



中国科技期刊卓越行动计划项目入选期刊

控制与决策

CONTROL AND DECISION



考虑风险容忍度的双渠道绿色供应链运营决策及协调研究

张涑贤, 王梓豪, 王文隆

引用本文:

张涑贤, 王梓豪, 王文隆. 考虑风险容忍度的双渠道绿色供应链运营决策及协调研究[J]. *控制与决策*, 2024, 39(6): 2106–2112.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2022.1407>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

模糊环境下考虑零售商风险偏好的绿色供应链博弈模型

Modeling green supply chain games considering retailer's risk preference in fuzzy environment

控制与决策. 2021, 36(3): 711–723 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0646>

考虑企业社会责任和公平偏好的绿色供应链决策

Green supply chain considering fairness preference and corporate social responsibility

控制与决策. 2021, 36(7): 1743–1753 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1102>

考虑Showrooms效应的供应链定价与渠道模式策略

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

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

考虑成员企业风险态度的制造商资金约束闭环供应链定价与回收决策

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

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

损失厌恶下考虑参照利润效应的供应链决策模型

Decision model of supply chain considering reference profit under loss aversion

控制与决策. 2020, 35(11): 2810–2816 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0094>

考虑风险容忍度的双渠道绿色供应链运营决策及协调研究

张涑贤¹, 王梓豪¹, 王文隆^{2†}

(1. 西安建筑科技大学 管理学院, 西安 710055; 2. 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 针对双渠道绿色供应链, 在考虑各方不同风险容忍度的基础上, 构建以制造商为主导的供应链博弈模型, 利用均值方差方法分析集中式决策和批发价格契约下参与方的运营决策和期望利润, 并设计协调契约. 研究发现: 在批发价格契约下, 产品绿色度与制造商风险容忍度正相关, 与零售商风险容忍度无关; 最优零售价格均与双方风险容忍度正相关, 且线上价格基准系数与直销价格负相关, 与零售价格正相关; 当绿色产品对消费者需求影响较大时, 零售商的期望利润与制造商风险容忍度正相关. 带有转移支付的反向收益共享与成本分担组合契约可实现双渠道绿色供应链的协调.

关键词: 双渠道绿色供应链; 风险容忍度; 定价; 产品绿色度; 协调契约; 运营决策

中图分类号: F247 文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2022.1407

引用格式: 张涑贤, 王梓豪, 王文隆. 考虑风险容忍度的双渠道绿色供应链运营决策及协调研究[J]. 控制与决策, 2024, 39(6): 2106-2112.

Operation decisions and coordination contract in a dual-channel green supply chain with risk tolerance

ZHANG Su-xian¹, WANG Zi-hao¹, WANG Wen-long^{2†}

(1. School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. School of Economics and Management, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Given the different risk tolerance of each participant, the study constructs a manufacturer-driven game model for a dual-channel green decision. We analyze the decisions and expected profits of the participants under centralized decision and wholesale price contract using the mean-variance method, and design a coordination contract. It is found that under wholesale price contract, product greenness has a positive relationship with the manufacturer's risk tolerance, independent of the retailer's risk tolerance. The optimal retail price is positively correlated with the risk tolerance of both participants, while the online price benchmark coefficient is negatively correlated with the direct sales price and positively correlated with the retail price. When green products have a greater impact on consumer demand, retailers' expected profits positively correlate with manufacturers' risk tolerance. In order to coordinate a dual-channel green supply chain, a reverse revenue sharing and cost sharing combination contract with transfer payment is used.

Keywords: dual-channel green supply chain; risk tolerance; pricing; product greenness; coordination contract; operating decisions

0 引言

《中国制造2025》提出要全面推行绿色制造, 构建高效、清洁的绿色制造体系^[1], 但是, 绿色产品在生产和运营过程中存在诸多不确定因素, 而供应链中各企业应对损失的能力不同, 由此会出现不同的风险容忍度, 影响运营决策. 此外, 由于电子商务迅猛发展,

更多的企业开通直销渠道, 如苹果、IBM等. 在双渠道供应链中, 制造商和零售商不仅要决策零售渠道的批发价格和零售价格, 制造商还要决策线上直销价格. 一旦各企业的风险容忍度发生变化, 将会对供应链运营产生深刻影响. 因此, 本文聚焦于双渠道绿色供应链, 分析各企业的风险容忍度对供应链运营决策的影

收稿日期: 2022-08-04; 录用日期: 2023-04-03.

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(72102185); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2452021113, 2452021171); 陕西省社会科学基金项目(2022R030).

责任编辑: 唐万生.

†通讯作者. E-mail: wl.wang@nwafu.edu.cn.

*本文附带电子附录文件, 可登录本刊官网该文“资源附件”区自行下载阅览.

响,并设计契约实现协调.

目前,双渠道绿色供应链的研究主要集中于运营决策和协调契约等方面.在运营决策方面,Zhang等^[2]考虑了公众绿色偏好,讨论了双渠道供应链的动态定价和绿色策略;韩同银等^[3]讨论了零售商的公平关切行为对供应链最优定价、绿色度决策以及供应链成员利润的影响.在协调契约方面,Aslani等^[4]在渠道中断下分析了双渠道供应链定价和绿色度决策,并通过转运契约实现协调;余娜娜等^[5]构建了考虑产品绿色度的双渠道供应链,设计了收益共享和成本共担的联合契约.

此外,不确定因素的增加吸引了学者们对供应链各主体风险态度的关注.如汪和平等^[6]发现了传统零售商风险规避行为会导致制造商为获取利润而设置更高的批发价,而零售商会采取降价以规避风险;史思雨等^[7]探讨了风险规避型供应商主导的双渠道供应链定价策略,发现无论零售商选择哪种融资模式,各参与方定价均与供应商风险规避负相关.

综上所述,本文尝试从以下两方面拓展:1)文献[2-5]在双渠道绿色供应链中探讨了双方运营决策,但是鲜有讨论风险态度.文献[6-7]虽然在双渠道供应链中考虑了风险态度,但是绿色制造仍然值得关注.故本文将各企业的风险容忍度纳入双渠道绿色供应链中.2)文献[8]探讨了供应链中批发价格的谈判基准问题,本文则以直销价格为基准构建双渠道绿色产品供应链的博弈模型,并设计组合契约实现协调.

1 问题描述与基本假设

在所提出双渠道绿色供应链中,制造商通过零售渠道和直销渠道销售同一种绿色产品,并以零售价格 p_r 和直销价格 p_m 表示.零售商以批发价格 w 购进绿色产品.制造商和零售商会遭受市场需求不确定性造成的收益风险,故考虑他们的风险容忍度 K_m 和 K_r ($K_m > 0, K_r > 0$).风险容忍度越小,企业越厌恶风险.供应链结构如图1所示,虚线为制造商或零售商根据下游随机需求表现的风险容忍度.

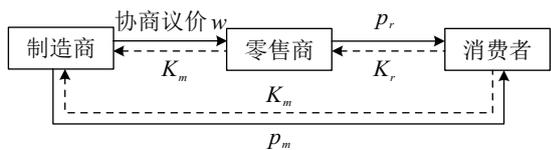


图1 考虑双方风险容忍度的双渠道供应链结构

本文以下标 r 和 m 分别表示零售商和制造商,以上标 C 和 D 分别表示集中式决策模式和批发价格契约模式, ρ 为消费者对零售渠道的忠诚度, b_1 为市场

需求弹性系数, b_2 为渠道交叉价格弹性系数, β 为绿色产品需求的敏感性系数, k 为绿色研发成本系数, g 为产品绿色度.本文还提出以下假设.

假设1 借鉴王文隆等^[8-9]的研究,制造商研发绿色产品的成本为 $\frac{1}{2}kg^2$,且假设 k 较大.

假设2 为了合理简化模型,借鉴梁晓蓓等^[10]和Wang等^[11]的研究,将单位生产成本设为0.

假设3 借鉴Li等^[12]的研究,分别构建零售渠道和直销渠道的需求函数为 $D_r = \rho\tilde{a} - b_1p_r + b_2p_m + \beta g$ 和 $D_m = (1 - \rho)\tilde{a} - b_1p_m + b_2p_r + \beta g$.其中:渠道交叉价格弹性反映两种渠道的替代水平,即另一渠道的价格上涨,本渠道的市场需求会增加;产品绿色度越高,市场需求越大.本文参考Qin等^[13]的研究,产品的市场需求弹性大于渠道交叉价格弹性,即 $b_1 > b_2$.

假设4 内外部环境变化会导致市场需求不确定,故假设市场基准需求为随机变量 $\tilde{a} = a + \varepsilon$.其中: a 为需求平均值; ε 为需求扰动,并服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$.参考Xu等^[14]、许前等^[15]和Li等^[16]的研究,假设收益风险仅受不确定的市场需求影响.

假设5 电商渠道日益成熟,占有主导地位的制造商通常依其线上直销价格制定批发价格 w .参考李海等^[17]的研究,假设 $w = \mu p_m$.其中: $\mu \in (0, 1)$ 为线上价格基准系数,其值越大制造商的议价能力越强.

2 模型构建与分析

2.1 模型构建

1) 集中式决策模型构建.

集中式决策模型使用均值方差模型^[14-16]在需求不确定性造成的收益风险(利润方差 $\sqrt{\text{Var}(\Pi^C)}$)小于集中决策下风险容忍度 K_c ($K_c > 0$)的约束下,实现集中式供应链期望利润 $E(\Pi^C)$ 最大化.集中式双渠道供应链的利润函数为

$$\Pi^C = p_r D_r + p_m D_m - \frac{1}{2}kg^2. \tag{1}$$

集中式决策的均值方差模型为

$$\begin{aligned} & \max_{p_m, p_r, g} E(\Pi^C); \\ & \text{s.t. } \sqrt{\text{Var}(\Pi^C)} \leq K_c. \end{aligned} \tag{2}$$

2) 批发价格契约模型构建.

在分散式决策下,当采用批发价格契约时,双方的决策过程如下:制造商作为主导者根据市场需求制定产品绿色度和线上渠道价格,并以该价格为基准制定批发价格;随后零售商依照制造商的决策确定零售价格.批发价格契约下,双方利润函数分别为

$$\Pi_r^D = (p_r - \mu p_m) D_r, \tag{3}$$

$$\Pi_m^D = \mu p_m D_r + p_m D_m - \frac{1}{2}kg^2. \tag{4}$$

零售商和制造商的均值方差模型分别为

$$\begin{aligned} \max_{p_r} E(\Pi_r^D), \\ \text{s.t. } \sqrt{\text{Var}(\Pi_r^D)} \leq K_r; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \max_{p_m, g} E(\Pi_m^D), \\ \text{s.t. } \sqrt{\text{Var}(\Pi_m^D)} \leq K_m. \end{aligned} \quad (6)$$

2.2 模型求解

1) 集中式决策模型求解.

当海森矩阵行列式满足 $|H(E(\Pi^C))| = k(b_1 - b_2) - \beta^2 > 0$ 时, $E(\Pi^C)$ 为凹函数, 且 $\sqrt{\text{Var}(\Pi^C)} \leq K_c$ 为凸性不等式. 求解得到集中式决策下最优决策为

$$g^{C*} = \frac{2\beta b K_c}{(MN + bk)\sigma}, \quad (7)$$

$$p_m^{C*} = \frac{[M(1 - 2\rho) + bk]K_c}{(MN + bk)\sigma}, \quad (8)$$

$$p_r^{C*} = \frac{[M(2\rho - 1) + bk]K_c}{(MN + bk)\sigma}. \quad (9)$$

其中: $M = k(b_1 - b_2) - \beta^2$, $N = (2\rho - 1)^2$, $b = b_1 + b_2$. 集中式双渠道供应链最优期望利润为

$$E(\Pi^{C*}) = \frac{[a(NM + kb)\sigma - 2K_c b M]K_c}{(NM + kb)\sigma^2}. \quad (10)$$

2) 批发价格契约模型求解.

通过逆向归纳法求解. $\frac{\partial^2 E(\Pi_r^D)}{\partial p_r^2} < 0$, 故 $E(\Pi_r^D)$ 为凹函数, 且 $\sqrt{\text{Var}(\Pi_r^D)} \leq K_r$ 为凸性不等式, 得到

$$p_r = \mu p_m + \frac{K_r}{\rho\sigma}. \quad (11)$$

将 p_r 代入 $E(\Pi_m^D)$. 当海森矩阵行列式满足 $|H(E(\Pi_m^D))| = 2b_1 k(\mu^2 + 1) - 4\mu b_2 k - \beta^2(\mu + 1)^2 > 0$ 时, $E(\Pi_m^D)$ 为凹函数, 且 $\sqrt{\text{Var}(\Pi_m^D)} \leq K_m$ 为凸性不等式. 得到制造商最优决策为

$$g^{D*} = \frac{\beta(\mu + 1)K_m}{k\sigma[1 + (\mu - 1)\rho]}, \quad (12)$$

$$p_m^{D*} = \frac{K_m}{[1 + (\mu - 1)\rho]\sigma}. \quad (13)$$

将 p_m^{D*} 、 g^{D*} 代入 p_r , 得到零售商最优决策为

$$p_r^{D*} = \frac{\mu K_m}{(\mu\rho - \rho + 1)\sigma} + \frac{K_r}{\rho\sigma}, \quad (14)$$

则批发价格契约下双方的最优期望利润为

$$\begin{aligned} E(\Pi_r^{D*}) = & \frac{aK_r}{\sigma} + \\ & \frac{\{[(b_2 K_m + b_1 K_r)k + B_1 + 2B_2]\rho - kK_r b_1\}K_r}{\sigma^2 \rho^2 k B_4}, \end{aligned} \quad (15)$$

$$E(\Pi_m^{D*}) = \frac{K_m}{k\rho\sigma^2 B_4} \{[(2b_2 \mu K_m - b_1 K_m + a\sigma +$$

$$\mu b_2 K_r)k + B_3 + \mu B_1 + (\mu + 1)B_2]\rho + a\sigma k(\mu - 1)\rho^2(B_4 + 1) - B_3\}. \quad (16)$$

其中

$$B_1 = -b_1 \mu k(K_m + K_r),$$

$$B_2 = \frac{\beta^2(\mu + 1)K_m}{2},$$

$$B_3 = k(b_1 \mu - b_2)K_r,$$

$$B_4 = 1 + (\mu - 1)\rho.$$

2.3 模型分析

本节分析不同模式下风险容忍度和线上价格基准系数对双方运营决策的影响, 得到以下命题.

命题1 在集中式决策下, 双方的最优决策存在以下关系:

$$1) \frac{\partial p_r^{C*}}{\partial K_c} > 0, \frac{\partial p_m^{C*}}{\partial K_c} > 0, \frac{\partial g^{C*}}{\partial K_c} > 0, \frac{\partial E(\Pi^{C*})}{\partial K_c} > 0.$$

2) 当 $\rho \in (0, \frac{1}{2})$ 时, $p_r^{C*} < p_m^{C*}$ 且 $\frac{\partial p_r^{C*}}{\partial K_c} < \frac{\partial p_m^{C*}}{\partial K_c}$; 当 $\rho \in (\frac{1}{2}, 1)$ 时, $p_r^{C*} > p_m^{C*}$ 且 $\frac{\partial p_r^{C*}}{\partial K_c} > \frac{\partial p_m^{C*}}{\partial K_c}$.

命题1中的1)表明, 在集中决策下, 直销价格、零售价格、绿色度和供应链总体期望利润均与风险容忍度正相关. 因此, 提高供应链总体风险承受能力有助于加大绿色研发投入, 提高售价和产品绿色度.

命题1中的2)表明, 当消费者对零售渠道的忠诚度大于直销渠道时, 零售价格会大于直销价格, 且风险容忍度对零售价格的影响比对直销价格的更敏感. 这是因为在消费者偏好零售渠道时, 愿意支付更高的零售价格.

命题2 在批发价格契约下, 双方最优决策存在以下关系:

$$1) \frac{\partial p_m^{D*}}{\partial K_m} > 0, \frac{\partial p_m^{D*}}{\partial \mu} < 0.$$

$$2) \frac{\partial p_r^{D*}}{\partial K_m} > 0, \frac{\partial p_r^{D*}}{\partial K_r} > 0, \frac{\partial p_r^{D*}}{\partial \mu} > 0.$$

3) $\frac{\partial g^{D*}}{\partial K_m} > 0$. 当 $\rho \in (0, \frac{1}{2})$ 时, $\frac{\partial g^{D*}}{\partial \mu} > 0$; 当 $\rho \in (\frac{1}{2}, 1)$ 时, $\frac{\partial g^{D*}}{\partial \mu} < 0$.

命题2中的1)表明, 直销价格与制造商风险容忍度正相关, 与线上价格基准系数负相关. 这是因为随着制造商的风险承受能力增强, 能够更多地承担因直销价格上涨导致线上渠道需求减少的风险. 此外, 当制造商的议价能力增强时, 会使得批发价格上涨, 因此, 能够获取更多零售渠道利润.

命题2中的2)表明, 零售价格与双方的风险容忍度以及线上价格基准系数正相关. 由此表明双方风险容忍度的增加均能够促使批发价格契约下零售价

格上涨. 当线上价格基准系数较大时, 意味着制造商的议价能力较强, 会导致零售价格增加.

命题2中的3)表明, 绿色度与制造商风险容忍度正相关, 提升制造商的风险承受水平可激励其提高产品绿色度来扩大市场需求. 此外, 当消费者偏好直销渠道时, 产品绿色度与线上价格基准系数正相关, 由于制造商议价能力强, 会降低直销价格 ($\frac{\partial p_m^{D*}}{\partial \mu} < 0$), 使得零售价格上涨 ($\frac{\partial p_r^{D*}}{\partial \mu} > 0$), 从而使得直销渠道销量大于零售渠道的销量. 因此, 制造商在直销渠道增加的收益可用于绿色研发以提高绿色度.

命题3 在不同决策模式下, 双方期望利润与风险容忍度存在以下关系:

- 1) $\frac{\partial E(\Pi^{C*})}{\partial K_c} > 0, \frac{\partial E(\Pi_r^{D*})}{\partial K_r} > 0, \frac{\partial E(\Pi_m^{D*})}{\partial K_m} > 0.$
- 2) 当 $\mu \in (0, \frac{b_2}{b_1})$ 时, $\frac{\partial E(\Pi_m^{D*})}{\partial K_r} > 0$; 当 $\mu \in (\frac{b_2}{b_1}, 1)$ 时, $\frac{\partial E(\Pi_m^{D*})}{\partial K_r} < 0.$
- 3) 在满足条件 $b_1 k - \beta^2 > b_2 k + \beta^2$ 下, 当 $\mu \in (0, \frac{b_2 k + \beta^2}{b_1 k - \beta^2})$ 时, $\frac{\partial E(\Pi_r^{D*})}{\partial K_m} > 0$; 当 $\mu \in (\frac{b_2 k + \beta^2}{b_1 k - \beta^2}, 1)$ 时, $\frac{\partial E(\Pi_r^{D*})}{\partial K_m} < 0.$ 在满足条件 $b_1 k - \beta^2 < b_2 k + \beta^2$ 下, $\frac{\partial E(\Pi_r^{D*})}{\partial K_m} > 0.$

命题3中的1)表明: 在集中决策下, 最优期望利润与供应链总体风险容忍度正相关; 在批发价格契约下, 双方的期望利润与其自身风险容忍度正相关. 这体现了无论哪种决策模式, 提高双方或整体供应链的抗风险能力均会提高相应的期望利润.

命题3中的2)表明: 当线上价格基准系数较小时, 制造商期望利润与零售商风险容忍度正相关; 反之, 则负相关. 零售商的风险承受能力越大, 较强议价能力的制造商通常会采用“薄利多销”降低利润损失.

命题3中的3)表明: ①当 $b_1 k - \beta^2 > b_2 k + \beta^2$ 时, 即 $b_1 > b_2$ 且 β 较小, 若线上价格基准系数较小, 则零售商期望利润与制造商风险容忍度正相关; 反之, 则负相关. 这是因为 $\mu \frac{\partial p_m^{D*}}{\partial K_m} = \frac{\partial p_r^{D*}}{\partial K_m} > 0$, 当 μ 较小时, $\frac{\partial p_m^{D*}}{\partial K_m} > \frac{\partial p_r^{D*}}{\partial K_m}$, 即随着 K_m 增大, 直销价格比零售价格增长得更快. 由于渠道自身价格对市场需求敏感性较高 ($b_1 > b_2$), 从而造成直销渠道需求向零售渠道转移. 相反, 当 μ 较大时, 转移至零售渠道的需求会逐渐减少, 致使零售商的利润下降. ②当 $b_1 k - \beta^2 < b_2 k + \beta^2$ 时, $b_1 > b_2$, 故 β 较大, 消费者对绿色产品的偏好能够使得两种渠道的需求增加, 由 $\frac{\partial p_r^{D*}}{\partial K_m} > 0$ 可知,

在 K_m 增大时表现为零售商期望利润增加.

3 契约协调策略

为了使得批发价格契约模式能够达到集中式决策的期望利润, 需设计相应的协调契约. 本文在批发价格契约模式下设计带有转移支付的反向收益共享与成本分担组合契约 (λ, τ, T) . 反向收益共享指制造商从零售渠道获取 λ 比例的收益. 而成本分担是指零售商分担 τ 比例的绿色研发成本. 为了保证双方期望利润不减少, 所提出契约还设计了双方间的转移支付 T . 在该契约下零售商和制造商的利润如下式所示:

$$\Pi_r^{CO} = (p_r - \mu p_m) D_r + \lambda p_m D_m - \frac{1}{2} \tau k g^2 - T, \tag{17}$$

$$\Pi_m^{CO} = \mu p_m D_r + (1 - \lambda) p_m D_m - \frac{1}{2} (1 - \tau) k g^2 + T. \tag{18}$$

该契约下的均值方差模型和逆向求解过程与批发价格契约下的类似, 得到双方最优决策为

$$g^{CO*} = \frac{\beta(1 - \lambda + \mu) K_m}{k(1 - \tau)((\lambda + \mu - 1)\rho - \lambda + 1)\sigma}, \tag{19}$$

$$p_m^{CO*} = \frac{K_m}{((\lambda + \mu - 1)\rho - \lambda + 1)\sigma}, \tag{20}$$

$$p_r^{CO*} = \frac{(K_c \mu + K_c \lambda - K_r)\rho - K_c \lambda + K_r}{((\lambda + \mu - 1)\rho - \lambda + 1)\rho\sigma}. \tag{21}$$

其中: 参考 Xu 等^[14]的研究, $K_c = K_r + K_m$; 令 $g^{CO*} = g^{C*}$ 和 $p_m^{CO*} = p_m^{C*}$, 得到 τ 和 λ 的取值为

$$\tau = \frac{\left(\frac{MN K_m - b k K_r + (2\rho - 1)(\mu(2\rho - 1)M + (1 - \mu) b k) K_c}{2(\rho - 1) b k K_c} \right)}{2(\rho - 1) b k K_c},$$

$$\lambda = \frac{\left(\frac{b k K_r - MN K_m + (\rho(\mu - 1)(b k - 2M\rho) + M((\mu - 3)\rho + 1)) K_c}{(\rho - 1)(2M\rho - b k - M) K_c} \right)}{(\rho - 1)(2M\rho - b k - M) K_c}. \tag{22}$$

将 λ 代入式(21), 得到

$$p_r^{CO*} = \frac{((-2\rho^2 + N + 3\rho - 1)M + b k \rho) K_c}{\rho(MN + b k)\sigma}.$$

比较可知, $p_r^{CO*} = p_r^{C*}$. 当 τ 和 λ 满足上述条件时, $E(\Pi_r^{CO*}) + E(\Pi_m^{CO*}) = E(\Pi^{C*})$. 与批发价格契约模式相比, 还需满足 $E(\Pi_m^{CO*}) > E(\Pi_m^{D*})$ 且 $E(\Pi_r^{CO*}) > E(\Pi_r^{D*})$, 化简得到 $T \in (T_1, T_2)$, 其中

$$T_1 = E(\Pi_m^{D*}) - \mu p_m^{CO*} E(D_r^{CO*}) + \frac{1}{2} (1 - \tau) k (g^{CO*})^2 -$$

$$(1 - \lambda)p_m^{CO*} E(D_m^{CO*}), \tag{23}$$

$$T_2 =$$

$$(p_r^{CO*} - \mu p_m^{CO*}) E(D_r^{CO*}) + \lambda p_m^{CO*} E(D_m^{CO*}) - \frac{1}{2} \tau k (g^{CO*})^2 - E(\Pi_r^{D*}). \tag{24}$$

式中

$$E(D_r^{CO*}) = \rho a - b_1 p_r^{CO*} + b_2 p_m^{CO*} + \beta g^{CO*},$$

$$E(D_m^{CO*}) = (1 - \rho)a - b_1 p_m^{CO*} + b_2 p_r^{CO*} + \beta g^{CO*}.$$

T_1 和 T_2 的解析解较为复杂, 本文将在数值分析中探讨双方的风险容忍度和谈判能力对转移支付的影响. 因此, T 、 λ 和 τ 满足上述条件可实现协调.

4 数值分析

本节主要探寻各线上价格基准系数和风险容忍度对运营决策、期望利润以及契约参数的影响. 参考 Xu 等^[14] 的研究, 设定相关参数如下: $a = 500, b_1 = 1, b_2 = 0.7, \beta = 0.8, \rho = 0.4, k = 5, \sigma = 10$.

4.1 线上价格基准系数和风险容忍度对决策的影响

图2揭示了在批发价格契约下, 当 $K_r = 700 > K_m = 300$ 时, 零售价格大于批发价格, 且零售和批发价格均与线上价格基准系数正相关, 直销价格与线上价格基准系数负相关; 当 $K_r < K_m$ 时, 亦如此. 上述结果可由命题2解释. 此外, 当 μ 较低时, 由于批发价格较低, 最优直销价格会大于或等于零售价格. 图3表明: 当 $\mu = 0.6, K_r = 300$ 时, 制造商的风险容忍度与两种模式下的最优绿色度均正相关, 制造商在集中式决策下更能产生较高的绿色度.

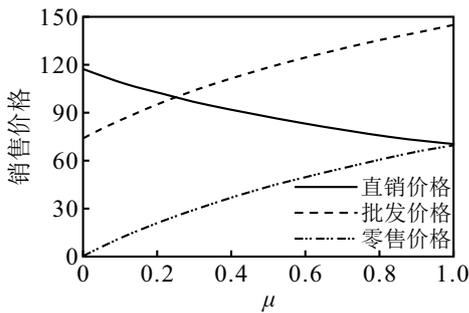


图2 μ 对批发价格契约下最优销售定价的影响

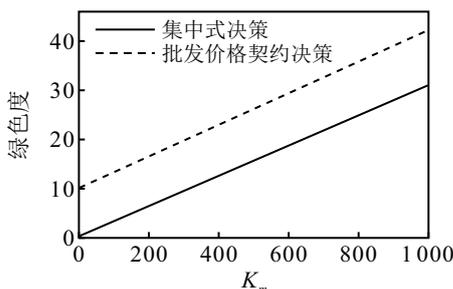


图3 K_m 对不同模式中绿色度的影响

当 $K_r = 300, K_m = 700$ 时: 图4揭示了直销价格和零售价格均与制造商风险容忍度正相关. 其中: 在批发价格契约下, 与零售价格相比, 直销价格受制造商风险容忍度的影响更大, 即提高制造商的抗风险能力能够显著提高线上渠道定价; 在集中式决策下, 制造商风险容忍度与两种渠道定价间敏感性的差异较小. 图5表明: 在批发价格契约下, 直销价格与零售商风险容忍度无关, 其余3种最优定价均与零售商风险容忍度正相关, 且批发价格契约下直销价格与零售商风险容忍度的敏感性大于集中式决策.

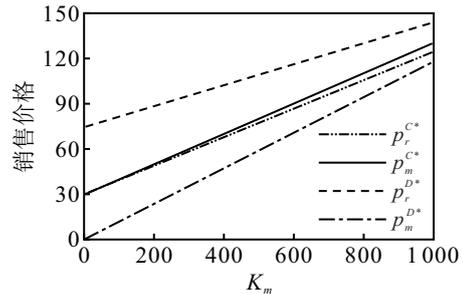


图4 K_m 对不同模式最优销售定价的影响

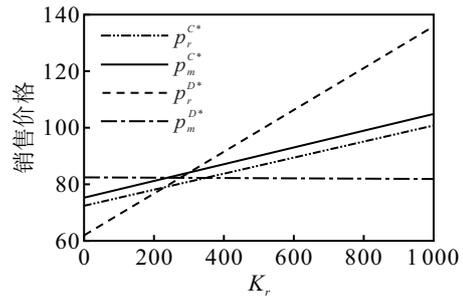


图5 K_r 对不同模式最优销售定价的影响

4.2 风险容忍度对期望利润的影响

图6揭示了当 $\mu = 0.6$ 时, 集中式决策下供应链的期望利润比批发价格契约下制造商或零售商的期望利润高, 且均与双方风险容忍度正相关. 图6中: 制造商期望利润随自身风险容忍度变化较大, 而随零售商风险容忍度的变化较小, 零售商亦如此. 这既验证了命题3, 也反映了双方期望利润受自身风险容忍度的影响更大. 图7在图6的基础上引入组合契约, 展示了该契约对双方期望利润的提升. 考虑到制造商

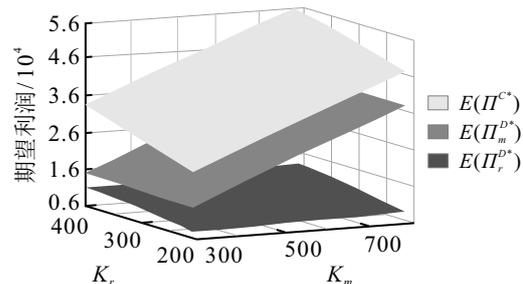


图6 在集中式决策或批发价格契约下, K_m 和 K_r 对双方期望利润的影响

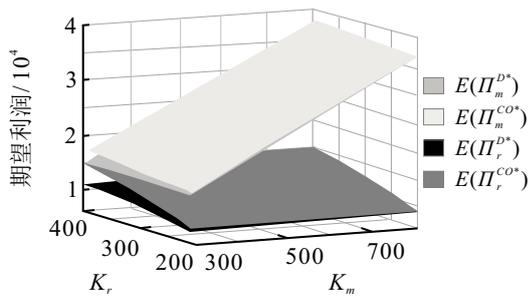


图7 在批发价格契约或协调契约下, K_m 和 K_r 对双方期望利润的影响

占主导地位,故制造商的谈判能力大于零售商,即设 $T=0.6(T_2 - T_1)$. 该组合契约提升了双方期望利润的同时未改变风险容忍度对其期望利润的影响效果.

4.3 风险容忍度对协调契约参数的影响

图8在 $\mu = 0.6$ 下揭示了 λ 和 τ 均与 K_m 负相关, 与 K_r 正相关, 该图表明 K_m 或 K_r 对收益共享以及成本分担比例因子的影响方向一致. 由图9可见, 转移支付的上下限均与 K_r 正相关, 且上限受 K_r 影响较强, 故在实践中, 当零售商降低其风险容忍度时会使得零售商转移资金上限降低, 从而也规避了相关风险. 此外, 转移支付上限与 K_m 负相关, 且发现转移支付下限与 K_m 呈现“倒U型”关系, 这反映了制造商可选择适中的风险容忍度以最大化其转移支付下限.

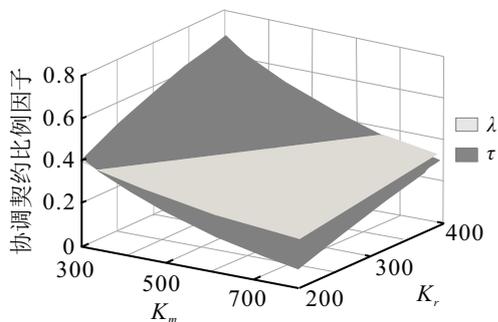


图8 K_m 和 K_r 对协调契约中 λ 和 τ 的影响

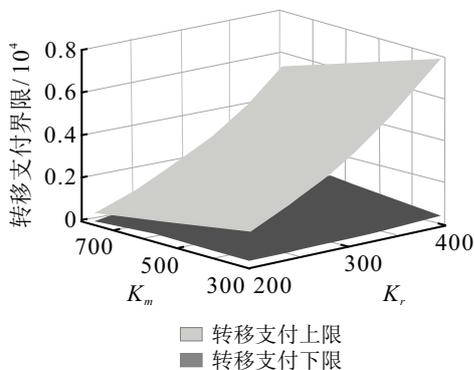


图9 K_m 和 K_r 对协调契约中转移支付范围的影响

5 结论与展望

本文基于制造商主导的Stackelberg博弈, 构建了考虑风险容忍度的双渠道绿色供应链模型, 探讨风险

容忍度以及线上价格基准系数对供应链运营决策的影响, 并设计了协调契约. 本文得到以下主要结论.

1) 双方的均衡决策存在以下规律: ①产品绿色度与集中式决策下供应链风险容忍度、制造商风险容忍度正相关; ②当顾客偏好直销渠道时, 产品绿色度与线上价格基准系数正相关, 反之则负相关; ③两种模式最优定价均与供应链整体或自身风险容忍度正相关. 因此, 制造商和零售商需提升自身风险容忍度和议价能力, 以获得更高的最优定价和产品绿色度.

2) 双方期望利润均与其自身风险容忍度正相关. 当制造商的议价能力较强时, 制造商的期望利润与零售商风险容忍度负相关, 反之则正相关. 在产品绿色度较大时, 零售商的期望利润与制造商风险容忍度正相关. 因此, 制造商和零售商需提高自身风险容忍度; 议价能力较强的制造商, 应选择风险容忍度较低的零售商合作; 当绿色产品市场需求增大时, 零售商应选择具有较强风险容忍度的制造商合作.

3) 带有转移支付的反向收益共享与成本分担组合契约可实现双渠道绿色供应链的协调. 其中: 收益共享比例和成本共担比例均与制造商风险容忍度负相关, 与零售商正相关, 转移支付的上下限均与零售商风险容忍度正相关. 因此, 为了实现供应链整体期望利润最大化, 双方需要该组合契约协调.

本文尚存在一定不足. 如本文假定双方具有完全信息和完全理性, 但是在现实情况下会存在信息租金和有限理性; 此外, 考虑以零售价格为基准的供应链均衡决策以及协调契约设计也是值得探讨的问题.

参考文献(References)

[1] 国务院. 中国制造 2025[EB/OL]. (2015-05-19) [2022-08-04]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.

[2] Zhang C, Liu Y, Han G H. Two-stage pricing strategies of a dual-channel supply chain considering public green preference[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 151: 106988.

[3] 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.

(Han T Y, Liu L, Jin H. Research on dual-channel green supply chain decision making considering the government subsidy and fairness concerns[J]. Chinese Journal of Management Science, 2022, 30(4): 194-204.)

[4] Aslani A, Heydari J. Transshipment contract for coordination of a green dual-channel supply chain under

- channel disruption[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 223: 596-609.
- [5] 余娜娜, 王道平, 赵超. 考虑产品绿色度的双渠道供应链协调研究[J]. *运筹与管理*, 2022, 31(4): 75-81.
(Yu N N, Wang D P, Zhao C. Study on coordination of dual-channel supply chain considering product green degree[J]. *Operations Research and Management Science*, 2022, 31(4): 75-81.)
- [6] 汪和平, 严啸宸, 赵丹, 等. 考虑风险规避和搭便车的双渠道供应链定价决策研究[EB/OL]. [2023-08-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1133.g3.20220301.0928.002.html>.
(Wang H P, Yan X C, Zhao D, et al. Research on pricing decisions of dual-channel supply chain considering risk aversion and free-riding[EB/OL]. [2023-08-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1133.g3.20220301.0928.002.html>.)
- [7] 史思雨, 孙静春. 供应商风险规避下考虑零售商资金约束的双渠道供应链定价决策[J]. *预测*, 2019, 38(2): 90-96.
(Shi S Y, Sun J C. Pricing decisions of a dual-channel supply chain with a risk-averse supplier and a budget constraint retailer[J]. *Forecasting*, 2019, 38(2): 90-96.)
- [8] 王文隆, 王福乐, 张涑贤. 考虑低碳努力的双渠道供应链协调契约研究[J]. *管理评论*, 2021, 33(4): 315-326.
(Wang W L, Wang F L, Zhang S X. Coordination contract in a dual channel supply chain with low carbon efforts[J]. *Management Review*, 2021, 33(4): 315-326.)
- [9] 王文隆, 任倩楠, 翟晓娜, 等. 考虑公平关切和制造商竞争的平台型供应链定价、低碳水平和服务水平决策[J]. *控制与决策*, 2022, 37(4): 1045-1055.
(Wang W L, Ren Q N, Zhai X N, et al. Decisions of pricing, low-carbon level and service level in a platform supply chain considering fairness concern and manufacturers' competition[J]. *Control and Decision*, 2022, 37(4): 1045-1055.)
- [10] 梁晓蓓, 江江, 孟虎, 等. 考虑政府补贴和风险规避的绿色供应链决策模型[J]. *预测*, 2020, 39(1): 66-73.
(Liang X B, Jiang J, Meng H, et al. Green supply chain decision model considering government subsidy and risk aversion[J]. *Forecasting*, 2020, 39(1): 66-73.)
- [11] Wang R F, Zhou X W, Li B. Pricing strategy of dual-channel supply chain with a risk-averse retailer considering consumers' channel preferences[J]. *Annals of Operations Research*, 2022, 309(1): 305-324.
- [12] 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.
- [13] Qin J J, Ren L G, Xia L J, et al. Pricing strategies for dual-channel supply chains under a trade credit policy[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2020, 27(5): 2469-2508.
- [14] Xu G Y, Dan B, Zhang X M, et al. Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 147: 171-179.
- [15] 许前, 吕一帆, 黄甫, 等. 风险规避制造商市场入侵策略[J]. *控制与决策*, 2021, 36(10): 2528-2536.
(Xu Q, Lv Y F, Huang F, et al. Market encroachment strategy of risk-averse manufacturer[J]. *Control and Decision*, 2021, 36(10): 2528-2536.)
- [16] Li X, Qi X T, Li Y J. On sales effort and pricing decisions under alternative risk criteria[J]. *European Journal of Operational Research*, 2021, 293(2): 603-614.
- [17] 李海, 崔南方, 徐贤浩. 基于讨价还价能力的双渠道供应链批发价谈判模式[J]. *管理工程学报*, 2015, 29(4): 124-132.
(Li H, Cui N F, Xu X H. Wholesale price bargaining modes in the dual-channel supply chain under bargaining power[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2015, 29(4): 124-132.)

作者简介

张涑贤(1971—), 女, 教授, 博士, 从事供应链质量管理、供应链优化决策等研究, E-mail: zhangsuxian@xauat.edu.cn;

王梓豪(1996—), 男, 硕士生, 从事供应链风险管理的研究, E-mail: vistonwang@xauat.edu.cn;

王文隆(1986—), 男, 副教授, 博士, 从事供应链管理、供应链契约协调等研究, E-mail: wl.wang@nwafu.edu.cn.