

消费者绿色偏好影响下的双渠道绿色供应链定价决策研究

胡鑫鑫¹, 贡文伟¹, 张 妍²

¹江苏大学管理学院, 江苏 镇江

²宿迁学院经济管理学院, 江苏 宿迁

收稿日期: 2025年3月20日; 录用日期: 2025年4月9日; 发布日期: 2025年5月9日

摘 要

文章构建由单一制造商和零售商组成的双渠道绿色供应链, 考虑消费者对产品具有绿色偏好, 基于Stackelberg博弈, 求解双渠道绿色供应链在分散决策模式和集中决策模式下的最优决策, 并对不同情境下的最优决策变化进行了对比分析。进一步地, 研究了消费者绿色偏好对供应链各参与主体决策的影响, 并采用数值模拟方法对理论推导结果进行检验。研究表明: 集中决策模式下, 双渠道绿色供应链的最优决策结果优于分散决策模式下的决策效果, 供应链成员进行合作更有利于双渠道绿色供应链的长期发展; 消费者绿色偏好对供应链决策具有显著影响, 绿色偏好的提高可以促进绿色产品的销售, 进而促进绿色发展; 消费者对绿色产品的偏好能够促使制造商加大绿色生产投入, 进而提升产品的绿色度。制造商也会相应提高绿色产品的定价, 从而获取更高的利润。

关键词

双渠道, 绿色供应链, 消费者绿色偏好, Stackelberg博弈

Research on Pricing Decisions of Dual-Channel Green Supply Chain under the Influence of Consumers' Green Preferences

Xinxin Hu¹, Wenwei Gong¹, Yan Zhang²

¹School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

²School of Economics and Management, Suqian College, Suqian Jiangsu

Received: Mar. 20th, 2025; accepted: Apr. 9th, 2025; published: May 9th, 2025

文章引用: 胡鑫鑫, 贡文伟, 张妍. 消费者绿色偏好影响下的双渠道绿色供应链定价决策研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(5): 261-269. DOI: 10.12677/ec.2025.1451267

Abstract

The article constructs a dual-channel green supply chain consisting of a single manufacturer and a retailer, considering that consumers have a green preference for products. Based on the Stackelberg game, the optimal decisions of the dual-channel green supply chain under decentralized and centralized decision-making modes are solved, and the changes in optimal decisions under different scenarios are compared and analyzed. Furthermore, the impact of consumers' green preferences on the decisions of supply chain participants is studied, and the theoretical derivation results are tested using numerical simulation methods. The research shows that: under the centralized decision-making mode, the optimal decision results of the dual-channel green supply chain are better than those under the decentralized decision-making mode, and cooperation among supply chain members is more conducive to the long-term development of the dual-channel green supply chain; consumers' green preferences have a significant impact on supply chain decisions, and the increase in green preferences can promote the sales of green products, thereby promoting green development; consumers' preference for green products can encourage manufacturers to increase green production investment, thereby improving the greenness of products. Manufacturers will also correspondingly increase the pricing of green products to obtain higher profits.

Keywords

Dual Channel, Green Supply Chain, Consumer Green Preferences, Stackelberg Game

Copyright © 2025 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

在全球经济快速发展的背景下，环境问题日益突出，环境保护已成为当前亟需解决的重要议题。为应对环境变化，我国政府积极探索绿色经济的发展路径，并积极推动全社会广泛参与绿色创新。为激发市场活力，政府制定并实施了一系列绿色环保政策，旨在推动经济与环境的协同发展。2024年发布的《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划(2024~2025年)》明确提出，要推动生产方式的绿色低碳转型，强化工业企业在减污降碳、节能节水节材以及资源综合利用方面的措施[1]。随着“双碳”战略的深入推进，市场主体的环境责任意识显著提升，其对产品绿色性能愈发关注。这种消费倾向的转变表明，具有环境友好特征的产品能够产生独特的市场溢价。在此背景下，生产企业必须加快构建可持续发展战略，推进供应链体系的绿色转型，降低碳排放强度，从而在激烈的市场竞争中占据有利地位。随着数字经济的蓬勃兴起，传统商业生态发生了深刻变革，这不仅改变了终端用户的消费方式，也推动了企业营销体系的创新升级。为满足市场对多元化购物途径的需求，大量厂商纷纷布局线上直销平台。相较于传统供应链，融合线上线下双重渠道的绿色供应网络呈现出更高的系统复杂性，其特点在于同级节点间存在竞合关系，而商业活动主要在上下游节点间展开。基于此，在互联网时代背景下，探究供应链参与主体如何构建科学的价格机制，对于优化供应链整体效能、推动可持续供应链的健康发展具有重要的理论贡献和实践启示。

近年来，绿色低碳发展逐渐成为各行业高度关注的核心议题，学术界对绿色减排问题的研究日益深入。众多学者围绕单渠道绿色供应链的定价决策展开了研究。林志炳[2]通过构建一个包含产能限制的供

应商和绿色制造商的两阶段绿色供应链模型，深入分析了政府对消费者补贴的长期影响及其对供应链成员策略的影响。Mei 等[3]基于 Stackelberg 博弈模型，构建了四种不同情境下的绿色供应链定价决策模型，深入探讨了制造商的公平关切、零售商主导地位以及碳减排对绿色供应链定价决策的影响。梁喜等[4]引入消费者信任衰减系数、生产者溯源能力系数以及回收激励系数等关键变量，运用 Stackelberg 博弈模型，分析了制造商是否采用区块链技术以及不同回收主体对绿色供应链定价决策的影响。

随着市场竞争加剧和消费者需求的日益多样化，消费者偏好的重要性在供应链管理中愈发凸显。陈克兵等[5]基于消费者效用理论和博弈论，研究了绿色生产制造商的渠道结构选择策略，以及供应链成员在价格、绿色技术投资水平等方面的最优决策。王志宏等[6]针对由资金约束的供应商、电商平台及策略型消费者构成的供应链系统，分别在风险中性和风险规避两种消费者行为模式下，构建了社交网络效应的产品众筹优化模型。通过该模型深入探讨了消费者风险偏好程度和社交影响力等关键参数对供应链运营决策及整体收益的作用机制。Zhou 等[7]构建单一供应商、制造商和零售商组成的三级供应链，考虑政府干预和消费者低碳偏好对市场份额、碳减排技术改进以及零售商低碳广告的影响。

基于对绿色供应链及消费者偏好相关研究的系统性回顾，当前国内外研究已充分证明绿色供应链科学价值，且该领域的研究成果较为丰富。然而，深入分析现有文献可以发现，相关研究领域仍存在若干需要进一步探索和完善的研究空间。具体而言，在绿色供应链领域研究中，多数学者聚焦于单一销售渠道定价决策，对于多渠道结构定价决策问题探讨较少。然而，在信息技术迅猛发展的当下，许多绿色供应链企业不仅保留了传统线下零售渠道，还积极拓展了线上直销渠道。在消费者绿色偏好的研究方面，以往多数研究将消费者视为同质化群体，而本文将消费者绿色偏好与渠道偏好相结合，通过市场细分，深入分析了对双渠道绿色供应链的协同作用。鉴于此，本文聚焦于由零售商和实施绿色创新的制造商构成的双渠道绿色供应链，考虑消费者绿色偏好，分析了集中与分散决策模式下双渠道绿色供应链的定价策略，并通过分析揭示消费者绿色偏好强度对供应链系统定价的传导效应。在此基础上，运用数值仿真技术，深入探究了消费者绿色偏好对双渠道系统的影响，进而提出具有实践指导意义的供应链优化策略。

2. 问题描述与模型假设

本文研究了一个由零售商和绿色创新的制造商构成的双渠道绿色供应链，制造商由传统实体分销网络和线上直销渠道两种途径销售绿色产品，而终端用户则根据自身偏好选择最优渠道。假设制造商生产成本为 c ，为简化计算，令 $c = 0$ 。在实体渠道下，零售商以批发价格 w 从制造商处批发绿色产品，并以零售价格 p_r 销售给消费者；在网络直销渠道下，制造商采取网络直销策略，以零售价格 p_d 销售给消费者。本文供应链结构模型如图 1 所示：

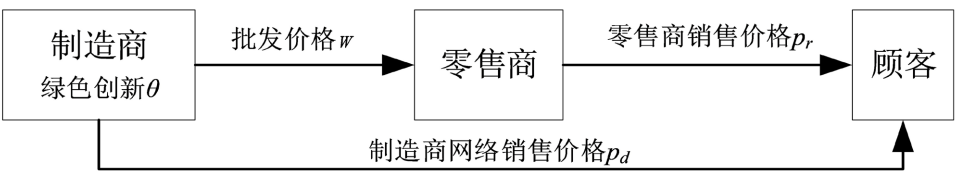


Figure 1. Dual-channel supply chain structure for green products
图 1. 绿色产品双渠道供应链结构

本文模型具有如下假设：

假设 1 制造商开展的绿色创新研发能够显著提升产品的市场吸引力，这种正向效应将直接反映在消费者对绿色产品需求的提升[8]。

假设 2 制造商实施绿色创新的成本支出可以表示为一个关于绿色创新程度的二次函数，具体形式为

$\frac{1}{2}k\theta^2$ ，其中 k 为绿色创新成本系数， θ 为产品绿色度[9]。

本研究涉及的关键变量及其定义详见表 1。

Table 1. Explanation of symbols
表 1. 符号说明

符号	定义
a	市场需求规模， $a > 0$
μ	消费者实体渠道偏好， $0 < \mu < 1$
c	绿色产品生产成本
w	绿色产品批发价格
β	消费者绿色偏好系数
θ	产品绿色度水平
k	绿色创新成本系数
Q_r, Q_d	实体渠道、网络直销渠道市场需求量
p_r, p_d	实体渠道、网络直销渠道零售价格
π_r, π_m	零售商、制造商利润

注：本文规定*表示最优均衡解；上标 D 分散决策； C 集中决策。

3. 模型构建与求解

3.1. 分散决策下双渠道绿色供应链决策模型(D 模型)

在分散决策下，零售商和制造商均以实现个体收益最大化为决策准则，基于 Stackelberg 主从博弈理论，建立了供应链各参与方的博弈模型。

零售商和制造商利润构成如下：

$$\pi_r^D = (p_r - w)Q_r = (p_r - w)(\mu a - p_r + \beta\theta) \quad (1)$$

$$\pi_m^D = wQ_r + p_d Q_d - \frac{1}{2}k\theta^2 = w(\mu a - p_r + \beta\theta) + p_d((1 - \mu)a - p_d + \beta\theta) - \frac{1}{2}k\theta^2 \quad (2)$$

根据逆向求解法，先对零售商利润函数 π_r^D 求 p_r 二阶偏导数，易得 $\frac{\partial^2 \pi_r^D}{\partial p_r^2} = -2 < 0$ ，可知 π_r^D 是 p_r 的严格凹函数， π_r^D 存在最大值。令 $\frac{\partial \pi_r^D}{\partial p_r} = 0$ ，可得零售商最优零售商价格 p_r^D 为

$$p_r^D = \frac{w + \beta\theta + a\mu}{2b} \quad (3)$$

为使得制造商制定最优决策，将式(3)代入(2)中得到制造商利润，并求 π_m^D 关于 p_d 、 w 及 θ 的海塞矩阵，易得一阶主子式为 $-2 < 0$ ，二阶主子式为 $2k - \beta^2$ ，三阶主子式为 $\frac{3\beta^2}{2} - 2k^2$ ，假定 $2k > \beta^2$ 且 $\frac{3\beta^2}{2} < 2k^2$ ，解得 $k > \frac{\sqrt{3}\beta}{2}$ ，则 π_m^D 是关于 p_d 、 w 及 θ 的凹函数， π_m^D 存在最大值。联立 $\frac{\partial \pi_m^D}{\partial p_d} = 0$ 、 $\frac{\partial \pi_m^D}{\partial w} = 0$ 、 $\frac{\partial \pi_m^D}{\partial \theta} = 0$ ，

可得制造商最优批发价格 w^{D^*} 、零售价格 $p_d^{D^*}$ 及产品绿色度水平 θ^{D^*} ：

$$w^{D^*} = \frac{a(\beta^2(1-2\mu) + 2k\mu)}{4k - 3\beta^2} \quad (4)$$

$$p_d^{D^*} = -\frac{a(\beta^2(1-2\mu) + 4k\mu(\mu-1))}{2(4k - 3\beta^2)} \quad (5)$$

$$\theta^{D^*} = \frac{a\beta(\mu-2)}{3\beta^2 - 4k} \quad (6)$$

将(4)、(5)、(6)代入 p_r^D 、 Q_r 、 Q_d 、 π_r^D 、 π_m^D 可得

$$p_r^{D^*} = \frac{3a((1-2\mu)\beta^2 + 2k\mu)}{2(4k - 3\beta^2)} \quad (7)$$

$$Q_r^{D^*} = \frac{a(\beta^2(1-2\mu) + 2k\mu)}{2(4k - 3\beta^2)} \quad (8)$$

$$Q_d^{D^*} = -\frac{a(\beta^2(1-2\mu) + 4k(\mu-1))}{2(4k - 3\beta^2)} \quad (9)$$

$$\pi_r^{D^*} = \frac{a^2(\beta^2(1-2\mu) + 2k\mu)^2}{4(4k - 3\beta^2)^2} \quad (10)$$

$$\pi_m^{D^*} = \frac{a^2(2k(2 + \mu(3\mu - 4)) - \beta^2(1-2\mu)^2)}{4(4k - 3\beta^2)} \quad (11)$$

命题 1 分散决策下, $\frac{\partial w^{D^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial p_d^{D^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial \theta^{D^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial p_r^{D^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial Q_r^{D^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial Q_d^{D^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial \pi_r^{D^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial \pi_m^{D^*}}{\partial \beta} > 0$ 。

命题 1 表明, 在分散决策模式下, 制造商与零售商的市场定价、市场需求规模以及收益均随着消费者环境偏好的增强而呈现正向趋势。随着消费者对绿色产品偏好的增强, 制造商为满足市场需求, 会加大对产品绿色创新的资金投入, 进而提升产品的绿色度。然而, 绿色创新水平的提高也伴随着成本的上升。为了维持盈利水平稳定, 制造商需上调产品批发价格以及网络直销价格。相应地, 零售商也相应提高实体分销渠道售价。对于具有绿色偏好的消费群体来说, 产品绿色度的提升显著增强了其购买意愿。这种消费倾向有效刺激了市场需求, 从而推动供应链各参与方收益的增长。总体而言, 消费者的绿色偏好不仅激励了产品的绿色创新, 还刺激了市场需求的提升, 实现了供应链整体价值的提升。

3.2. 集中决策下双渠道绿色供应链决策模型(C 模型)

在集中决策下, 零售商和制造商均以实现整体收益最大化为决策准则, 通过 Stackelberg 博弈进行分析, 则供应链成员博弈模型为:

供应链商整体利润构成如下:

$$\pi^C = p_r Q_r + p_d Q_d - \frac{1}{2} k \theta^2 = p_r (\mu a - p_r + \beta \theta) + p_d ((1-\mu)a - p_d + \beta \theta) - \frac{1}{2} k \theta^2 \quad (12)$$

先对供应链整体利润函数 π^C 求关于 p_r 、 p_d 、 θ 的海塞矩阵, 可得一阶主子式为 -2 , 二阶主子式为 4 , 三阶主子式为 $4\beta^2 - 4k$ 。假定 $\beta^2 - k < 0$, 则 π^C 是关于 p_r 、 p_d 、 θ 的凹函数, 存在最大值。联立 $\frac{\partial \pi^C}{\partial p_d} = 0$ 、

$\frac{\partial \pi^C}{\partial p_r} = 0$ 、 $\frac{\partial \pi^C}{\partial \theta} = 0$, 可得制造商最优批发价格 $p_r^{C^*}$ 、零售价格 $p_d^{C^*}$ 及产品绿色度水平 θ^{C^*} :

$$p_r^{C^*} = \frac{1}{4}a \left(2\mu + \frac{\beta^2}{k - \beta^2} \right) \quad (13)$$

$$p_d^{C^*} = \frac{1}{4}a \left(1 - 2\mu + \frac{k}{k - \beta^2} \right) \quad (14)$$

$$\theta^{C^*} = \frac{a\beta}{2k - 2\beta^2} \quad (15)$$

将(13)、(14)、(15)代入 Q_r 、 Q_d 、 π^C 可得

$$Q_r^{C^*} = \frac{1}{4}a \left(2\mu + \frac{\beta^2}{k - \beta^2} \right) \quad (16)$$

$$Q_d^{C^*} = \frac{1}{4}a \left(1 - 2\mu + \frac{k}{k - \beta^2} \right) \quad (17)$$

$$\pi^{C^*} = \frac{a^2 \left(k(2 + 4\mu(\mu - 1)) - \beta^2(1 - 2\mu)^2 \right)}{8(k - \beta^2)} \quad (18)$$

命题 2 集中决策下, $\frac{\partial p_r^{C^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial p_d^{C^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial \theta^{C^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial Q_r^{C^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial Q_d^{C^*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial \pi^{C^*}}{\partial \beta} > 0$ 。

命题 2 表明, 在集中决策模式下, 随着消费者对绿色产品偏好的不断增强, 制造商为了满足市场需求, 会加大对产品绿色创新的投入, 从而提升产品的绿色度。然而, 绿色创新的实施不可避免地导致生产成本上升。为弥补因实施绿色创新而产生地额外支出, 制造商通常会提高产品批发和零售价格。虽然价格有所提升, 但产品绿色度的提升却能够有效吸引绿色偏好的消费群体购买, 这种消费倾向使得他们愿意为具有更高绿色标准的产品支付额外溢价。这种绿色偏好驱动的消费行为, 进一步推动了绿色产品的市场需求增长, 形成了绿色创新与市场需求之间的良性互动。

命题 3 在双渠道绿色供应链中考虑消费者绿色偏好背景下, 分散与集中决策两种模式下的最优均衡解呈现如下特征关系: $\theta^{C^*} > \theta^{D^*}$, $p_r^{C^*} > p_r^{D^*}$, $p_d^{C^*} > p_d^{D^*}$, $Q_r^{C^*} > Q_r^{D^*}$, $Q_d^{C^*} > Q_d^{D^*}$, $\pi^{C^*} > \pi^{D^*}$ 。

命题 3 表明, 当两模式均达到均衡状态时, 集中模式的产品绿色度、市场价格、市场份额以及供应链总收益均显著优于分散决策模式。这一现象表明, 在分散决策模式中, 零售商和制造商仅关注个体收益最大化, 而忽略了供应链其他参与主体的利益诉求, 最终导致产品绿色度、市场份额、定价水平以及供应链整体收益均低于集中决策模式。由此可见, 集中决策模式能够更有效地协调供应链各方利益关系, 进而实现更高的整体效益。

4. 数值分析

本文利用 MATLAB 软件进行数值仿真, 旨在揭示关键变量对供应链决策行为的影响, 同时检验前述理论推导结果的可靠性。参考文献[10]参数设置, 对分散和集中式决策参数进行赋值: $a = 100$, $\mu = 0.6$,

$k = 0.6$ ，赋值满足本文的约束条件。鉴于 $\theta^{C^*} > 0$ 且 $\theta^{D^*} > 0$ ，则 $0 < \beta < \frac{\sqrt{15}}{5}$ 。在此基础上，本文重点围绕消费者绿色偏好展开灵敏度分析，旨在揭示关键参数对供应链各主体影响，并验证所构建模型的有效性。基于数值仿真实验结果，本文将提出具有实践指导意义的策略。

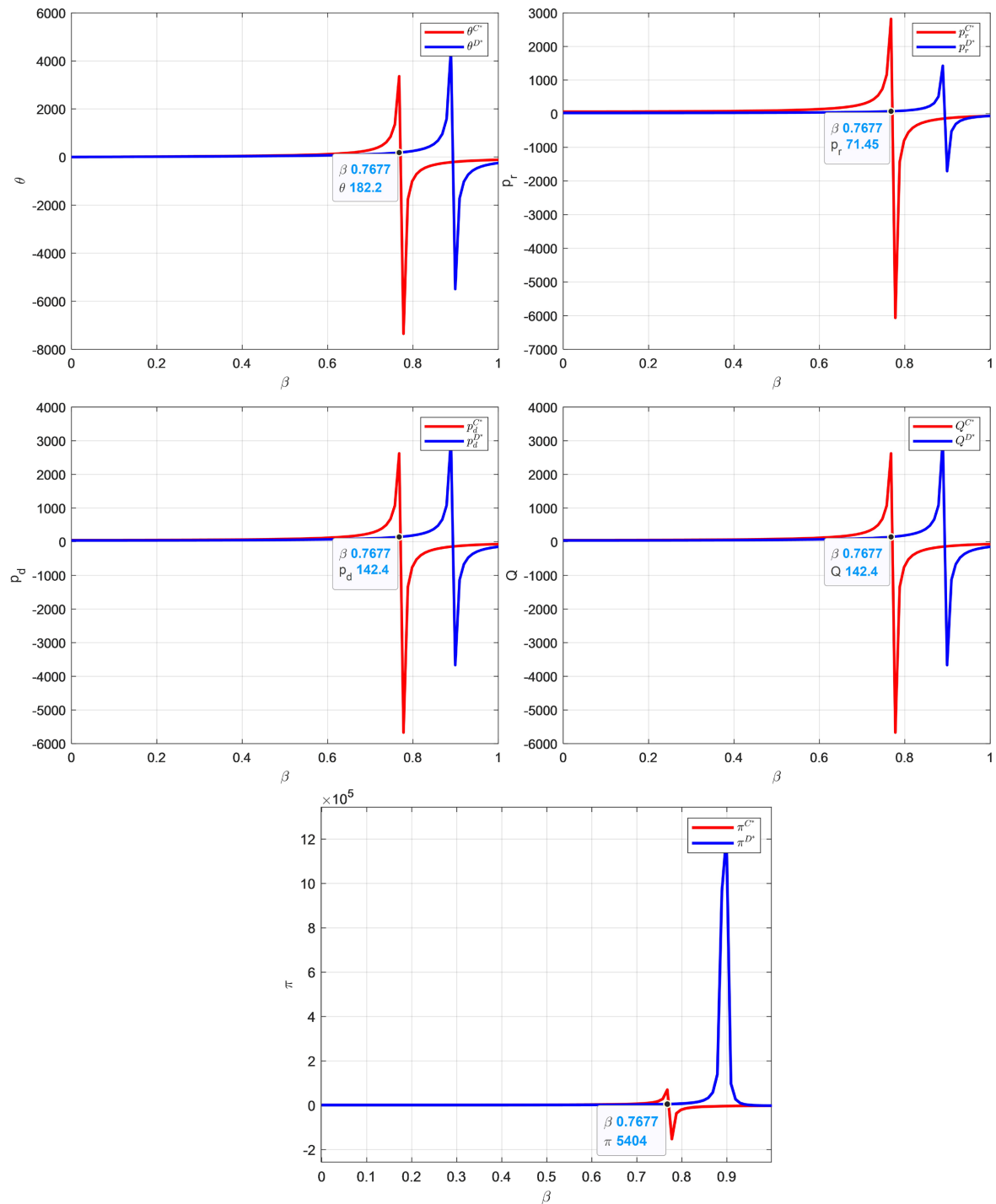


Figure 2. The influence of consumer green preferences on supply chain decisions
图 2. 消费者绿色偏好对供应链决策的影响

图2揭示了消费者绿色偏好程度对产品绿色度、制造商直销价格、零售商价格、需求规模以及供应链总收益的影响。从图2可知,两种模式下,随着消费者绿色偏好加强,产品绿色度、制造商直销价格、零售商价格、需求及供应链总收益均呈现明显的增长态势。此外,集中决策下的产品绿色度、制造商直销价格、零售商价格、市场需求以及供应链总收益均高于分散决策模式情形。

5. 总结

5.1. 结论

本文以单一制造商和零售商构成的双渠道绿色供应链为研究对象,考虑消费者对产品的绿色偏好,并深入探讨消费者绿色偏好程度对供应链最优均衡解及收益影响,并通过数值分析对结果进行检验,进一步探讨了相关系数对供应链均衡解及收益的作用。研究表明:(1)集中决策下,产品绿色度、需求、零售商价格、制造商直销价格以及供应链总收益均高于分散决策。因此,推动制造商与零售商之间的合作,减少双重边际效应,提升产品绿色度,能够有效改善供应链的收益水平。(2)消费者绿色偏好对供应链决策具有显著影响。绿色偏好的提升能够促进绿色产品的销售,进而推动绿色供应链的发展。(3)消费者绿色偏好能够有效激励制造商提高绿色创新投入,从而提升产品绿色度,并通过提升产品定价来获取更高收益水平。

5.2. 研究不足

本文模型通过单一参数简化了消费者对绿色产品偏好表达,虽便于分析,却未能深入剖析其形成机制。消费者绿色偏好的塑造涉及个人价值观、社会文化、政策导向及产品信息透明度等多因素。未来研究应深入探讨其对偏好形成的影响,并将其融入模型,以全面呈现消费者绿色偏好复杂性。同时,鉴于不同渠道下消费者绿色偏好差异,未来研究需进一步探索如何在模型中体现这种异质性,为供应链决策提供更精准依据,推动绿色供应链可持续发展。

5.3. 管理启示

通过集中决策和分散决策模型结果对比,企业在集中决策下可显著提升整体效益,减少双重边际效应。企业应重视消费者绿色偏好,加大绿色创新投入,优化渠道管理,持续推动绿色转型,并建立科学的绩效评估体系,将有助于供应链管理者在激烈的市场竞争中占据优势,实现可持续发展。

参考文献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 贯彻实施《国家标准化发展纲要》行动计划(2024-2025年)[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202403/content_6942541.htm, 2025-3-15.
- [2] 林志炳. 考虑政府补贴及产能约束的两周期绿色供应链定价研究[J/OL]. 工业工程与管理, 1-21[2025-05-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1738.T.20250226.1736.014.html>
- [3] Mei, Y., Cao, K., Liu, Y. and Mangla, S.K. (2024) Effects of Manufacturer Fairness Concerns and Carbon Emission Reduction Investment on Pricing Decisions under Countervailing Power. *Journal of Cleaner Production*, **461**, Article 142616. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142616>
- [4] 梁喜, 胡鑫. 考虑区块链和产品回收的绿色供应链定价决策[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(11): 3851-3868.
- [5] 陈克兵, 王雨琦, 肖迪. 基于消费者产品偏好的制造商渠道选择和绿色度水平与定价决策[J/OL]. 管理工程学报, 1-16[2025-05-06]. <https://doi.org/10.13587/j.cnki.jieem.2025.03.018>
- [6] 王志宏, 王鑫, 戴家宏. 社交影响下考虑消费者损失规避行为的产品众筹优化决策研究[J]. 管理工程学报, 2025, 39(1): 125-139.
- [7] Zhou, H., Liu, M. and Tan, Y. (2023) Long-Term Emission Reduction Strategy in a Three-Echelon Supply Chain Considering Government Intervention and Consumers' Low-Carbon Preferences. *Computers & Industrial Engineering*, **186**,

-
- Article 109697. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109697>
- [8] 孙嘉轶, 龙琦, 滕春贤. 自主创新 vs.技术外取: 考虑研发能力的绿色供应链研发策略与合同设计[J/OL]. 中国管理科学, 1-23[2025-05-06]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2024.0337>
- [9] Chen, J., Dimitrov, S. and Pun, H. (2019) The Impact of Government Subsidy on Supply Chains' Sustainability Innovation. *Omega*, **86**, 42-58. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.06.012>
- [10] 韩同银, 刘丽, 金浩. 考虑政府补贴和公平关切的双渠道绿色供应链决策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(4): 194-204.