的影响;贡文伟等<sup>[17]</sup>考虑供应链成员的风险规避行为,通过两部定价的成本共担契约协调供应链成员的合作;Raza等<sup>[18]</sup>构建双渠道供应链协调模型,采用传统常规渠道和在线渠道市场份额的不同比例代替固定比例。也有部分学者考虑过度自信因素,周辉<sup>[19]</sup>分析供应链决策者过度自信行为对双渠道绿色供应链绩效的影响;贡文伟等<sup>[20]</sup>考虑制造商过度自信行为特征,探讨制造商过度自信水平对供应链成员决策和利润的影响;王文杰等<sup>[21]</sup>考虑2种零售商过度自信行为,比较分析渠道竞争强度和零售商过度自信水平对供应链定价决策及利润的影响。

与上述研究不同的是,本文研究同时考虑政府补贴和零售商过度自信行为对双渠道绿色供应链决策的影响。基于Stackelberg博弈模型,构建制造商

主导的双渠道绿色供应链两阶段基准模型;考虑政府对制造商有无补贴及零售商过度自信行为,改进两阶段和三阶段模型,对比分析政府补贴和零售商过度自信行为对供应链价格决策、绿色度决策、社会总福利和供应链成员利润的影响,探索政府补贴是否能够协调零售商过度自信行为对双渠道绿色供应链决策造成的影响,以期对双渠道绿色供应链可持续发展提供参考依据。

## 1 问题描述与假设

考虑制造商主导、零售商跟随的双渠道绿色供应链,该供应链由制造商(M)、零售商(R)和政府构成,且进行三方博弈,结构如图1。

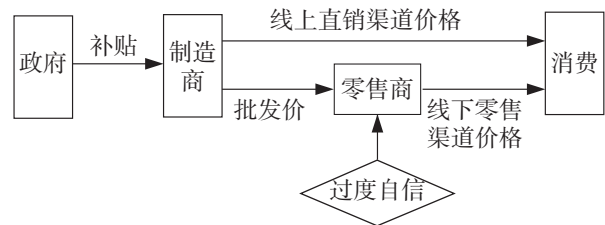


图1 考虑政府补贴和零售商过度自信的双渠道绿色供应链结构

Fig. 1 Dual-channel green supply chain structure considering government subsidies and retailer overconfidence

图1中,制造商和零售商分别通过线上直销渠道和线下零售渠道,将绿色产品销售给消费者,消费者根据需求任选一种消费渠道购买;政府为了调动企业绿色生产的积极主动性,对绿色制造商的研发和生产进行补贴;当零售商产生过度自信行为时,会高估消费者对产品绿色度的喜好和需求。值得一提的是,虽然政府补贴与零售商过度自信两者在本质上相互独立,但是两者共同作用于供应链时,政府补贴会对零售商过度自信行为起到加强、协调或抵消作用。基于此,本文探讨的主要问题是:零售商的过度自信行为和政府补贴分别如何影响双渠道绿色供应链的价格决策、绿色度决策?政府补贴是否可以协调零售商过度自信行为对双渠道绿色供应链决策的影响?

鉴于本文研究问题的复杂性,给出假设1~5。

假设1:绿色产品的市场需求受线下零售渠道价格 $p_{Ri}$ 、线上直销渠道价格 $p_{Mi}$ 以及产品绿色度<sup>[22]</sup>的影响。采用文献[23]中的经典线性需求函数刻画线下零售渠道和线上直销渠道的市场需求,即:

$$D_{Ri} = (1 - \rho)\alpha - \beta p_{Ri} + \theta p_{Mi} + \gamma g_i \quad (1)$$

$$D_{Mi} = \rho\alpha - \beta p_{Mi} + \theta p_{Ri} + \gamma g_i \quad (2)$$

其中  $\beta > \theta > 0$ <sup>[24]</sup>。

假设 2: 制造商绿色产品的研发成本  $c(g) = Ig_i^2/2$ <sup>[25]</sup>。产品绿色度  $g_i$  指产品对环境的友好程度, 也指企业在制造绿色产品时的绿色理念能力。

假设 3: 零售商存在过度自信行为, 表现为零售商对市场需求期望存在过度自信, 过高估计消费者对产品绿色度的喜好及需求。采用文献 [26] 中的建模方式, 过度自信零售商与理性制造商对 2 个渠道产品的市场需求量分别为:

$$D_{Ri}^q = (1 - \rho)\alpha - \beta p_{Ri} + \theta p_{Mi} + (1 + k)\gamma g_i \quad (3)$$

$$D_{Mi}^q = \rho\alpha - \beta p_{Mi} + \theta p_{Ri} + \gamma g_i \quad (4)$$

其中  $k$  为零售商的过度自信系数 ( $k > 0$ ),  $k$  越大, 零售商的过度自信水平越高。

假设 4: 政府为激励制造企业进行绿色技术革新, 对绿色制造商的研发和生产进行补贴。依据文献 [4], 将绿色技术研发成本补贴率记为  $s$ ; 同时, 引入产品绿色化效率系数  $\gamma^2/I$ <sup>[27]</sup> 分析模型。

假设 5: 社会总福利  $W_i$  由消费者剩余  $C$ 、制造商利润  $E_{Mi}$ 、零售商利润  $E_{Ri}$ 、政府对制造商补贴的总支出 ( $G$ ) 和环境质量水平的改进程度 ( $N$ ) 五部分线性决定<sup>[28]</sup>。其中,  $N = g(D_{Mi} + D_{Ri})$ <sup>[29]</sup>,  $G = sIg_i^2/2$ , 则  $W_i = E_{Mi} + E_{Ri} + C - G + N$ <sup>[29]</sup>。

文中涉及的符号及定义如表 1。

表 1 变量符号及定义

Tab. 1 Variable symbols and definitions

符号	定义
$c$	制造商生产绿色产品的单位成本
$g_i$	产品绿色度, $i = 0, 1, 2, 3$ , 分别适用于基准模型、模型一、模型二和模型三
$w_i$	制造商批发价格
$p_{Mi}$	制造商线上渠道的销售价格
$p_{Ri}$	零售商线下渠道的销售价格
$\alpha$	绿色产品的潜在市场需求
$\rho$	线上直销渠道市场份额
$\beta$	消费者对本身价格敏感系数
$\theta$	消费者对渠道间交叉价格敏感系数
$s$	政府单位绿色补贴率
$k$	零售商的过度自信系数
$\gamma$	消费者对产品绿色度的敏感系数
$I$	绿色研发成本系数
$W_i$	社会总福利

## 2 模型构建与求解

### 2.1 基准模型

考虑零售商完全理性且政府无补贴的情形下, 理性制造商 (M) 和理性零售商 (R) 进行 Stackelberg 博弈, 收益函数分别为:

$$E_{M0} = (w_0 - c)D_{R0} + (p_{M0} - c)D_{M0} - \frac{Ig_0^2}{2} \quad (5)$$

$$E_{R0} = (p_{R0} - w_0)D_{R0} \quad (6)$$

**命题 1** 当产品绿色化效率

$\frac{\gamma^2}{I} < \frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$  时, 供应链的最优决策是:

$$w_0^* = \frac{2c(\beta + \theta)(2\beta^2I - 2\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2) + \alpha[-4\beta^2I(\rho - 1) + 4\beta I\theta\rho + A_1]}{2(\beta + \theta)(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)} \quad (7)$$

$$p_{M0}^* = \frac{4cI\beta^3 - 2c\theta^2\gamma^2 + 2\beta^2(2\alpha I\rho - 3c\gamma^2) + \beta[-4\alpha I\theta(\rho - 1) - \alpha\gamma^2(2\rho - 1) - 4\theta c(I\theta + 2\gamma^2)]}{2(\beta + \theta)(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)} \quad (8)$$

$$g_0^* = \frac{\gamma[c(2\beta\theta + \theta^2 - 3\beta^2) + \alpha(\beta\rho + \theta + \beta - \theta\rho)]}{4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2} \quad (9)$$

$$p_{R0}^* = \frac{\alpha[A_1 - 12\beta^2I(\rho - 1) + 4I\theta^2(\rho - 1) + 8\beta I\theta\rho + 4\beta\gamma^2(2\rho - 1) + 3\theta\gamma^2(2\rho - 1)] + A_2}{4(\beta + \theta)(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)} \quad (10)$$

**证明** 根据式 (6) 求零售商利润  $E_{R0}$  关于

$p_{R0}$  的一阶导数为  $\frac{\partial E_{R0}}{\partial p_{R0}} = \alpha - \alpha\rho - 2\beta p_{R0} + \theta p_{M0} + \gamma g_0 + w_0\beta$ , 令其等于零, 可得  $p_{R0} = \frac{\alpha + \theta p_{M0} + \gamma g_0 + w_0\beta - \alpha\rho}{2\beta}$ 。

将  $p_{R0}$  代入式 (5) 并进行化简, 然后分别求  $E_{M0}$  关于  $w_0$ ,  $p_{M0}$ ,  $g_0$  一阶导数:

$$\frac{\partial E_{M0}}{\partial w_0} = \frac{\alpha - c\theta + 2\theta p_{M0} - \alpha p_{M0} + \beta(c - 2w_0) + \gamma g_0}{2}$$

$$\frac{\partial E_{M0}}{\partial p_{M0}} = \beta(c - 2p_{M0}) + \alpha\rho + w_0\theta + \gamma g_0 +$$

$$\frac{\theta(\alpha - c\theta + 2\theta p_{M0} - \alpha\rho + \gamma g_0 - c\beta)}{2\beta}$$

$$\frac{\partial E_{M0}}{\partial g_0} = \frac{(p_{M0} - c)\theta\gamma + \beta\gamma(2p_{M0} + w_0 - 3c)}{2\beta} - Ig_0 \text{ 进而对 } w_0,$$

$p_{M0}, g_0$  求二阶导数可得 Hessian 矩阵:

$$H = \begin{pmatrix} -\beta & \theta & \frac{\gamma}{2} \\ \theta & -2\beta + \frac{\theta^2}{\beta} & \gamma + \frac{\theta\gamma}{2\beta} \\ \frac{\gamma}{2} & \gamma + \frac{\theta\gamma}{2\beta} & -I \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{2}\gamma^2(3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2) + I[\theta^2 + \beta^4\theta^2 + \beta^2(6\theta^2 - 8)] < 0$$

时, 即产品绿色化效率满足  $\frac{\gamma^2}{I} < \frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$

$$D_{R0}^* = \frac{\beta[4\beta^2c(2I\theta - 3\gamma^2) - 4c\theta^2(2I\theta + \gamma^2) - \beta(A_2 + 16c\theta\gamma^2)] - \alpha(A_1\beta + A_2)}{4(\beta + \theta)(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)} \quad (11)$$

$$D_{M0}^* = \frac{4\alpha\beta^3I[-3\theta(\rho - 1) + 2\rho] - 8\beta^4cI + 4\theta^2\gamma^2(\alpha + c\theta - 2\alpha\rho) + 2\beta^2A_4 + \beta\theta(A_2 + \alpha A_5)}{4(\beta + \theta)(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)} \quad (12)$$

$$E_{M0}^* = \frac{-4cI(\beta^2 - \theta^2)[- \beta^3(A_2 + 10c\theta\gamma^2) + A_6] + \alpha^2[A_1\beta^3 - (4\theta IA_3 + \gamma^2)(\rho - 1)A_3] + \alpha A_7}{8(\beta + \theta)^2(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)^2} \quad (13)$$

$$E_{R0}^* = \frac{\beta[-\alpha(\beta A_1 + A_3 + A_4) + (2I - 3\gamma^2)(4c\beta^2 - 4c\theta^2) - \beta(A_2 + 16c\theta\gamma^2)] + 4c(\beta + \theta)A_8 + A_9}{16(\beta + \theta)^2(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)^2} \quad (14)$$

$$W_0^* = E_{M0}^* + E_{R0}^* + (D_{R0}^{*2} + D_{M0}^{*2})/2\beta + g_0^*(D_{R0}^* + D_{M0}^*) \quad (15)$$

其中:

$$A_1 = 2\beta\gamma^2(2\rho - 1) + \theta\gamma^2(2\rho - 1); A_2 = 4c(\beta + \theta)[\beta^2I - 3\beta\gamma^2 - \theta(I\theta + \gamma^2)]$$

$$A_3 = 4\beta I\theta[\theta(\rho - 1) - 2\rho] - 12\beta^3I(\rho - 1) - 8\theta^2I(\rho - 1) + 8\theta^2I[(2 + \theta)\rho - 2] + \beta\gamma^2(3\theta - 8)(2\rho - 1)$$

$$A_4 = 4\alpha\theta I(\theta\rho + \rho - 1) + \alpha\gamma^2(2\theta - 1)(2\rho - 1) + 2c\theta(2\theta I + 3\gamma^2)$$

$$A_5 = A_1 + 4I\theta[\theta(\rho - 1) - 4\rho] + \gamma^2(3\theta - 8)(2\rho - 1)$$

$$A_6 = -6\beta c\theta^2 - c\theta^4\gamma^2 + \beta^4c(8I\theta - 3\gamma^2) - 4c\theta^2\beta^2(2I\theta + 3\gamma^2)$$

$$A_7 = 4cI\beta^3A_1(\beta^2 - \theta^2) + I\theta A_4 - IA_3(-1 + 2\rho) + \gamma[-2A_5 + \gamma(-\theta + 3\theta\rho + 2A_3 - 4\rho A_6)]$$

$$A_8 = I\beta^3 + \theta\gamma^2 - \beta^2(2I + 3\gamma^2) - \beta[I\theta(\theta - 2) + \gamma^2(\theta - 3)]$$

$$A_9 = \gamma^2A_1 - \alpha(2 + \beta\theta)[-1 + \rho(3 + \beta\theta)] + I(cA_8 - \alpha A_2)$$

## 2.2 模型一

考虑零售商完全理性且政府对制造商绿色研发和生产成本进行补贴情形, 政府、理性制造商 (M) 和理性零售商 (R) 进行 Stackelberg 博弈, 决策目标函数分别为:

$$E_{M1} = (w_1 - c)D_{R1} + (p_{M1} - c)D_{M1} - (1 - s)\frac{I g_1^2}{2} \quad (16)$$

$$U_{R1} = E_{R1} = (p_{R1} - w_1)[(1 - \rho)\alpha - \beta p_{R1} + \theta p_{M1} + \gamma g_1] \quad (17)$$

$$W_1 = E_{M1} + U_{R1} + (D_{R1}^2 + D_{M1}^2)/2\beta - \frac{1}{2}sI g_1^2 + g_1(D_{R1} + D_{M1}) \quad (18)$$

**命题 2** 当产品绿色化效率满足  $\frac{\gamma^2}{I} < \frac{(s - 1)[\theta^2 + \beta^4\theta^2 + \beta^2(6\theta^2 - 8)]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$  时, 供应链的最优决策为:

$$w_1^* = \frac{2c(\beta + \theta)(2\beta^2I(s - 1) - A_{10}) + \alpha[-4\beta^2I(\rho - 1)(s - 1) + 4\beta I\theta\rho(s - 1) + A_1]}{2(\beta + \theta)[4\beta^2I(s - 1) - 4\beta I\theta(s - 1) - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2]} \quad (19)$$

$$p_{M1}^* = \frac{4cI\beta^3(s - 1) - 2c\theta^2\gamma^2 + 2\beta^2[2\alpha I\rho(s - 1) - 3c\gamma^2] + \beta[-4\alpha I\theta(\rho - 1)(s - 1) - A_{11}]}{2(\beta + \theta)(4\beta^2I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)} \quad (20)$$

$$g_1^* = \frac{\gamma[c(2\beta\theta + \theta^2 - 3\beta^2) + \alpha(\beta\rho + \theta + \beta - \theta\rho)]}{4\beta^2I(s - 1) - 4\beta I\theta(s - 1) - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2} \quad (21)$$

$$p_{R1}^* = \frac{\alpha[A_1 - 12\beta^2I(\rho - 1)(s - 1) + 8\beta I\theta\rho(s - 1) + 4\beta\gamma^2(2\rho - 1) + 3\theta\gamma^2(2\rho - 1) + A_{12}] + A_2}{4(\beta + \theta)[4\beta^2I(s - 1) - 4\beta I\theta(s - 1) - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2]} \quad (22)$$

**证明** 证明过程同命题 1, 此处省略。

由命题 2, 可进一步得到:

$$D_{R1}^* = \frac{\beta[(4\beta^2c - 4c\theta^2)(2I\theta - 2I\theta s - 3\gamma^2) - \beta(A_2 + 16c\theta\gamma^2)] - \alpha(A_1\beta + A_3 + A_{13})}{4(\beta + \theta)[4\beta^2I(1 - s) - 4\beta I\theta(1 - s) - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2]} \quad (23)$$

时, 该矩阵为负定矩阵, 因此制造商收益函数  $E_{M0}$  为凹函数。令  $\frac{\partial E_{M0}}{\partial w_0}, \frac{\partial E_{M0}}{\partial p_{M0}}, \frac{\partial E_{M0}}{\partial g_0}$  等于零, 求解可得  $w_0^*, p_{M0}^*, g_0^*$ , 然后将  $w_0^*, p_{M0}^*, g_0^*$  代入  $p_{R0}^*$  中, 化简可得  $p_{R0}^*$ 。命题 1 得证。

由命题 1, 将式 (7)~(10) 代入式 (1), (2), (5), (6), 可进一步得到线下零售渠道和线上直销渠道的绿色产品市场需求、供应链成员利润、社会总福利的最优解:

$$D_{M1}^* = \frac{4\alpha\beta^3 I[-3\theta(\rho-1)+2\rho]-8\beta^4 c I(1-s)+4\theta^2 \gamma^2(\alpha+c\theta-2\alpha\rho)+A_{14}+\beta\theta(A_2+\alpha A_{15})}{4(\beta+\theta)[4\beta^2 I(1-s)-4\beta I\theta(1-s)-3\beta\gamma^2-\theta\gamma^2]} \quad (24)$$

$$E_{M1}^* = \frac{-4cI(\beta^2-\theta^2)[- \beta^3(A_2+10c\theta\gamma^2)+A_7]+\alpha^2(A_1\beta^3-A_{16})+\alpha(1-s)A_{17}}{8(\beta+\theta)^2[4\beta^2 I(1-s)-4\beta I\theta(1-s)-3\beta\gamma^2-\theta\gamma^2]^2} \quad (25)$$

$$E_{R1}^* = \frac{\beta[-\alpha(\beta A_1+A_3+A_4)-\beta(A_2+16c\theta\gamma^2)+A_{17}]+4c(\beta+\theta)A_{18}+A_{10}}{16(\beta+\theta)^2[4\beta^2 I(1-s)-4\beta I\theta(1-s)-3\beta\gamma^2-\theta\gamma^2]^2} \quad (26)$$

$$W_1^* = E_{M1}^* + E_{R1}^* + (D_{R1}^{*2} + D_{M1}^{*2})/2\beta + g_1^*(D_R^* + D_{M1}^*) \quad (27)$$

其中:

$$A_{10} = 2\beta I\theta(s-1) + 3\beta\gamma^2 + \theta\gamma^2; A_{11} = \alpha\gamma^2(2\rho-1) + 4\theta c(I\theta(s-1) - 2\gamma^2); A_{12} = 4I\theta^2(\rho-1)(s-1)$$

$$A_{13} = 4\beta I\theta(1-s)[\theta(\rho-1) - 2\rho] - 12\beta^3 I(1-s)(\rho-1) - 8\theta^2 I(1-s)(\rho-1) + 8\theta^2 I(1-s)[(2+\theta)\rho - 2]$$

$$A_{14} = 4\alpha\theta I(1-s)(\theta\rho + \rho - 1) + \alpha\gamma^2(2\theta - 1)(2\rho - 1) + 2c\theta[2\theta I(1-s) + 3\gamma^2]$$

$$A_{15} = A_1 + 4I\theta(1-s)[\theta(\rho-1) - 4\rho] + \gamma^2(3\theta - 8)(2\rho - 1); A_{16} = [4\theta I A_3(1-s) + \gamma^2](\rho - 1)(A_3 + A_4)$$

$$A_{17} = [2\theta I(1-s) - 3\gamma^2](4c\beta^2 - 4c\theta^2); A_{18} = I\beta^3(1-s) + \theta\gamma^2 - \beta^2[2I(1-s) + 3\gamma^2] - \beta[I\theta(\theta - 2)(1-s) + \gamma^2(\theta - 3)]$$

**推论 1**  $\frac{\partial w_1^*}{\partial s} \geq 0, \frac{\partial g_1^*}{\partial s} \geq 0, \frac{\partial p_{R1}^*}{\partial s} \geq 0, \frac{\partial p_{M1}^*}{\partial s} \geq 0,$   
 $\frac{\partial E_{M1}^*}{\partial s} \geq 0, \frac{\partial E_{R1}^*}{\partial s} \geq 0, \frac{\partial W_1^*}{\partial s} \geq 0.$

**证明** 求导分析即可得证。

推论 1 表明: 在零售商完全理性的情况下, 政府对制造商研发进行补贴时, 线上直销渠道价格、线下零售渠道价格、产品绿色度、产品批发价格、供应链成员利润以及社会总福利都随着政府补贴率的增加而提高。

**推论 2**  $w_1^* > w_0^*, g_1^* > g_0^*, p_{R1}^* > p_{R0}^*, p_{M1}^* > p_{M0}^*,$   
 $E_{M1}^* > E_{M0}^*, E_{R1}^* > E_{R0}^*, W_1^* > W_0^*.$

**证明** 求导分析即可得证。

推论 2 表明: 在零售商完全理性的情况下, 政府补贴下的批发价、产品绿色度、线上直销渠道和线

下零售渠道的价格、制造商利润和零售商利润及社会总福利均大于无政府补贴情形。

### 2.3 模型二

考虑零售商过度自信且政府无补贴情形, 理性制造商 (M) 和具有过度自信的零售商 (R) 进行 Stackelberg 博弈, 收益函数分别为:

$$E_{M2} = (w_2 - c)D_{R2}^q + (p_{M2} - c)D_{M2}^q - \frac{I g_2^2}{2} \quad (28)$$

$$U_{R2} = E_{R2} = (p_{R2} - w_2)[(1 - \rho)\alpha - \beta p_{R2} + \theta p_{M2} + (1 + k)\gamma g_2] \quad (29)$$

**命题 3** 当产品绿色化效率满足  $\frac{\gamma^2}{I} < \frac{6\theta + 14\beta^2\theta + 5\beta^3\theta^2 - \beta(\theta^2 - 16)}{16[\theta^2 + \beta^4\theta^2 + \beta^2(6\theta^2 - 8)]}$  时, 供应链的最优决策为:

$$w_2^* = \frac{c[4\beta^3 I - 2\beta^2 \gamma^2(3 + 3k + k^2) - \theta^2 \gamma^2(k + 1)(k + 2) - \beta\theta \gamma^2(k + 1)(k + 7)] + \alpha A_{19}}{8\beta^3 I - 2\beta^2 \gamma^2(3 + 3k + k^2) - 2\theta^2 \gamma^2(1 + k)^2 - 8\beta\theta[I\theta + \gamma(1 + k)]} \quad (30)$$

$$p_{M2}^* = \frac{4cI\beta^3 - 2c\theta^2\gamma^2(1+k)^2 + \beta^2[4\alpha I\rho - c\gamma^2(6+3k+k^2)] - \beta A_{20}}{8\beta^3 I - 2\beta^2 \gamma^2(3 + 3k + k^2) - 2\theta^2 \gamma^2(1 + k)^2 - 8\beta\theta[I\theta + \gamma(1 + k)]} \quad (31)$$

$$g_2^* = \frac{c\gamma(\theta^2 - \beta^2)[\beta(3+k) + \theta(1+k)] + \alpha\gamma[\theta^2(k+1)(\rho-1) + \beta^2(1+k+\rho-k\rho)]}{4\beta^3 I - \beta^2 \gamma^2(3 + 3k + k^2) - \theta^2 \gamma^2(1 + k)^2 - 4\beta\theta[I\theta + \gamma(1 + k)]} \quad (32)$$

$$p_{R2}^* = \frac{4c\gamma^2\theta^3(1+k)^2 - 4cI\beta^4 - 2c\beta^3(2\theta I + k\gamma^2) - \beta\theta[c\theta\gamma^2(8+11k+3k^2)] + \alpha A_{20}}{8\beta^4 I - 2\beta^3 \gamma^2(3 + 3k + k^2) - 2\beta\theta^2 \gamma^2(1 + k)^2 - 8\beta^2\theta[I\theta + \gamma(1 + k)]} \quad (33)$$

**证明** 证明过程同命题 1, 此处省略。

由命题 3, 可进一步得到:

$$D_{R2}^{q*} = \frac{4c\gamma^2(1+k) + 2\beta^4[2c + c\gamma^2(12+5k+k^2)] - \beta\theta^2[A_{20} + 4\gamma^2(1+k)] + 2\beta^3 A_{21} + \alpha A_{22}}{16\beta^4 I - 4\beta^3 \gamma^2(3 + 3k + k^2) - 4\beta\theta^2 \gamma^2(1 + k)^2 - 16\beta^2\theta[I\theta + \gamma(1 + k)]} \quad (34)$$

$$D_{M2}^{q*} = \frac{\alpha\theta B_3 - 8cI\beta^3 - 4c\gamma^2(1+k)^2 + 2\beta^4[2c\theta I + 4\alpha\rho I + c\gamma^2(12+5k+k^2)] - 2\beta\theta^2 A_{23}}{16\beta^4 I - 4\beta^3 \gamma^2(3 + 3k + k^2) - 4\beta\theta^2 \gamma^2(1 + k)^2 - 16\beta^2\theta[I\theta + \gamma(1 + k)]} \quad (35)$$

$$E_{M2}^* = (w_2^* - c)D_{R2}^{q*} + (p_{M2}^* - c)D_{M2}^{q*} - \frac{I g_2^{*2}}{2} \quad (36)$$

$$E_{R2}^* = (p_{R2}^* - w_2^*)[(1 - \rho)\alpha - \beta p_{R2}^* + \theta p_{M2}^* + (1 + k)\gamma g_2^*] \tag{37}$$

$$W_2^* = E_{M2}^* + E_{R2}^* + (D_{R2}^{q*2} + D_{M2}^{q*2})/2\beta + g_2^*(D_{R2}^{q*} + D_{M2}^{q*}) \tag{38}$$

其中:

$$\begin{aligned} A_{19} &= -4\beta^2 I(\rho - 1) + \theta\gamma^2[-1 + (k + 2)\rho] + 2\beta[2I\theta\rho + (k + 2)\gamma^2\rho] \\ A_{20} &= c\theta[4I\theta + \gamma^2(8 + 9k + k^2)] + \alpha[4I\theta(\rho - 1) + \gamma^2(1 + k)[-1 + (k + 2)\rho]] \\ A_{21} &= (3 + 2k + k^2)\gamma^2 + c[I(1 + 2\theta) + \gamma^2(k + 1)(k + 3)] \\ A_{22} &= A_{21} + 8\beta(\rho - 1)[-2I\beta^3 + (1 + k)(\theta^2\gamma^2 + 2\theta\beta)] \\ A_{23} &= A_{20} + 3c\theta(4 + k) + 4\alpha\gamma^2(1 + k) \end{aligned}$$

**推论 3** 由于  $\frac{\partial w_2^*}{\partial k} \leq 0$ ,  $\frac{\partial p_{M2}^*}{\partial k} \leq 0$ ,  $\frac{\partial g_2^*}{\partial k} \leq 0$ ,  $\frac{\partial E_{M2}^*}{\partial k} \leq 0$ ,  $w_2^*$ ,  $p_{M2}^*$ ,  $g_2^*$ ,  $E(\pi_{M2}^*)$ 均随  $k$  的增大而下降。

**证明** 求导分析即可得证。

推论 3 表明: 在零售商过度自信且政府无补贴情形下, 批发价格、产品绿色度、线上直销渠道价格与零售商过度自信水平负相关。原因是零售商因过度自信而高估消费者对产品绿色度的喜好程度, 认为消费者对绿色产品的需求较大, 将零售价定得过高。理性制造商对此采取下调零售价的决策, 但也会导致制造商的实际利润下降, 进而导致制造商减少研发生产绿色产品。因此, 制造商减少绿色化投入, 产品批发价格也会下降。

**推论 4** 当  $0 < \frac{\gamma^2}{I} < \frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$  时,  $\frac{\partial E_{R2}^*}{\partial k} > 0$ ; 当  $\frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2} < \frac{\gamma^2}{I} < \frac{6\theta + 14\beta^2\theta + 5\beta^3\theta^2 - \beta(\theta^2 - 16)}{16[\theta^2 + \beta^4\theta^2 + \beta^2(6\theta - 8)]}$  时,  $\frac{\partial E(\pi_{R2}^*)}{\partial k} < 0$ 。

**证明** 求导分析即可得证。

推论 4 表明: 当产品绿色化效率低于  $\frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$  时, 零售商利润与其过度自信水平正相关; 当产品绿色化效率高于  $\frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$  时, 零售商利润与其过度自信水平负相关。原因是, 当产品绿色化效率较低时, 消费者更重视产品市场价格, 结合推论 3 可知随着零售商过度自信水平的增强, 线下零售渠道价格会下降, 市场需求会增长, 供应链成员获得的利润更多; 产品绿色化效率较高时, 消费者更看重产品绿色度, 结合推论 3 可知随着零售商过度自信水平的增强,

产品绿色度会下降, 导致消费者购买力下降, 零售商的利润也减少。由此可知, 零售商利润与产品绿色化效率有关。

**推论 5** 当  $0 < \frac{\gamma^2}{I} < \frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$  时,  $\frac{\partial^2 E_{R2}^*}{\partial k \partial \rho} > 0$ ; 当  $\frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2} < \frac{\gamma^2}{I} < \beta - \theta$  时,  $\frac{\partial^2 E_{R2}^*}{\partial k \partial \rho} < 0$ ; 当  $\beta - \theta < \frac{\gamma^2}{I} < \frac{2[(8 - 6\theta^2)\beta^2 - \beta^4\theta^2 - \theta^2]}{3\beta + \theta + 3\beta^2\theta + \beta^3\theta^2}$  时,  $\frac{\partial^2 E_{R2}^*}{\partial k \partial \rho} > 0$ 。

**证明** 求导分析即可得证。

推论 5 表明: 在产品绿色化效率逐渐增加的情形下, 随着直销渠道市场份额的提高, 过度自信对零售商利润的影响呈先减弱后增强的趋势。可见, 零售商的利润也受直销渠道市场份额的影响。

### 2.4 模型三

考虑零售商过度自信且政府对制造商绿色产品研发和生产进行补贴, 政府、理性制造商 (M) 和过度自信零售商 (R) 进行 Stackelberg 博弈, 决策目标函数分别为:

$$E_{M3} = (w_3 - c)D_{R3}^q + (p_{M3} - c)D_{M3}^q - (1 - s)\frac{I g_3^2}{2} \tag{39}$$

$$U_{R3} = E_{R3} = (p_{R3} - w_3)[(1 - \rho)\alpha - \beta p_{R3} + \theta p_{M3} + (1 + k)\gamma g_3] \tag{40}$$

$$W_3 = E_{M3} + U_{R3} + (D_{R3}^{q2} + D_{M3}^{q2})/2\beta - \frac{1}{2}sI g_3^2 + g_3(D_{R3}^q + D_{M3}^q) \tag{41}$$

**命题 4** 当产品绿色化效率  $\frac{\gamma^2}{I} < \frac{[s\theta^2 + (1 - s)\beta^4\theta^2 - 2\beta^2(4 - (3 - 3s - Is)\theta^2)]}{2[\theta(1 - k) + (3 + k)\theta\beta^2 + (1 + k_2)\beta^3\theta^2 + 3\beta + k_2\beta(\theta^2 - 2)]}$  时, 供应链的最优决策为:

$$w_3^* = \frac{2c(1 + k)(\beta + \theta)(2\beta^2 I(s - 1) - A_{10}) + \alpha[-4\beta^2 I(\rho - 1)(s - 1) + 4\beta I\theta\rho(1 + k)(s - 1) + A_{11}]}{2(\beta + \theta)[4\beta^2 I(s - 1) - 4\beta I\theta(s - 1) - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2]} \tag{42}$$

$$p_{M3}^* = \frac{4cI\beta^3(s - 1) - 2c\theta^2\gamma^2 + 2\beta^2[2\alpha I\rho(s - 1) - 3c\gamma^2] + \beta[-4\alpha I\theta(\rho - 1)(s - 1) - A_{11}]}{2(\beta + \theta)(4\beta^2 I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2)} \tag{43}$$

$$g_3^* = \frac{\gamma[c(2\beta\theta + \theta^2 - 3\beta^2) + \alpha(\beta\rho + \theta + \beta - \theta\rho)]}{4\beta^2 I(s - 1) - 4\beta I\theta(s - 1) - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2} \tag{44}$$

$$p_{R3}^* = \frac{\alpha[A_1 - 12\beta^2 I(\rho - 1)(s - 1) + 8\beta I\theta\rho(s - 1) + 4\beta\gamma^2(2\rho - 1) + 3\theta\gamma^2(2\rho - 1) + A_{12}] + A_2}{4(\beta + \theta)[4\beta^2 I(s - 1) - 4\beta I\theta(s - 1) - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2]} \quad (45)$$

**证明** 证明过程同命题 1, 此处证明省略。由命题 4, 可进一步得到:

$$D_{R3}^{q*} = \frac{-2\alpha A_{10}(1 - \rho) + 2(1 + k)(\beta^2 - \theta^2)A_{11} + \alpha\beta^2 k(1 - \rho) - \alpha^2\beta^2(A_{25} + A_{26}) + A_{27}}{2\beta A_{24}} \quad (46)$$

$$D_{M3}^{q*} = \frac{2c[\beta(3 + k) + \theta(1 + k)](\beta^2 - \theta^2) + \alpha A_{17} - \alpha\beta\theta A_{18} + \alpha^2\beta^2(A_{25} + A_{26}) + A_{28}}{2\beta A_{24}} \quad (47)$$

$$E_{M3}^* = (w_3^* - c)D_{R3}^{q*} + (p_{M3}^* - c)D_{M3}^{q*} - (1 - s)\frac{I g_3^{*2}}{2} \quad (48)$$

$$E_{R3}^* = (p_{R3}^* - w_3^*)[(1 - \rho)\alpha - \beta p_{R3}^* + \theta p_{M3}^* + (1 + k)\gamma g_3] \quad (49)$$

$$W_3^* = E_{M3}^* + E_{R3}^* + (D_{R3}^{q*2} + D_{M3}^{q*2})/2\beta + g(D_{R3}^{q*} + D_{M3}^{q*}) \quad (50)$$

其中:

$$A_{24} = 2(\beta + \theta)(4\beta^2 I - 4\beta I\theta - 3\beta\gamma^2 - \theta\gamma^2); A_{25} = 3\alpha\beta A_{13} - c(\beta - \theta)[2\beta^3 I(s - 1) + \beta^2\gamma^2(6 + 7k + 2k)]$$

$$A_{26} = 2\theta^2\gamma^2(1 + k)^2 + \beta^2 A_{13} + \beta\theta[-2I\theta(s - 1) + (8 + 11k + 3k^2)\gamma^2]$$

$$A_{27} = \alpha\beta[A_{11} + 4\beta I\rho(s - 1)] + c[A_{12}\beta\theta + 4\beta^3 I(s - 1) + \beta^2\gamma^2(6 + 3k + k^2) + 2\theta^2\gamma^2(1 + k)^2]$$

**推论 6** 当  $\frac{\gamma^2}{I} < \frac{[s\theta^2 + (1 - s)\beta^4\theta^2 - 2\beta^2(4 - (3 - 3s - ks)\theta^2)]}{2[\theta(1 - k) + (3 + k)\theta\beta^2 + (1 + k)\beta^3\theta^2 + 3\beta + k\beta(\theta^2 - 2) - k^2\beta(\theta^2 - 1)]}$  时,  $\frac{\partial g_3^*}{\partial k} = 0, \frac{\partial p_{M3}^*}{\partial k} = 0, \frac{\partial p_{R3}^*}{\partial k} = 0, \frac{\partial W_3^*}{\partial k} = 0$ 。

**证明** 对  $w_3^*, g_3^*, p_{M3}^*, p_{R3}^*, W_3^*$  求关于  $k$  的一阶偏导可得。

推论 6 表明: 当产品绿色化效率在一定阈值内, 政府对制造商绿色产品的研发补贴可部分抵消零售商过度自信行为对产品绿色度、线上直销渠道价格、线下零售渠道价格及社会总福利的影响。

**推论 7**  $w_3^* > w_2^*, g_3^* > g_2^*, p_{R3}^* > p_{R2}^*, p_{M3}^* > p_{M2}^*, E_{M3}^* > E_{M2}^*, E_{R3}^* > E_{R2}^*, W_3^* > W_2^*$ 。

**证明** 求导分析即可得证。

推论 7 表明: 当零售商存在过度自信行为时, 在政府补贴策略下的线上直销渠道价格、线下零售渠道价格、产品绿色度、批发价格、供应链成员利润以及社会总福利均高于无政府补贴策略, 表明政府对制造商绿色产品研发的补贴有利于双渠道绿色供应链的发展。

### 3 算例分析

采用 Matlab(R2016b) 软件进行数值仿真, 进一步探讨零售商过度自信和政府补贴对供应链成员决策、社会总福利和供应链成员利润的影响。根据文献 [30-32], 设基础参数的赋值: 绿色产品的潜在市场需求  $\alpha = 200$  万件, 消费者对本身价格敏感系数  $\beta = 25$ , 消费者对渠道间交叉价格敏感系数  $\theta = 5$ , 制造商生产绿色产品的单位成本  $c = 30$  元, 绿色产品研发成本系数  $I = 100$ , 线上直销渠道市场份额  $\rho \in [0, 1]$ ,

零售商的过度自信系数  $k \in [0, 1]$ 。一方面, 设政府补贴率  $s = 0.5$ , 根据命题 1 的成立条件, 设消费者对产品绿色度的敏感系数  $\gamma = 1$ , 取直销渠道市场份额  $\rho = 0.3, 0.8$ , 对比分析零售商过度自信行为的影响, 结果如图 2~6; 另一方面, 假设直销渠道市场份额为定值, 即  $\rho = 0.5$ , 取零售商过度自信系数  $k = 0$  (零售商完全理性) 和  $k = 1$ , 对比分析政府补贴系数的影响, 结果如图 7~11。

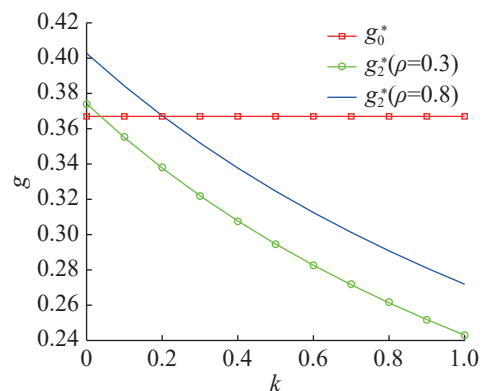


图2 零售商过度自信对产品绿色度的影响

Fig. 2 Impact of retailer overconfidence on product greenness

由图 2 可知: 当政府无补贴时, 零售商的过度自信行为会降低产品绿色度; 当产品绿色化效率为定值时, 产品绿色度随直销渠道市场份额的增加而增大。由此表明, 零售商过度自信对产品绿色度的影响和直销渠道市场份额有关。

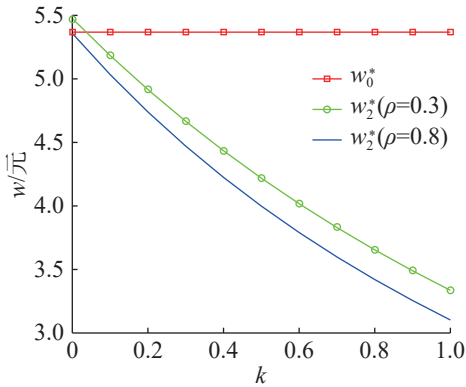


图3 零售商过度自信对批发价格的影响

Fig. 3 Impact of retailer overconfidence on wholesale prices

由图3可知:当政府无补贴时,批发价格与零售商过度自信系数负相关,这是因为零售商过度自信时,理性制造商会通过下调产品零售价抵消零售商的决策偏差,但会导致批发价格下降;当产品绿色化效率为定值时,批发价格随着直销渠道市场份额的增加而减小。这是因为直销渠道份额较低时,零售商过度自信行为更能影响批发价格;直销渠道份额较高时,制造商对供应链的主导能力会将批发价格定高,以此提高零售商过度自信导致下降的利润。

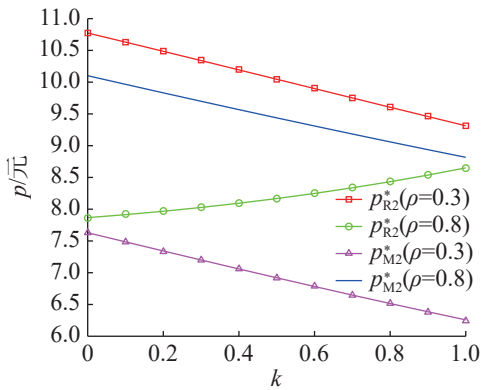


图4 零售商过度自信对销售价格的影响

Fig. 4 Impact of retailer overconfidence on sales prices

由图4可知:政府无补贴的情况下,线上直销渠道价格与零售商过度自信水平负相关;而线下零售渠道价格与零售商过度自信水平有关,也与直销渠道份额有关。原因是,零售商的过度自信行为会导致其高估消费者对产品绿色度的喜爱,误认为制造商的产品绿色度会变高,导致制造商实际绿色投入成本下降,线上直销渠道价格也会降低。

由图5~6可知:政府无补贴时,制造商利润与零售商过度自信水平负相关;零售商利润除了与自身过度自信水平有关,还受到直销渠道市场份额的影响。原因是,当直销渠道份额较低时,零售商过度自

信水平对供应链的影响较强,零售商认为消费者对产品的需求量较大,从而通过上调线下零售渠道价格来谋利,但消费者对产品的需求不会因为价格上调而大幅度下滑,零售商利润仍呈上升趋势;当直销渠道份额较高时,理性制造商会因其对供应链的主导能力对过度自信的零售商进行决策,即下调批发价格,从而导致零售商的利润下降。

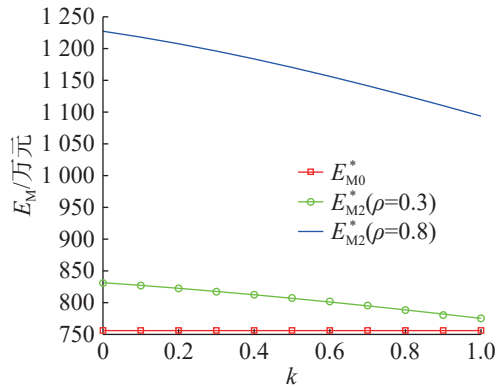


图5 零售商过度自信水平对制造商利润的影响

Fig. 5 Impact of retailer overconfidence on manufacturer profits

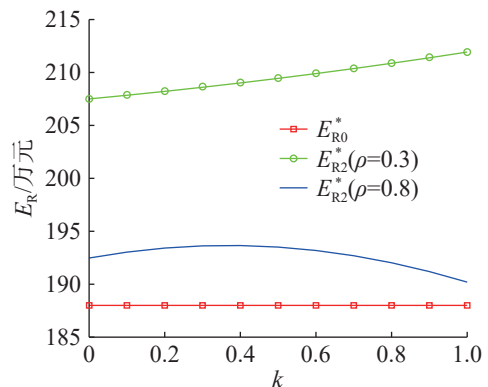


图6 零售商过度自信水平对零售商利润的影响

Fig. 6 Impact of retailer overconfidence on its profits

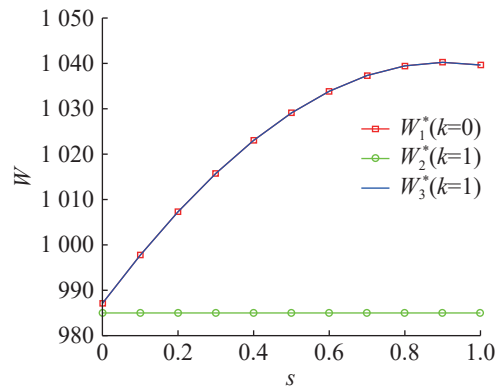


图7 补贴系数对社会总福利的影响

Fig. 7 Impact of subsidy coefficient on overall social welfare

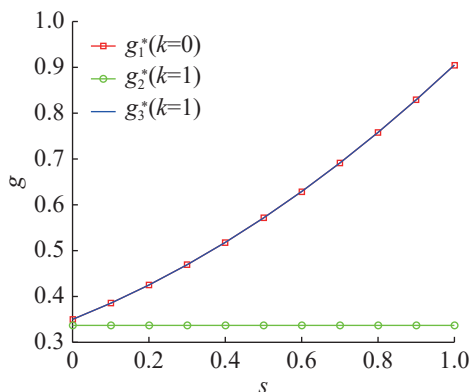


图8 补贴系数对产品绿色度的影响

Fig. 8 Impact of subsidy coefficient on product greenness

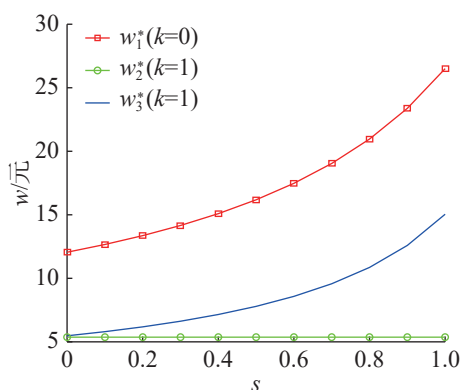


图9 补贴系数对批发价格的影响

Fig. 9 Impact of subsidy coefficient on wholesale prices

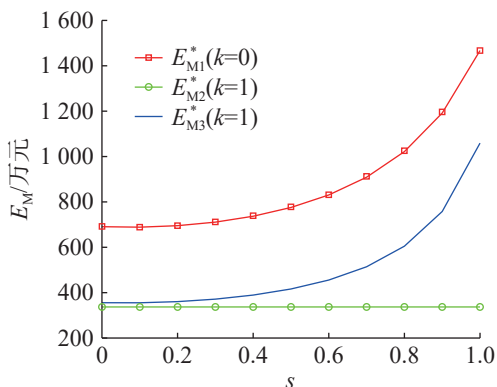


图10 补贴系数对制造商利润的影响

Fig. 10 Impact of subsidy coefficient on manufacturer profits

由图 7~11 可知: 在政府对制造商绿色产品研发进行补贴时, 社会总福利、产品绿色度、批发价格、制造商利润与零售商利润都随着政府补贴系数的增加而增大, 并高于零售商过度自信且政府无补贴时的情况。其中, 双方完全理性和零售商过度自信情形下的产品绿色度、社会总福利等表明政府补贴不仅能部分抵消零售商过度自信的影响, 还能明显增加社会总福利、产品绿色度、制造商和零售商利润。政府补贴且双方完全理性情形下的批发价格和制造

商利润高于政府补贴且零售商过度自信下的情况, 零售商利润与之相反。原因是: 零售商的过度自信行为会对制造商造成不利影响, 削弱政府补贴为制造商带来的利润。在此情形下, 制造商会选择通过降低批发价格谋取消费者需求量的增加来回升自身利润; 而零售商会因自身过度自信上调渠道价格, 由此增加自身利润。

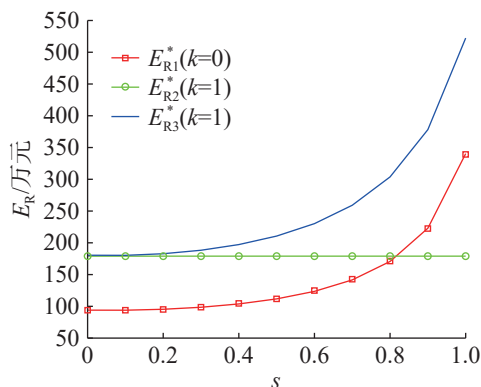


图11 补贴系数对零售商利润的影响

Fig. 11 Impact of subsidy coefficient on retailer profits

#### 4 结论与政策建议

基于 Stackelberg 博弈模型, 考虑零售商过度自信行为和政府补贴, 对比分析零售商完全理性且政府无补贴、零售商完全理性且政府对制造商绿色产品研发和生产进行补贴、零售商过度自信且政府无补贴以及零售商过度自信且政府对制造商绿色产品研发和生产进行补贴这 4 种情形下绿色供应链的最优决策。研究表明: 政府无补贴时, 零售商过度自信不利于产品绿色度、线上直销渠道价格、制造商利润的提升, 而零售商利润和自身渠道价格的变化具体与产品绿色化效率和直销渠道市场份额有关; 政府对制造商绿色产品研发和生产进行补贴时, 无论零售商有无过度自信行为, 社会总福利、产品绿色度、批发价格、制造商与零售商利润都随着补贴系数的增加而增大, 政府补贴也可部分抵消零售商过度自信对绿色度决策、价格决策及社会总福利的影响。

基于上述研究结果, 得出以下政策建议或管理启示:

- 1) 从政府视角看, 为激励制造企业创新研发和生产绿色产品, 采取补贴政策作用显著, 完善的绿色激励政策有助于推动绿色供应链的可持续发展。
- 2) 从绿色供应链角度看, 零售商存在的过度自信行为会削弱制造商绿色产品生产的投入, 导致其利润下降; 零售商虽然在短时间内能够增加利润, 但

是长此以往利润也会下降,对绿色供应链的可持续发展不利。因此建议在政府部门规范行业行为以及绿色供应链上游企业运营决策过程中,应充分考虑并约束零售商过度自信行为可能造成的风险。

本文研究可为政府激励绿色供应链发展的相关政策提供决策支持,同时还可丰富供应链中考虑非理性行为的相关理论。但是本文研究也存在一定的局限性,未来可进一步研究互联网、云计算等新兴产业背景下的绿色供应链决策问题,从而实现更加智能、高效和环保的供应链管理。

#### 参考文献:

- [1] LI M W, SHAN M Y. Pricing and green promotion effort strategies in dual-channel green supply chain: considering e-commerce platform financing and free-riding[J]. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 2023, 38(11):2310–2323.
- [2] MANDAL A, PAL B. Investigating dual-channel green supply chain considering refurbishing process and product recycling with environmental awareness effort[J]. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2023, 204: 695–726.
- [3] 王建华, 王琳. 考虑零售商公平偏好的绿色供应链决策与协调研究[J]. *系统科学与数学*, 2022, 42(2):386–397.  
WANG J H, WANG L. Research on decision-making and coordination of green supply chain considering fair preference of retailers[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2022, 42(2):386–397.
- [4] 贺勇, 陈志豪, 廖诺. 政府补贴方式对绿色供应链制造商减排决策的影响机制[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(6):87–98.  
HE Y, CHEN Z H, LIAO N. The impact mechanism of government subsidy approach on manufacturer's decision-making in green supply chain[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(6):87–98.
- [5] CHEN T W, ZHOU R H, LIU C Q, et al. Research on coordination in a dual-channel green supply chain under live streaming mode[J]. *Sustainability*, 2023, 15(1):878.
- [6] WU K L, DE SCHUTTER B, REZAEI J, et al. Decision analysis and coordination in green supply chains with stochastic demand[J]. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 2023, 10(1):1–6.
- [7] 潘金涛, 王道平, 田雨. 政府补贴下考虑公平关切的双渠道绿色供应链定价决策研究[J]. *系统科学与数学*, 2023, 43(12):3243–3262.  
PAN J T, WANG D P, TIAN Y. Research on dual-channel green supply chain decision-making considering fairness concerns under government subsidies[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2023, 43(12):3243–3262.
- [8] WANG W L, ZHANG R Z. Green supply chain operations decision and government subsidy strategies under R & D failure risk[J]. *Sustainability*, 2022, 14(22):15307.
- [9] WANG W B, LIN W Y, CAI J H, et al. Impact of demand forecast information sharing on the decision of a green supply chain with government subsidy[J]. *Annals of Operations Research*, 2023, 329(1):953–978.
- [10] GAO W T, ZHANG H, LU J F, et al. Research on green supply chain formation and government subsidy pricing strategy considering an online trading platform[J]. *Sustainability*, 2023, 15(19):14290.
- [11] XU J, DUAN Y R. Pricing and greenness investment for green products with government subsidies: when to apply blockchain technology?[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2022, 51:101108.
- [12] 唐娟, 李帮义, 龚本刚, 等. 考虑企业社会责任的零售商回收型闭环供应链决策与协调研究[J]. *中国管理科学*, 2023, 31(11):228–237.  
TANG J, LI B Y, GONG B G, et al. Decision and coordination of the retailer recycling closed-loop supply chain considering corporate social responsibility[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2023, 31(11):228–237.
- [13] 孙立成, 郭晓亮. 考虑低碳参考效应的供应链产品双渠道宣传决策与协调[J]. *控制与决策*, 2024, 39(9): 1360–1368.  
SUN LC, GUO X L. Decision making and coordination of supply chain product dual channel publicity considering low-carbon reference effect[J]. *Control and Decision*, 2024, 39(9):1360–1368.
- [14] 边展, 张红艳. 考虑资金约束的制造商双渠道供应链融资策略[J/OL]. *中国管理科学*, [2024-01-03] <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.1699>.  
BIAN Z, ZHANG H Y. Manufacturer's dual channel supply chain financing strategy considering capital constraints[J/OL]. *Chinese Journal of Management Science*, [2024-01-03] <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.1699>.
- [15] 王道平, 尹一博, 董汉玺. 考虑政府补贴和制造商互惠偏好的碳减排策略研究[J]. *系统科学与数学*, 2023, 43(8):2064–2085.  
WANG D P, YIN Y B, DONG H X. Research on carbon emission reduction strategies considering government subsidies and manufacturers' reciprocal preferences[J]. *Journal of Systems Science and Mathematical Sciences*, 2023, 43(8):2064–2085.
- [16] MENG Q F, LI M W, LIU W Y, et al. Pricing policies of dual-channel green supply chain: considering government subsidies and consumers' dual preferences[J]. *Sustainable*

- Production and Consumption*, 2021, 26:1021–1030.
- [17] 贡文伟,沈静静,丁凡,等.考虑风险规避的双渠道绿色供应链动态协调策略[J].系统工程,2024,42(1):100–110.  
GONG W W, SHEN J J, DING F, et al. Dynamic coordination strategy of dual-channel green supply chain considering risk aversion[J]. *Systems Engineering*, 2024, 42(1):100–110.
- [18] RAZA S A, GOVINDALURI S M. Pricing strategies in a dual-channel green supply chain with cannibalization and risk aversion[J]. *Operations Research Perspectives*, 2019, 6:100118.
- [19] 周辉.基于过度自信的双渠道绿色供应链决策研究[J].工业工程,2022,25(5):47–54.  
ZHOU H. Decision-making of dual-channel green supply chain based on overconfidence[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2022, 25(5):47–54.
- [20] 贡文伟,夏萌,丁凡,等.制造商过度自信下考虑权力结构的双渠道绿色供应链动态决策[J/OL].计算机集成制造系统, [2024–01–15]. <https://doi.org/10.13196/j.cims.2023.0480>.  
GONG W W, XIA M, DING F, et al. Dynamic decisions of dual-channel green supply chain considering power structures under manufacturer's overconfidence[J/OL]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, [2024–01–15]. <https://doi.org/10.13196/j.cims.2023.0480>.
- [21] 王文杰,刘亚洲.渠道竞争下考虑零售商过度自信的供应链定价决策[J].管理学报,2023,20(10):1525–1535.  
WANG W J, LIU Y Z. Pricing decisions for supply chain considering overconfidence of retailers with channel competition[J]. *Chinese Journal of Management*, 2023, 20(10):1525–1535.
- [22] 周岩,胡劲松,刘京.考虑公平关切的双渠道绿色供应链决策分析[J].工业工程与管理,2020,25(1):9–19.  
ZHOU Y, HU J S, LIU J. Decision analysis of a dual channel green supply chain considering the fairness concern[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2020, 25(1):9–19.
- [23] LI B, ZHU M Y, JIANG Y S, et al. Pricing policies of a competitive dual-channel green supply chain[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112:2029–2042.
- [24] WANG L M, SONG Q K. Pricing policies for dual-channel supply chain with green investment and sales effort under uncertain demand[J]. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2020, 171:79–93.
- [25] 江世英,李随成.考虑产品绿色度的绿色供应链博弈模型及收益共享契约[J].中国管理科学,2015,23(6):169–176.  
JIANG S Y, LI S C. Green supply chain game models and revenue sharing contract with product green degree[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(6):169–176.
- [26] 石平,颜波,石松.考虑公平的绿色供应链定价与产品绿色度决策[J].系统工程理论与实践,2016,36(8):1937–1950.  
SHI P, YAN B, SHI S. Pricing and product green degree decisions in green supply chains with fairness concerns[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2016, 36(8):1937–1950.
- [27] REN Y F, CCROSON D, TA CROSON R. The overconfident newsvendor[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2017, 68(5):496–506.
- [28] 曹裕,李青松,胡韩莉.不同政府补贴策略对供应链绿色决策的影响研究[J].管理学报,2019,16(2):297–305,316.  
CAO Y, LI Q S, HU H L. Research on the influence of different government subsidy strategies on the green decision-making of supply chain[J]. *Chinese Journal of Management*, 2019, 16(2):297–305,316.
- [29] HONG Z F, GUO X L. Green product supply chain contracts considering environmental responsibilities[J]. *Omega*, 2019, 83:155–166.
- [30] 张艳丽,胡小建,杨海洪,等.政府补贴下考虑消费者策略行为的绿色供应链决策模型[J].预测,2017,36(2):57–63.  
ZHANG Y L, HU X J, YANG H H, et al. Green supply chain decision model based on government subsidies and consumer strategic behaviors[J]. *Forecasting*, 2017, 36(2):57–63.
- [31] 曹裕,寻静雅,李青松.基于不同政府补贴策略的供应链绿色努力决策比较研究[J].运筹与管理,2020,29(5):108–118.  
CAO Y, XUN J Y, LI Q S. A comparative study of green efforts in supply chain based on different government subsidy strategies[J]. *Operations Research and Management Science*, 2020, 29(5):108–118.
- [32] 相模,李芳.政府补贴对风险规避型绿色供应链决策影响研究[J].工业工程,2022,25(5):159–170.  
XIANG M, LI F. A research on the influence of government subsidies on the decision of risk averse green supply chain[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2022, 25(5):159–170.