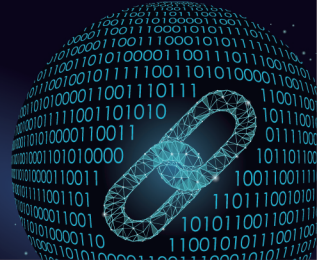




中国科技期刊卓越行动计划项目入选期刊

控制与决策

CONTROL AND DECISION



考虑低碳参考效应的供应链产品双渠道宣传决策与协调

孙立成, 郭晓亮

引用本文:

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): 3160–3168.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2022.2029>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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>

风险规避制造商市场入侵策略

Market encroachment strategy of risk-averse manufacturer

控制与决策. 2021, 36(10): 2528–2536 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1819>

大数据服务商参与下供应链联合减排的动态协调策略

Dynamic coordination strategy of joint emission reduction in supply chain involving big data service provider

控制与决策. 2021, 36(8): 2013–2022 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1560>

信息非对称下考虑制造商回收行为的闭环供应链协调

Coordination of closed supply chain under asymmetric information considering manufacturer's recycling behavior

控制与决策. 2021, 36(7): 1723–1731 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1657>

低碳环境下双渠道供应链线上线下广告策略的微分博弈分析

Differential game analysis of online and offline advertising strategies in a dual channel supply chain under low-carbon background

控制与决策. 2020, 35(11): 2707–2714 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1721>

考虑低碳参考效应的供应链产品双渠道宣传决策与协调

孙立成[†], 郭晓亮

(江苏大学 管理学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 随着供应链间渠道竞争的日益激烈, 了解并分析消费者低碳参考效应对供应链低碳宣传水平的影响机理, 将对供应链决策与协调产生重要影响. 首先, 通过构建制造商主导的双渠道微分博弈模型, 并将消费者低碳参考效应纳入模型中, 分别在分散和集中情景下分析消费者低碳参考效应对双渠道宣传水平的影响; 然后, 针对分散情景下供应链整体利润损失, 采用成本分摊契约协调供应链. 研究表明: 消费者低碳参考效应对双渠道宣传努力水平均存在抑制作用, 且低碳参考效应对线上渠道宣传水平的抑制作用更为明显; 消费者低碳参考效应会导致制造商更愿意在线下渠道进行低碳宣传并销售产品; 成本分摊契约能够在不影响制造商决策的情况下, 有效促进线下宣传水平, 并实现供应链成员利润的帕累托改进.

关键词: 双渠道供应链; 低碳参考效应; 宣传竞争; 微分博弈; 协调契约

中图分类号: F272

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2022.2029

引用格式: 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): 3160-3168.

Decision making and coordination of supply chain product dual channel publicity considering low-carbon reference effect

SUN Li-cheng[†], GUO Xiao-liang

(School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: With the increasingly fierce channel competition between supply chains, understanding and analyzing the impact mechanism of consumers' low-carbon reference effect on the low-carbon publicity level of the supply chain will have an important impact on supply chain decision-making and coordination. In this paper, the manufacturer led dual channel differential game model is constructed, and the low-carbon reference effect of consumers is included in the model. The impact of the low-carbon reference effect of consumers on the dual channel publicity level is analyzed under decentralized and centralized scenarios, respectively. For the overall profit loss of the supply chain under the decentralized scenario, the cost sharing contract is used to coordinate the supply chain. The research shows that the low-carbon reference effect of consumers has an inhibitory effect on the level of dual channel publicity efforts, and the low-carbon reference effect has a more obvious inhibitory effect on the level of online channel publicity; influenced by the low-carbon reference effect of consumers, manufacturers are more willing to sell products offline; the cost sharing contract can effectively promote the offline publicity level without affecting the manufacturer's decision, and achieve Pareto improvement of supply chain members' profits.

Keywords: dual channels; low-carbon reference effect; publicity; differential game; coordination contract

0 引言

中共二十大提出: 中国要积极稳妥推进双碳目标, 加快规划建设新型能源体系. 随着互联网和电商平台的兴起, 许多制造企业纷纷开辟线上直销渠道并展开低碳宣传, 提高低碳产品销量. 但是, 线上渠道的低碳宣传也造成了与零售渠道间的竞争. 如在家具

行业, 全友家居在构建全流程绿色供应链的同时开辟了线上直销渠道, 通过更完善地服务用户和更精准地宣传扩大了市场份额, 却也影响了线下零售商的积极性. 随着低碳政策的实施和双渠道低碳宣传的深入, 消费者形成了产品的低碳参考. 虽然低碳宣传能够扩大当下的需求, 但是也影响了消费者对产品减排的

收稿日期: 2022-11-23; 录用日期: 2023-09-30.

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(23AGL032).

责任编辑: 霍宝锋.

[†]通讯作者. E-mail: sunsee213@ujs.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.

预期,进而影响了未来的产品需求.因此,在消费者低碳参考效应背景下研究双渠道间的长期低碳宣传竞争与协调问题具有重要价值.

目前,学者们针对供应链低碳宣传问题做了大量研究工作.主要分为两类:一是单渠道供应链中低碳宣传问题.徐春秋等^[1]指出了成本分摊策略对零售商利润的改进效果更好;王婷婷等^[2]发现消费者对低碳宣传的敏感性越强,政府补贴对于供应链的利润提升力度越大;王一雷等^[3]分析了不同碳交易政策下低碳宣传对产品商誉的影响;姜跃等^[4]研究了不同决策方式下零售商公平偏好对零售商低碳宣传努力的影响;徒君等^[5]构建了随机微分博弈模型,研究发现,零售商会加大宣传力度来应对市场中随机因素的影响.二是针对双渠道低碳宣传竞争问题.Matsui^[6]发现,零售商与制造商讨价还价时,在单渠道供应链中,可获得比接受批发价更多的利润,而在双渠道供应链中,反而损伤自身利润;Meng等^[7]的研究结果表明:消费者的绿色偏好越高,越有利于双渠道供应链销售绿色产品;Ouardighi等^[8]探讨了纵向和横向竞争条件下供应链的最佳决策问题;赵道致等^[9]发现渠道间的零售商竞争程度加剧会损害零售商的利润但有助于制造商利润.也有部分文献对双渠道间宣传合作做出分析研究.陈山等^[10]对比了竞争型广告策略与支持性广告策略,发现后者使得双渠道供应链实现了帕累托改进;陈静等^[11]通过构建三级双渠道供应链微分博弈模型发现,制造商与零售商合作减排会比与供应商合作获得更多的利润,但同时制造商也需要承担更高的减排成本.上述研究中,学者们均假设消费者存在低碳偏好,低碳宣传能够直接促进产品短期需求,或通过影响产品商誉间接促进产品长期需求.然而,低碳宣传对消费者低碳参考水平的影响是否会影响供应链成员决策和利润,目前鲜有文献研究.

就参考效应而言,早期的研究多集中于参考价格方面,Hsieh等^[12]研究发现,消费者参考价格水平会影响零售商市场策略;陆晨等^[13]提出,当消费者存在价格参考效应心理时,短视定价策略会导致总利润的降低;郭春香等^[14]研究发现零售商忽略参考效应会使其预售定价过高,需求偏低,利润提高.也有一些专家学者研究了参考质量效应和低碳参考效应.马德

青等^[15]研究了消费者展厅行为和参考质量效应共同影响下的供应链运营策略;张永明等^[16]指出引入低碳参考效应后,制造商的减排投入提升,而零售商的低碳宣传投入降低;刘虹等^[17]研究了低碳参考效应和减排宣传时延效应共同存在的供应链,发现集中决策下最优努力会提高,但利润并非总是高于分散决策下的利润.

目前,较少文献将双渠道与消费者参考效应相结合,Zhang等^[18]在双渠道供应链中考虑了产品商誉和低碳参考效应对消费者需求的共同影响;杨建华等^[19]针对乳制品新鲜度问题,分析了线上直销与线下零售间的决策问题;胡娇等^[20]研究了引入主播影响力下的消费者参照效应对平台决策的影响.目前,针对消费者低碳参考效应的研究多集中于单渠道供应链.线上线下渠道间的宣传竞争与协调问题需要得到更多的关注.

上述研究多数针对的是供应链中的静态博弈问题,没有考虑时间因素对供应链平衡状态的影响.在现实生活中,消费者对低碳产品的参考点会受到低碳宣传影响并随着时间发生变化.因此,本文将运用微分博弈方法,考虑双渠道低碳宣传竞争和时间因素对消费者低碳参考水平的影响,从分散决策和集中决策的角度对双渠道供应链情形下制造商减排、零售商和制造商双渠道低碳宣传的长期决策问题进行研究,对比分析均衡决策、预期销量与利润,最后设计成本分担契约实现供应链的协调.本文的主要内容如下:1)将消费者低碳参考效应应用场景拓展至双渠道供应链;2)考虑渠道间低碳宣传竞争与协调对低碳参考效应的共同影响.

1 问题描述与模型假设

本文考虑一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链.制造商负责低碳减排和线上低碳宣传,零售商负责线下渠道低碳宣传,供应链中的消费者存在低碳参考效应.制造商通过零售商所在的线下实体店销售产品给消费者,也可通过线上渠道直接销售产品给消费者.本文将对低碳参考效应下零售商和制造商的最优低碳宣传决策问题进行研究.为了简化数学计算,本文不考虑制造商生产成本.本文主要符号说明如表1所示.

表1 模型符号及其含义

符号	含义	符号	含义
D_0	市场潜在需求	μ	零售渠道所占市场份额 ($\mu < 1$)
D_1, D_2	零售渠道、线上渠道销量	a	减排敏感系数 ($a > 0$)
b	宣传敏感系数	k	渠道间宣传竞争系数 ($k < b$)
E_m	制造商减排努力水平	E_1, E_2	零售商、制造商宣传努力水平

表1(续)

符号	含义	符号	含义
$E_m^{*/**/**}$	供应链均衡时制造商的减排水平	$E_1^{*/**/**}$	供应链均衡时零售商的宣传水平
$E_2^{*/**/**}$	供应链均衡时制造商的宣传水平	$R(t)$	t 时刻消费者低碳参考水平
$e(t)$	t 时刻单位产品减排量	α	减排努力对减排影响系数($\alpha > 0$)
δ	碳减排自然衰减系数($\delta > 0$)	θ	记忆系数($\theta > 0$)
λ	宣传对参考水平影响系数($\lambda > 0$)	ρ_1, ρ_2	制造商双渠道边际利润($\rho_1 < \rho_2$)
ρ_r	零售商的边际利润($\rho_r < \rho_2$)	$\pi_m(t), \pi_r(t)$	t 时刻制造商、零售商利润
γ_m, γ	减排成本系数、宣传成本系数	τ	低碳参考对需求影响系数
β	贴现率($\beta > 0$)	φ	制造商成本分摊比例

假设1 单位产品减排量将随着制造商减排投入和时间而不断变动. 本文假设减排量状态方程为

$$\dot{e}(t) = \alpha E_m(t) - \delta e(t), e(0) = e_0 \geq 0. \quad (1)$$

其中: $e(t)$ 为 t 时刻产品的减排量, α 为减排努力水平的影响系数, δ 为减排量的自然衰减率.

假设2 消费者低碳参考水平是指在往期消费经历中形成主观上的“低碳得失”感,并会受到低碳宣传效果的影响,从而影响市场需求. 借鉴张永明等^[16]的低碳参考水平构建方式,假设 t 时刻零售和线上渠道低碳参考水平的动态变化为

$$\dot{R}(t) = \theta[e(t) - R(t)] + \lambda[E_1(t) + E_2(t)], \quad (2a)$$

$$R(0) = R_0 \geq 0. \quad (2b)$$

其中: $R(t)$ 为 t 时刻的低碳参考水平, $E_1(t)$ 、 $E_2(t)$ 分别为零售商线下宣传努力水平和制造商线上宣传努力水平. 式(2a)右侧第1项表示过去的消费经历对参考低碳水平的影响,这里 θ 为记忆参数, θ 越大,顾客对产品的低碳水平越偏于短期记忆且忠诚度较低;式(2a)右侧第2项表示低碳宣传努力对参考低碳水平的影响, λ 为宣传对参考水平影响系数.

假设3 假设减排成本是关于制造商减排努力水平的凸函数^[21],则 t 时刻制造商的减排成本为

$$C(E_m(t)) = \frac{\gamma_m}{2} E_m^2(t). \quad (3)$$

低碳宣传成本是关于宣传努力水平的凸函数,则 t 时刻零售商和制造商的宣传成本为

$$C_i(E_i(t)) = \frac{\gamma_i}{2} E_i^2(t), i = 1, 2. \quad (4)$$

本文假设制造商低碳宣传成本系数与零售商低碳宣传成本系数相等,即 $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$.

假设4 在双渠道供应链中,产品价格更为透明,消费者对产品价格不再像过去一样敏感,反而更关注非价格因素^[22],因此本文不考虑价格因素的影响. 消费者购买商品,受到线下宣传努力、线上宣传努力和内心低碳参考效应的共同作用,参考俞超等^[23]的研究,双渠道的产品需求量可表示为

$$D_1(t) = \mu D_0 + ae(t) + bE_1(t) - kE_2(t) + \tau[e(t) - R(t)],$$

$$D_2(t) = (1 - \mu)D_0 + ae(t) + bE_2(t) - kE_1(t) + \tau[e(t) - R(t)]. \quad (5)$$

其中: D_1 、 D_2 分别为产品零售和线上渠道需求量, D_0 为潜在市场容量, μ 为线下渠道占据份额, a 为产品减排量对需求的影响系数, b 为渠道内低碳宣传对需求的影响系数, k 为渠道间低碳宣传的竞争系数. 从实际出发,消费者对产品的需求关于自身渠道低碳宣传变化的敏感度比对另一渠道产品低碳宣传变化的敏感度大,故应有 $b > k > 0$. $[e(t) - R(t)]$ 表示单位产品实际减排量与消费者低碳参考水平间的差额, τ 为低碳参考效应对需求的影响系数.

消费者对网络渠道产品的低碳认知和接受度相较于线下渠道存在差异,消费者在购买前无法得知商品的减排量. 为了简化模型,参考曹二保等^[24]的研究,令需求函数中 $e(t)$ 项为0. 线上直销渠道销量可表示为

$$D_2(t) = (1 - \mu)D_0 + bE_2(t) - kE_1(t) - \tau R(t). \quad (6)$$

假设5 假设 ρ_1 、 ρ_2 分别为制造商从零售渠道和直销渠道销售商品的边际利润, ρ_r 为零售商在线下渠道销售商品的边际利润. 由于在线上渠道制造商独享商品的利润,有 $\rho_2 > \rho_1, \rho_2 > \rho_r$. 为了使得模型计算有意义,有 $\frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_r} \geq \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \rho}\right) / \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \rho}\right)$.

2 模型建立和求解

2.1 分散决策

在由制造商作为Stacklberg领导者的双渠道供应链系统中,制造商和零售商分别独自承担低碳宣传成本. 此时博弈过程如下:制造商作为领导者先决策减排努力水平、线上宣传努力水平;零售商为跟随者,根据制造商的最优决策决定线下宣传努力水平. 此时,制造商和零售商的目标函数分别为

$$\pi_m(t) = \int_0^\infty e^{-\beta t} \left[\rho_1 D_1(t) + \rho_2 D_2(t) - \frac{\gamma_m}{2} E_m^2(t) - \frac{\gamma}{2} E_2^2(t) \right] dt, \quad (7)$$

$$\pi_r(t) = \int_0^\infty e^{-\beta t} \left[\rho_r D_1(t) - \frac{\gamma}{2} E_1^2(t) \right] dt. \quad (8)$$

命题1 分散决策中制造商最优减排水平 E_m^* 、

制造商最优宣传水平 E_2^* 、零售商最优宣传水平 E_1^* 分别为

$$E_m^* = \frac{\alpha\{[a(\theta + \beta) + \beta\tau]\rho_1 - \theta\tau\rho_2\}}{\gamma_m(\delta + \beta)(\theta + \beta)},$$

$$E_1^* = \frac{\rho_r}{\gamma} \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right),$$

$$E_2^* = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{\rho_2}{\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{\rho_1}{\gamma}. \quad (9)$$

证明略。

推论1 制造商线上宣传努力水平与线上渠道产品边际利润 ρ_1 呈正相关, 与线下渠道产品边际利润 ρ_2 呈负相关。零售商线下宣传努力水平与零售渠道产品边际利润 ρ_r 呈正相关。

证明 在式(9)中, 由 E_1^* 对 ρ_r 求偏导, 由 E_1^* 对 ρ_1 、 ρ_2 求偏导, 即

$$\frac{\partial E_1^*}{\partial \rho_r} = \frac{1}{\gamma} \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) > 0,$$

$$\frac{\partial E_2^*}{\partial \rho_1} = -\frac{1}{\gamma} \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) < 0,$$

$$\frac{\partial E_2^*}{\partial \rho_2} = \frac{1}{\gamma} \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) > 0. \quad \square$$

推论1表明: 当制造商在线上渠道销售所获边际利润越大时, 制造商线上宣传努力水平越高; 当零售商在线下渠道销售所获边际利润越大时, 零售商线下宣传努力水平越高。表明制造商和零售商的低碳宣传动力直接来源于各自渠道的边际利润, 产品的边际利润可有效刺激制造商和零售商进行低碳宣传、扩大销量。同时可以发现制造商从线下渠道获取产品的边际利润越高, 制造商线上宣传努力水平越低。因此制造商可让利给零售商, 提高零售商边际利润的方式扩大零售渠道销量。

推论2 制造商线上最优宣传水平、零售商线下最优宣传水平均与宣传对参考影响系数 λ 、低碳参考效应系数 τ 呈负相关, 与消费者记忆参数 θ 呈正相关。

证明 在式(9)中, 由 E_1^* 、 E_2^* 分别对 τ 、 λ 、 θ 求导, 得到

$$\frac{\partial E_1^*}{\partial \tau} = -\frac{\lambda\rho_r}{\gamma(\theta + \beta)} < 0, \quad \frac{\partial E_2^*}{\partial \tau} = -\frac{\lambda(\rho_1 + \rho_2)}{\gamma(\theta + \beta)} < 0;$$

$$\frac{\partial E_1^*}{\partial \lambda} = -\frac{\tau\rho_r}{\gamma(\theta + \beta)} < 0, \quad \frac{\partial E_2^*}{\partial \lambda} = -\frac{\tau(\rho_1 + \rho_2)}{\gamma(\theta + \beta)} < 0;$$

$$\frac{\partial E_1^*}{\partial \theta} = \frac{\lambda\tau\rho_r}{\gamma(\theta + \beta)^2} > 0, \quad \frac{\partial E_2^*}{\partial \theta} = \frac{\lambda\tau(\rho_1 + \rho_2)}{\gamma(\theta + \beta)^2} > 0.$$

由于 $\rho_1 + \rho_2 > \rho_r$, 可以发现

$$\left| \frac{\partial E_1^*}{\partial \tau} \right| < \left| \frac{\partial E_2^*}{\partial \tau} \right|, \quad \left| \frac{\partial E_1^*}{\partial \lambda} \right| < \left| \frac{\partial E_2^*}{\partial \lambda} \right|, \quad \left| \frac{\partial E_1^*}{\partial \theta} \right| < \left| \frac{\partial E_2^*}{\partial \theta} \right|.$$

由此可知, 消费者的低碳参考效应对于线下渠道宣传水平的影响小于其对于线上渠道的宣传水平的影响。□

推论2表明: 低碳参考效应对于双渠道宣传存在抑制作用, 且其对于线下渠道的抑制作用小于线上渠道。这种现象的发生源自零售商和制造商通过宣传传递产品低碳信息的同时, 提升了消费者的低碳参考水平, 进而抑制了需求。同时, 当消费者记忆系数越大时, 双渠道宣传水平越高。这是由于记忆系数越大, 消费者对产品忠诚度越低, 过去的产品减排水平对消费者影响越小, 消费者越注重当下产品的宣传水平和减排率。

推论2启示企业: 在进行低碳宣传时, 要注意参考效应, 避免过度宣传, 减少负面影响, 同时也要做好客户鉴别, 选择合适的宣传策略。

命题2 在制造商和零售商的均衡反馈条件下, 产品的碳减排量和消费者低碳参考轨迹分别为

$$e(t) = \left(e_0 - \frac{\alpha E_m^*}{\delta} \right) e^{-\delta t} + e_{SS}^1, \quad (10)$$

$$R(t) = \frac{\theta}{\theta - \delta} \left(e_0 - \frac{\alpha E_m^*}{\delta} \right) e^{-\delta t} + \left[R_0 + \frac{\alpha E_m^*}{\theta - \delta} - \frac{\theta e_0}{\theta - \delta} - \frac{\lambda}{\theta} (E_1^* + E_2^*) \right] e^{-\theta t} + R_{SS}^1. \quad (11)$$

其中: $e_{SS}^1 = \frac{\alpha E_m^*}{\delta}$ 为产品减排量稳态, $R_{SS}^1 = \frac{\alpha E_m^*}{\delta} + \frac{\lambda}{\theta} (E_1^* + E_2^*)$ 为消费者低碳参考水平稳态。

证明略。

2.2 集中决策

在集中决策中, 制造商和零售商一同决策减排努力水平、线上宣传努力水平、线下宣传努力水平。目标函数分别为

$$\pi_{mr}(t) = \int_0^\infty e^{-\beta t} \left[(\rho_1 + \rho_r) D_1(t) + \rho_2 D_2(t) - \frac{\gamma_m}{2} E_m^2(t) - \frac{\gamma}{2} E_1^2(t) - \frac{\gamma}{2} E_2^2(t) \right] dt. \quad (12)$$

命题3 集中决策中制造商最优减排水平 E_m^{**} 、制造商最优宣传水平 E_2^{**} 、零售商最优宣传水平 E_1^{**} 分别为

$$E_1^{**} = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{(\rho_1 + \rho_r)}{\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{\rho_2}{\gamma},$$

$$E_2^{**} = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{\rho_2}{\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{(\rho_1 + \rho_r)}{\gamma},$$

$$E_m^{**} = \frac{\alpha\{[\alpha(\theta + \beta) + \beta\tau](\rho_1 + \rho_r) - \theta\tau\rho_2\}}{\gamma_m(\delta + \beta)(\theta + \beta)}. \quad (13)$$

证明略。

推论3 命题3中, 制造商进行线上减排宣传的前提条件为 $b - k > \frac{2\lambda\tau}{\theta + \beta}$ 。

证明 在式(13)中, 要使得

$$E_1^{**} = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{(\rho_1 + \rho_r)}{\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta} \right) \frac{\rho_2}{\gamma} > 0,$$

$$E_2^{**} = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{\rho_2}{\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{(\rho_1 + \rho_r)}{\gamma} > 0.$$

整理得到

$$\frac{k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}}{b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}} < \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_r} < \frac{b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}}{k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}}.$$

化简得到 $b - k > \frac{2\lambda\tau}{\theta + \beta}$. □

命题4 在制造商和零售商的均衡反馈条件下, 产品的碳减排量和消费者低碳参考轨迹分别为

$$e(t) = \left(e_0 - \frac{\alpha E_m^{**}}{\delta}\right) e^{-\delta t} + e_{SS}^2, \quad (14)$$

$$R(t) = \frac{\theta}{\theta - \delta} \left(e_0 - \frac{\alpha E_m^{**}}{\delta}\right) e^{-\delta t} + \left[R_0 + \frac{\alpha E_m^{**}}{\theta - \delta} - \frac{\theta e_0}{\theta - \delta} - \frac{\lambda}{\theta} (E_1^{**} + E_2^{**})\right] e^{-\theta t} + R_{SS}^2. \quad (15)$$

其中: $e_{SS}^2 = \frac{\alpha E_m^{**}}{\delta}$ 为产品减排量稳态, $R_{SS}^2 = \frac{\alpha E_m^{**}}{\delta} + \frac{\lambda}{\theta} (E_1^{**} + E_2^{**})$ 为消费者低碳参考水平稳态.

证明略.

2.3 对比分析

推论4 在集中决策下, 制造商线上宣传努力水平低于分散决策下线上宣传努力水平, 零售商宣传努力改变取决于制造商双渠道边际利润间的对比.

证明

$$E_1^{**} - E_1^* = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{\rho_1}{\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{\rho_2}{\gamma},$$

$$E_2^{**} - E_2^* = -\left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{\rho_r}{\gamma} < 0.$$

当制造商双渠道边际利润满足 $\frac{\rho_2}{\rho_1} < \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) / \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right)$ 时, 零售商集中决策时的低碳宣传努力水平高于分散决策时的低碳宣传水平; 当 $\frac{\rho_2}{\rho_1} > \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) / \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right)$ 时, 零售商集中决策时的低碳宣传努力水平低于分散决策时的低碳宣传水平. □

推论4主要源于供应链内“搭便车”行为. 分散决策时, 制造商需要通过线上宣传与零售商进行竞争获得利润. 集中决策时, 由零售商进行宣传, 制造商增加碳减排投入, 便可增加制造商利润. 同时, 推论4还表明, 当制造商线上销售产品边际利润足够高时, 供应链更倾向于减少线下宣传努力水平. 这是由于此时供应链的利润主要来源于线上渠道, 线下宣传会造成渠道间宣传竞争且会提高消费者低碳参考水平, 进而影响线上渠道产品销量.

推论5 集中决策下, 产品减排量稳态高于分散

决策下减排量稳态, 且集中决策和分散决策下, 产品减排量稳态均与消费者记忆参数 θ 呈负相关.

证明

$$e_{SS}^2 - e_{SS}^1 = \frac{\alpha^2 [a(\theta + \beta) + \beta\tau] \rho_r}{\gamma_m \delta (\delta + \beta) (\theta + \beta)} > 0,$$

$$\frac{\partial e_{SS}^1}{\partial \theta} = -\frac{\alpha^2 \tau \beta (\rho_1 + \rho_2)}{\gamma_m \delta (\delta + \beta) (\theta + \beta)^2} < 0,$$

$$\frac{\partial e_{SS}^2}{\partial \theta} = -\frac{\alpha^2 \tau \beta (\rho_1 + \rho_r + \rho_2)}{\gamma_m \delta (\delta + \beta) (\theta + \beta)^2} < 0. \quad \square$$

推论5主要是由于制造商在集中决策下的减排努力水平高于分散决策下的减排努力水平. 表明集中决策能够促进制造商投入更高的减排努力, 提高产品减排量, 并获得更高的利润, 使得企业更有利于发展低碳经济, 改善环境. 同时推论5表明: 当消费者对产品的忠诚度越低, 越注重短期产品减排量和宣传水平时, 产品最终减排量稳态越高.

3 成本分摊决策

为了消除分散决策下出现的“双重边际效应”, 下文引入成本分摊决策对供应链进行协调优化. 在成本分摊决策中, 制造商为了刺激零售商进行低碳宣传, 分摊一部分零售商的低碳宣传成本, 分摊比例为 φ . 制造商决策减排努力水平、线上宣传努力水平, 零售商决策线下宣传努力水平, 目标函数分别为

$$\pi_m(t) = \int_0^\infty e^{-\beta t} \left[\rho_1 D_1(t) + \rho_2 D_2(t) - \frac{\gamma_m}{2} E_m^2(t) - \frac{\gamma}{2} E_2^2(t) - \frac{\varphi\gamma}{2} E_1^2(t) \right] dt, \quad (16)$$

$$\pi_r(t) = \int_0^\infty e^{-\beta t} \left[\rho_r D_1(t) - \frac{(1-\varphi)\gamma}{2} E_1^2(t) \right] dt. \quad (17)$$

命题5 成本分摊决策中制造商最优减排水平 E_m^{***} 、制造商最优宣传水平 E_2^{***} 、零售商最优宣传水平 E_1^{***} 、制造商宣传成本分摊比例 φ^{***} 分别为

$$E_1^{***} = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{(2\rho_1 + \rho_r)}{2\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{\rho_2}{\gamma},$$

$$E_2^{***} = \left(b - \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{\rho_2}{\gamma} - \left(k + \frac{\lambda\tau}{\theta + \beta}\right) \frac{\rho_1}{\gamma},$$

$$\varphi^{***} = \frac{2(\theta + \beta)(b\rho_1 - k\rho_2) - 2\lambda\tau(\rho_1 + \rho_2) - \left[\frac{b(\theta + \beta) - \lambda\tau}{b(\theta + \beta) - \lambda\tau} \rho_r \right]}{2(\theta + \beta)(b\rho_1 - k\rho_2) - 2\lambda\tau(\rho_1 + \rho_2) + \left[\frac{b(\theta + \beta) - \lambda\tau}{b(\theta + \beta) - \lambda\tau} \rho_r \right]},$$

$$E_m^{***} = \frac{\alpha \{ [a(\theta + \beta) + \beta\tau] \rho_1 - \theta\tau\rho_2 \}}{\gamma_m (\delta + \beta) (\theta + \beta)}. \quad (18)$$

证明略.

推论6 成本分摊决策可有效刺激零售商宣传

努力,而不对制造商减排努力和线上宣传努力产生影响.

证明

E_m^* = E_m^{***} < E_m^{**}, E_2^* = E_2^{***} > E_2^{**}. □

推论6显示:成本分担决策下,制造商减排努力和线上宣传努力水平与分散决策一致,零售商线下宣传努力水平在集中决策时最高,分散决策时最低. 这表明制造商可使用成本分摊方法,促进零售商积极低碳宣传,扩大销量.

推论7 制造商宣传成本分摊比例φ与自身线下渠道边际收益ρ1、宣传影响系数b呈正相关,与线上渠道边际收益ρ2、零售商边际收益ρr和渠道间宣传竞争系数k呈负相关.

证明略.

由推论7可知:当制造商从线下渠道获得的边际利润越大,线下宣传效果越好时,制造商越愿意分摊零售商宣传成本;当渠道间宣传竞争越大,线上渠道边际利润越大时,制造商越不愿意分摊零售商宣传成本.

命题6 在制造商和零售商的均衡反馈条件下,产品的碳减排量和消费者低碳参考轨迹分别为

e(t) = (e_0 - (αE_m^{***}/δ))e^{-δt} + e_{SS}^3, (19)

R(t) = (θ/(θ-δ))(e_0 - (αE_m^{***}/δ))e^{-δt} + [R_0 + (αE_m^{***}/(θ-δ) - (θe_0/(θ-δ) - λ/(θ(E_1^{***} + E_2^{***}))))e^{-θt} + R_{SS}^3. (20)

其中:e_{SS}^3 = (αE_m^{***}/δ)为产品减排量稳态,R_{SS}^3 = (αE_m^{***}/δ) + λ/(θ(E_1^{***} + E_2^{***}))为消费者低碳参考水平稳态.

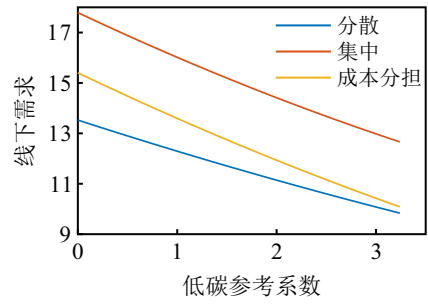
证明略.

4 算例分析

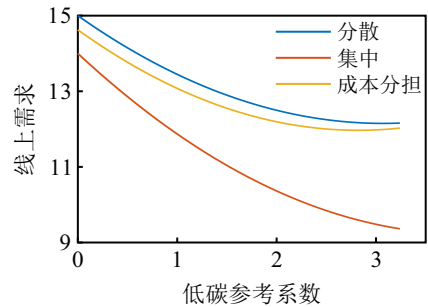
制造商和零售商在3种双渠道联合减排与低碳宣传的微分博弈中,各自的最优决策和利润以及供应链系统的利润依赖于模型中参数的选择.

为了观察消费者低碳参考效应对供应链成员宣传水平和利润的影响,下文将对消费者记忆系数和低碳参考系数进行算例分析. 通过数值分析来比较消费者低碳参考效应中系数对3种决策模式下的需求和利润影响,并做出分析. 借鉴张永明等[16]的论文参数设置,算例相关参数如下: D_0 = 20, μ = 0.5, β = 0.9, ρ_r = 1, ρ_1 = 2, ρ_2 = 3, λ = 1, α = 2, δ = 1, b = 5, k = 1, γ_m = 5, γ = 4, a = 3, e_0 = 0, R_0 = 0.

1) 产品需求稳态随消费者低碳参考系数的变化如图1所示,其中消费者记忆系数θ=3.



(a) 线下需求稳态



(b) 线上需求稳态

图1 低碳参考系数对需求量稳态的影响

为了保证模型有意义,在保证模型中各值为正的情况下计算得到,低碳参考系数τ变化范围为[0, 3.25].

由图1可见:在3种决策方式下,线上和线下需求均随着消费者低碳参考系数的增大而降低,表明消费者低碳参考效应对线上和线下需求均存在抑制作用. 由推论2可知:这是由于随着低碳参考系数的增大,线上和线下的宣传努力水平都会降低,进而导致需求量的降低.

同时可以发现:在零售渠道中,分散决策需求量最低,集中决策需求量最高,而在线上渠道中,集中决策需求量最低,分散决策需求销量最高;且集中决策线下需求量下降速度高于分散决策和成本分摊决策,表明在集中决策下制造商和零售商更倾向于从线下渠道销售产品. 这主要是因为消费者在线下渠道能够观察到产品减排量,消费者低碳参考效应对线下销量的抑制影响比线上渠道小,所以在集中决策下,供应链总体更倾向于在线下渠道销售产品.

2) 供应链成员决策、利润随消费者记忆系数的变化如图2所示,其中τ=2. 消费者记忆系数体现了消费者对往期商品减排量的关注程度,消费者的记忆系数越大,意味着消费者对产品的低碳水平偏于短期记忆,消费者更关注产品减排量的现值.

为了保证模型有现实意义,在保证模型中各值为正的情况下考虑误差计算得到,记忆系数θ变化范围为[2, 6].

图2显示了消费者记忆系数对模型中制造商和

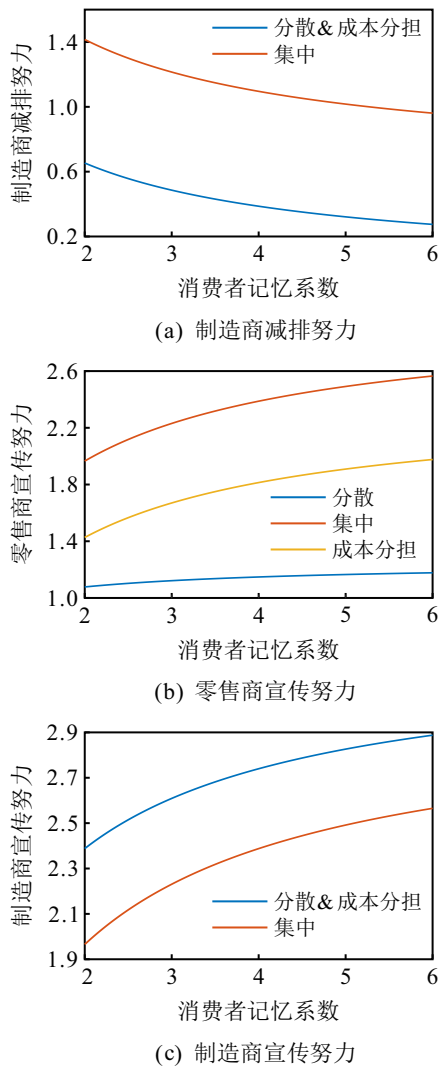


图2 低碳参考系数对供应链成员决策的影响

零售商决策变量的影响趋势. 由图2可见: 制造商减排努力水平与消费者记忆系数呈负相关, 线上和线下的宣传努力水平与消费者记忆系数均呈正相关. 图2表明: 消费者越重视产品长期减排量, 越能够促进制造商减排努力投入. 消费者对产品短期印象越深刻, 制造商和零售商越愿意增加宣传投入. 这是由于消费者根据以前的产品减排量形成了内心低碳参考水平, 消费者越重视长期减排水平, 越会对制造商提出更高的减排水平要求且宣传对消费者低碳参考水平的影响也会随着记忆系数的减小而降低. 为了实现更好的减排效果, 政府可倡导消费者增强长期低碳意识, 关注产品长期减排水平, 进而促进制造商增加减排投入, 降低产品碳排放.

图3显示了消费者记忆系数对模型中制造商和零售商利润的影响趋势. 由图3可见: 制造商利润与消费者记忆系数呈正相关, 而零售商利润与消费者记忆系数呈负相关. 表明消费者越重视产品短期减排量, 制造商获利越多; 消费者越重视长期减排量, 零售商获利越多. 消费者对产品减排水平的记忆越长久,

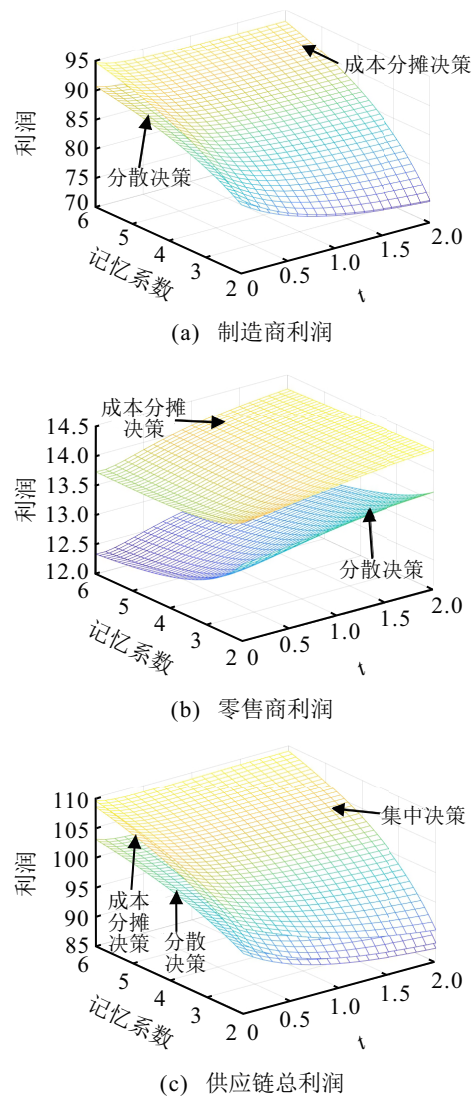


图3 消费者记忆系数对供应链成员利润的影响

为了避免低碳参考效应的负面影响, 制造商需要进行长期的减排投入, 最终导致制造商利润的下降. 同时, 随着制造商减排投入的增加, 位于供应链下端的零售商可以实现“搭便车”行为, 制造商的减排投入刺激消费者的需求, 扩大了产品的线下销量, 零售商的利润也随之增大. 同时, 图3也表明了集中决策和成本分摊决策均能够实现对供应链的帕累托改进.

由图2和图3可知: 消费者对产品长期减排水平的重视能够有效促进制造商减排努力的投入, 但是会造成制造商利润的下降, 降低其减排积极性. 因此, 政府可对长期持续减排的制造商给予一定的补贴, 促进其持续减排投入. 同时, 制造商可积极与下游零售商达成合作, 降低“搭便车”行为对制造商的影响, 实现利润的增长.

5 结论

本文针对由一个制造商和一个零售商组成的双渠道供应链, 综合考虑线上线下载低碳宣传、消费者低碳参考效应等因素对市场需求的影响, 将产品减排量

和消费者低碳参考水平作为状态方程构建微分博弈模型. 讨论了分散决策和集中决策下双渠道供应链模型的最优均衡策略, 并比较分析了两种决策模型下的最优均衡策略和最优利润. 构造了成本分摊契约协调分散决策下的利润缺失. 通过对模型的求解和分析得到以下结论.

1) 消费者低碳参考效应对零售商线下宣传和制造商线上宣传均存在抑制作用, 且这种抑制作用对制造商线上宣传的影响更明显. 消费者的记忆系数对零售商和制造商宣传努力存在促进作用. 消费者对产品忠诚度越低, 过去的产品减排率影响越小, 消费者越注重当下产品的宣传水平和减排率, 制造商和零售的宣传水平越高.

2) 消费者低碳参考效应对零售商线下产品需求、利润和线上产品需求、制造商利润均存在负向影响.

3) 集中决策下, 制造商线上宣传努力水平低于分散决策下线上宣传努力水平, 减排努力水平高于分散决策下制造商减排努力水平.

4) 集中决策和成本分摊决策均能够实现供应链的帕累托改进, 提高制造商和零售商的利润, 且集中决策下的供应链总利润高于成本分摊决策下的供应链总利润.

综上所述, 集中决策和成本分摊决策情境下供应链收益均优于分散决策, 其管理学意义主要有: 零售商和制造商在各自渠道边际收益越大, 越有能力进行低碳宣传; 制造商可在线下渠道通过让利给零售商的方式刺激线下低碳宣传; 消费者低碳参考效应提高了对产品减排水平和低碳宣传的要求, 制造商和零售商需要积极迎合消费者需求, 提高产品减排水平, 才能避免低碳参考效应的负面影响; 消费者越关注产品短期宣传水平和短期减排水平, 越有利于产品减排水平的提高, 因此政府可呼吁消费者提升对商品的短期关注度, 促进产品减排, 保护环境.

本文的供应链仅由一个制造商和一个供应商构成, 但是实际供应链往往是多个参与者进行博弈, 供应链的均衡策略也会发生改变. 同时本文没有考虑价格变化, 仅考虑单位产品的固定利润. 因此, 未来可考虑扩展研究多个成员间动态价格的博弈问题.

参考文献(References)

[1] 徐春秋, 赵道致, 原白云, 等. 上下游联合减排与低碳宣传的微分博弈模型[J]. 管理科学学报, 2016, 19(2): 53-65.
(Xu C Q, Zhao D Z, Yuan B Y, et al. Differential game model on joint carbon emission reduction and low-carbon promotion in supply chains[J]. Journal of Management

Sciences in China, 2016, 19(2): 53-65.)

- [2] 王婷婷, 王道平. 政府补贴下供应链合作减排与低碳宣传的动态协调策略[J]. 运筹与管理, 2020, 29(8): 52-61.
(Wang T T, Wang D P. Dynamic coordination strategy of cooperation on carbon emission reduction and low carbon propaganda in supply chain under government subsidy[J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29(8): 52-61.)
- [3] 王一雷, 夏西强, 张言. 碳交易政策下供应链碳减排与低碳宣传的微分对策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(4): 155-166.
(Wang Y L, Xia X Q, Zhang Y. Differential strategies of carbon emission reduction and low-carbon promotion of the supply chain under cap-and-trade policy[J]. Chinese Journal of Management Science, 2022, 30(4): 155-166.)
- [4] 姜跃, 韩水华, 赵洋. 基于零售商公平偏好的联合碳减排与低碳宣传微分对策研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(7): 173-182.
(Jiang Y, Han S H, Zhao Y. Differential game on joint carbon emission reduction and low-carbon promotion with considering retailer's fairness preference in supply chains[J]. Chinese Journal of Management Science, 2023, 31(7): 173-182.)
- [5] 徒君, 高凤阳, 黄敏. 不同权力结构下供应链减排策略随机微分博弈[J]. 控制与决策, 2024, 39(1): 291-300.
(Tu J, Gao F Y, Huang M. Stochastic differential game of supply chain emission reduction strategies under different power structures[J]. Control and Decision, 2024, 39(1): 291-300.)
- [6] Matsui K. Should a retailer bargain over a wholesale price with a manufacturer using a dual-channel supply chain?[J]. European Journal of Operational Research, 2022, 300(3): 1050-1066.
- [7] 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.
- [8] Ouardighi F E, Sim J, Kim B. Pollution accumulation and abatement policies in two supply chains under vertical and horizontal competition and strategy types[J]. Omega, 2021, 98: 102108.
- [9] 赵道致, 徐春秋, 王芹鹏. 考虑零售商竞争的联合减排与低碳宣传微分对策[J]. 控制与决策, 2014, 29(10): 1809-1815.
(Zhao D Z, Xu C Q, Wang Q P. Differential strategies of joint emission reductions and low-carbon promotion considering competing retailers[J]. Control and Decision, 2014, 29(10): 1809-1815.)
- [10] 陈山, 王旭, 吴映波, 等. 低碳环境下双渠道供应链线上线下广告策略的微分博弈分析[J]. 控制与决策, 2020, 35(11): 2707-2714.
(Chen S, Wang X, Wu Y B, et al. Differential game analysis of online and offline advertising strategies

- in a dual channel supply chain under low-carbon background[J]. *Control and Decision*, 2020, 35(11): 2707-2714.)
- [11] 陈静, 赵灿红, 高歌, 等. 碳限额及交易背景下双渠道供应链纵向合作动态减排研究[J]. *中国管理科学*, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0571.
(Chen J, Zhao C H, Gao G, et al. Research on dynamic emission reduction of vertical cooperation in dual-channel supply chain under carbon capand trade policy[J]. *Chinese Journal of Management Science*, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0571.)
- [12] Hsieh T P, Dye C Y. Optimal dynamic pricing for deteriorating items with reference price effects when inventories stimulate demand[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 262(1): 136-150.
- [13] 陆晨, 俞安平, 潘全. 考虑参考效应的两阶段动态定价研究[J]. *统计与决策*, 2013(7): 47-49.
(Lu C, Yu A P, Pan Q. Research on two-stage dynamic pricing considering reference effect[J]. *Statistics & Decision*, 2013(7): 47-49.)
- [14] 郭春香, 房于博, 刘羽. 考虑参考价格效应的易逝品预售策略研究[J]. *软科学*, 2020, 34(8): 109-115.
(Guo C X, Fang Y B, Liu Y. Study on the presale strategy of perishable commodities considering the reference price effect[J]. *Soft Science*, 2020, 34(8): 109-115.)
- [15] 马德青, 胡劲松. 展厅现象下考虑利他行为的O2O供应链动态运营策略[J]. *管理学报*, 2020, 17(5): 734-745.
(Ma D Q, Hu J S. Dynamic operational & marketing strategies of O2O supply chain considering altruistic behavior under the phenomenon of showrooming[J]. *Chinese Journal of Management*, 2020, 17(5): 734-745.)
- [16] 张永明, 楼高翔, 常香云. 考虑参考效应的碳减排与低碳宣传微博博弈[J]. *工业工程与管理*, 2018, 23(2): 107-113.
(Zhang Y M, Lou G X, Chang X Y. Differential game of carbon abatement and low-carbon promotion considering reference effect[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2018, 23(2): 107-113.)
- [17] 刘虹, 林敏. 减排和宣传的时延与低碳参考双重效应影响下供应链决策研究[J]. *工业工程*, 2021, 24(4): 56-66.
(Liu H, Lin M. A supply chain decision with the dual effect of delay in emission reduction, and low-carbon publicity and reference[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2021, 24(4): 56-66.)
- [18] Zhang Z Y, Yu L Y. Dynamic optimization and coordination of cooperative emission reduction in a dual-channel supply chain considering reference low-carbon effect and low-carbon goodwill[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(2): 539.
- [19] 杨建华, 刘淞. 考虑消费者参考效应的双渠道乳制品供应链协调机制设计[J]. *控制与决策*, 2022, 37(6): 1609-1620.
(Yang J H, Liu S. Coordination mechanism of dual channel supply chain in dairy products considering consumers' reference effect[J]. *Control and Decision*, 2022, 37(6): 1609-1620.)
- [20] 胡娇, 李莉, 张华, 等. 考虑参照效应和主播影响力的网络直播平台动态定价决策[J]. *系统工程理论与实践*, 2022, 42(3): 755-766.
(Hu J, Li L, Zhang H, et al. Dynamic pricing strategies for live broadcast platform considering reference effect and anchor influence[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2022, 42(3): 755-766.)
- [21] Zhou Y J, Bao M J, Chen X H, et al. Co-op advertising and emission reduction cost sharing contracts and coordination in low-carbon supply chain based on fairness concerns[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 133: 402-413.
- [22] 马德青, 胡劲松. 参考质量效应下公平、利他偏好对供应链质量和营销策略的影响[J]. *系统工程理论与实践*, 2020, 40(7): 1752-1766.
(Ma D Q, Hu J S. Impact of member's fairness and altruistic preference on strategies of supply chain under reference quality effect[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2020, 40(7): 1752-1766.)
- [23] 俞超, 汪传旭, 王志华. 考虑零售商竞争和低碳宣传补贴的供应链合作减排[J]. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 2018, 52(3): 373-382.
(Yu C, Wang C X, Wang Z H. Supply chain cooperative emission reduction considered retailer competition and subsidies to low carbon propaganda[J]. *Journal of Central China Normal University: Natural Sciences*, 2018, 52(3): 373-382.)
- [24] 曹二保, 孙晓明. 基于质量参照效应的双渠道供应链最优决策研究[J]. *管理工程学报*, 2021, 35(6): 176-182.
(Cao E B, Sun X M. Research on the optimal decision-making of dual-channel supply chain with reference quality effect[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2021, 35(6): 176-182.)

作者简介

孙立成(1977—), 男, 教授, 博士, 从事低碳供应链、供应链韧性等研究, E-mail: sunsee213@ujs.edu.cn;

郭晓亮(1998—), 男, 硕士生, 从事低碳供应链的研究, E-mail: 1542255692@qq.com.