控制与决策
Control and Decision

不同供应链结构下基于微分博弈的线上线下渠道竞争策略

徒君, 朱淼雨, 黄敏

引用本文:
徒君, 朱淼雨, 黄敏. 不同供应链结构下基于微分博弈的线上线下渠道竞争策略[J]. 控制与决策, 2025, 40(3): 736-744.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2024.0357

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

平台品牌赋能情境下考虑信息不对称的供应链渠道冲突

Supply chain channel conflicts considering asymmetric information under platform brand empowerment

控制与决策. 2021, 36(9): 2123–2132 https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0098

服务差异化背景下基于行为的定价策略

Pricing strategy based on strategic customer behavior with service differentiation

控制与决策. 2021, 36(7): 1754–1762 https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1147

不同担保模式下考虑零售商公平关切的闭环供应链博弈模型

Game models of closed–loop supply chain under different warranty modes considering retailer’s fairness concerns

控制与决策. 2021, 36(6): 1489–1498 https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1328

考虑供应商技术截断的“主–供”合作机制演化博弈分析

Evolutionary game analysis of “main manufacturer–supplier” collaboration mechanism considering supplier’s technology truncation

控制与决策. 2021, 36(10): 2547–2552 https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1678

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

不同供应链结构下基于微分博弈的线上线下渠道竞争策略

徒 君[1,2†]，朱淼雨[1]，黄 敏[3]

(1. 辽宁工程技术大学 理学院，辽宁 阜新 123000；2. 无锡学院 数字经济与管理学院，江苏 无锡 214105；
3. 东北大学 信息科学与工程学院，沈阳 110819)

摘 要: 线上渠道与线下渠道在产品价格和服务等方面存在竞争, 并受到供应链结构的显著影响. 利用微分博弈方法在 3 类供应链结构下研究线上线下渠道竞争, 包括集中式结构、分散式结构和收益共享结构. 通过对微分博弈模型的求解获得不同供应链结构下线上线下零售价格、促销努力和物流努力策略. 研究发现: 分散式结构提高了线下零售价格、促销努力和线上零售价格, 并降低了线上促销努力和物流努力; 收益共享结构提高了线下零售价格、促销努力和线上零售价格、物流努力, 并降低了线上促销努力; 分散式结构和收益共享结构使得电商作出了比线下零售商更小的促销努力并制定更高的零售价格. 当物流努力边际贡献充分大时, 物流努力的存在总是使得线上产品商誉高于线下. 数值实验表明: 收益共享结构对线下渠道最有利而集中式结构对线上渠道最有利, 物流努力对线上渠道是否有利依赖于其对线上产品商誉的边际贡献.

关键词: 渠道竞争；微分博弈；供应链结构；产品商誉；促销努力；物流努力

中图分类号: O225 **文献标志码:** A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2024.0357

引用格式: 徒君, 朱淼雨, 黄敏. 不同供应链结构下基于微分博弈的线上线下渠道竞争策略 [J]. 控制与决策, 2025, 40(3): 736-744.

Competitive strategies for online and offline channels based on differential games under different supply chain structures

TU Jun[1,2†]，*ZHU Miao-yu*[1]，*HUANG Min*[3]

(1. College of Science，Liaoning Technical University，Fuxin 123000，China；2. School of Digital Economics and Management， Wuxi University， Wuxi 214105， China； 3. College of Information Science and Engineering，Northeastern University，Shenyang 110819，China)

Abstract: Online and offline channels compete on product price and service simultaneously, which is significantly influenced by supply chain structure. The differential game method is implemented to study the competition between online and offline channels in three types of supply chain structures, including centralized structure, decentralized structure, and revenue-sharing structure. By solving the differential game model, we obtain online and offline retail price, promotion effort, and logistics effort strategies under different supply chain structures. It is found that the decentralized structure increases offline channel's retail price and promotion effort, and online channel's retail price, while reduces online channel's promotion effort and logistics effort. The revenue-sharing structure increases offline channel's retail price and promotion effort, online channel's retail price and logistics effort, and reduces online channel's promotion effort. The decentralized and revenue-sharing structures enable the e-tailer to make a smaller promotion effort than offline promotion effort and to set a higher retail price. When the marginal contribution of logistics effort is sufficiently large, the existence of logistics effort always leads to a higher goodwill for the online channel than offline channel. Numerical experiments show that the revenue-sharing structure is most advantageous for the offline channel, while centralized structure is most advantageous for the online channel. Whether logistics effort is beneficial to the online channel depends on its marginal contribution to the goodwill of online products.

Keywords: channel competition； differential game； supply chain structure； product goodwill； promotion effort； logistics effort

0 引 言

电子商务的高速发展加剧了线上渠道与线下渠道的竞争和冲突, 而迅捷便利的物流服务在为线上渠道赢得竞争优势的同时也带来了新的管理难题[1-2].

收稿日期: 2024-04-02；**录用日期:** 2024-07-24.
基金项目: 国家自然科学基金项目 (51704140)；辽宁省自然科学基金项目 (2021-MS-340)；辽宁省教育厅基金项目 (LJKZ0347).
责任编委: 唐加福.
†通信作者. E-mail: tovegar@126.com.

电商可能采用自营物流, 或选择外包物流, 亦或是与物流供应商共享收益, 这导致电商和物流供应商往往组成不同的供应链结构. 不同供应链结构显著影响了电商、物流供应商和线下零售商的决策, 因此, 在线上线下渠道竞争策略的研究中必须加以考虑.

为了争夺市场, 线上渠道和线下渠道围绕零售价格和促销努力展开了激烈竞争[3]. Seyyed-Mahdi 等[4] 在不同供应链结构下研究了线上渠道与线下渠道间的零售价格和促销努力竞争, 并通过收益共享契约协调供应链; Ma 等[5] 考虑线下零售商可以向消费者提供个性化服务, 研究了线上线下渠道的价格竞争策略; Pu 等[6] 考虑线下渠道不同的供应链结构, 研究了线下零售商与电商的价格竞争.

物流服务对线上渠道具有重要的价值并显著影响双渠道竞争[7]. Li 等[8] 考虑物流服务对线上渠道需求的提升, 研究了制造商与电商间的价格竞争; He 等[9] 考虑了制造商与电商间的价格竞争, 建立了线上渠道零售价格和物流服务价格的均衡策略; Zhang 等[10] 针对线上渠道商城销售模式的引入, 研究了供应商与电商平台间的价格和物流服务竞争; Hu 等[11] 针对线上渠道与线下渠道间的不同权力结构, 研究了双渠道竞争下的定价策略; Qin 等[12] 针对线上平台与卖家间的价格和物流服务竞争, 研究了不同物流服务共享机制下的定价策略.

产品商誉描述了产品在消费者群体中的品牌形象和口碑, 体现了消费者对产品的认可程度, 可通过广告等手段加以提升[13]. 产品商誉利用广告的影响改变消费者对该产品的偏好来增加新的顾客, 从而增加该产品的市场需求[14]. 产品商誉也会随着时间衰减.

针对价格和促销努力对产品商誉和需求的长期动态影响, 微分博弈方法被用于研究双渠道竞争. Zhang 等[15] 考虑制造商的广告努力贡献于产品商誉, 研究了制造商和电商的价格竞争策略; 贡文伟等[16] 考虑了供应链成员的不同风险态度, 研究了绿色产品双渠道的价格竞争和制造商的绿色努力策略; Liu 等[17] 在区块链背景下研究了线上渠道和线下渠道的溯源技术投资和价格决策, 定义了产品新鲜度和可溯源商誉两个微分方程; 王道平等[18] 通过定义两个产品商誉来刻画零售商间的销售竞争, 建立了零售商间的促销努力均衡策略, 并引入了成本分担契约对供应链进行协调; 陈山等[19] 基于微分博弈研究了双渠道竞争下的线上线下广告策略和定价决策; 王威昊等[20] 考虑线下实体店的服务努力能够同时提高线上线下产品需求, 研究了双渠道的最优服务和定价策略, 并引入了成本分担和收益共享机制来协调供应链.

需要指出的是, 上述研究均没有在动态环境下调查电商与物流供应商组成的不同供应链结构对线上线下渠道竞争的影响, 这一点启发了本文研究. 尽管杨建华等[21] 考虑了物流服务对产品商誉的长期动态影响, 但是, 其考虑物流供应商同时为线上和线下渠道提供相同质量物流服务, 从而, 物流服务不影响渠道竞争.

本文研究目的包括 3 个方面: 1) 建立不同供应链结构下线上线下渠道的定价、促销策略以及物流服务策略; 2) 揭示供应链结构对线上线下渠道竞争策略的作用机制; 3) 获得物流服务对线上线下渠道供应链表现的影响规律.

本文主要内容包括两个方面: 一方面, 利用微分博弈研究线上线下渠道的定价、促销策略以及物流服务策略的竞争, 揭示物流服务对双渠道竞争的影响规律; 另一方面, 针对线上渠道的不同供应链结构, 建立双渠道竞争下的零售价格、促销和物流服务的均衡策略, 分析供应链结构对双渠道竞争的价值.

1 问题描述

本文研究对象为相互竞争的线上线下渠道, 线上渠道由一个电商和物流供应商组成, 线下渠道由一个线下零售商组成. 电商在线上销售产品并由物流供应商完成配送, 线下零售商销售同一种产品并由消费者自提.

线上渠道的物流服务由物流供应商提供, 而物流供应商可作出物流努力来提高物流服务水平. 物流供应商可在配送质量、配送时间和绿色配送等方面作出物流努力[22]. 如冷链设备可被投入来延缓生鲜产品的变质速度, 即时配送策略的使用可缩短物流配送时间, 而低碳设施等的投入可实现绿色配送. 不失一般性, 本文将这些措施统一称为物流供应商的物流努力. 毫无疑问, 物流努力的投入需要付出相应的物流成本.

电商可通过限时津贴、单品秒杀、限定爆款满减等措施作出促销努力, 进行动态促销来提升消费者需求[23]. 线下零售商能够作出促销努力来吸引消费者, 包括提供更好的线下购物体验、可信赖的售后服务和质量保障等[4]. 电商的促销努力和物流供应商的物流努力均能够提升线上产品商誉, 而线下产品商誉可由线下零售商的促销努力来提升.

电商和线下零售商分别制定自己的零售价格和

促销努力, 而物流供应商决策物流努力. 文中主要符号说明如表 1 所示.

表1 模型符号和含义

符号	含义
e,r,l	下标, 分别为电商、线下零售商和物流供应商
c,d,n	上标, 分别为集中式、分散式和收益共享结构
a	潜在市场规模
b_i	价格对需求的边际贡献系数, $0\leqslant b_i\leqslant 1, i=e,r$
h	线上渠道物流价格
k_i	努力成本系数, $i=e,r,l$
w	产品批发价格
α_i	努力对产品商誉的边际贡献系数, $i=e,r,l$
δ_i	商誉的自然衰减率, $\delta_i>0, i=e,r$
η	收益共享系数, $0\leqslant\eta\leqslant 1$
λ_i	商誉对产品需求的边际贡献系数, $i=e,r$
μ	线下渠道市场占比, $0<\mu<1$
ρ	贴现因子, $\rho>0$
$D_i(t)$	t时刻产品需求, $i=e,r$
$G_i(t)$	t时刻产品商誉, $i=e,r$
J_i	供应链成员利润, $i=e,r,l,e+l$
$p_i(t)$	决策变量, t时刻零售价格, $i=e,r$
$s_i(t)$	决策变量, t时刻努力, $i=e,r,l$

记t时刻电商促销努力、线下零售商促销努力和物流供应商物流努力分别为$s_e(t)$、$s_r(t)$和$s_l(t)$. 考虑到线上促销努力、线下促销努力和物流努力成本的凸性特征[21], 假设努力成本为努力水平的二次函数[4], 对应的努力成本分别为$C_e(t)=\dfrac{1}{2}k_es_e^2(t)$, $C_r(t)=\dfrac{1}{2}k_rs_r^2(t)$, $C_l(t)=\dfrac{1}{2}k_ls_l^2(t)$, 其中$k_e>0$、$k_r>0$ 和 $k_l>0$为努力成本系数.

线上零售价格和线下零售价格分别用$p_e(t)$和$p_r(t)$表示. 线上和线下的产品批发价格均为$w(w<\min\{p_e(t),p_r(t)\})$. 文中下标$e$、$r$、$l$和$e+l$分别为电商、线下零售商、物流供应商和线上渠道.

考虑线上渠道的产品商誉可由电商促销努力和物流供应商的物流努力共同来提升, 且努力对商誉的影响具有长期性、动态性. 此外, 由于消费者遗忘以及新产品的推出, 产品商誉也会随着时间自然衰减. 借鉴文献 [18] 关于促销努力对商誉的影响规律, 本文的线上产品商誉的演化方式刻画为

$$\mathrm{d}G_e(t)=[\alpha_es_e(t)+\alpha_ls_l(t)-\delta_eG_e(t)]\mathrm{d}t. \tag{1}$$

考虑线下渠道的产品商誉仅能由线下零售商的促销努力来提升, 且该努力对商誉的影响具有长期性、动态性. 同时, 线下渠道产品商誉也会随着时间自然衰减, 本文的线下产品商誉的演化方式刻画为

$$\mathrm{d}G_r(t)=[\alpha_rs_r(t)-\delta_rG_r(t)]\mathrm{d}t, \tag{2}$$

其中初始时刻商誉$G_i(0)=G_{i0}\,(i=e,r)$. 电商促销努力、线下零售商促销努力和物流努力对产品商誉的边际贡献系数分别为α_e、α_r和α_l. 线上商誉和线下商誉的自然衰减率分别为δ_e和δ_r, $\delta_e>0$, $\delta_r>0$.

考虑产品需求受到价格和商誉两方面因素的共同影响[24], 定义t时刻线上渠道和线下渠道产品需求函数分别为

$$D_e(t)=\lambda_eG_e(t)[(1-\mu)a-p_e(t)+b_rp_r(t)], \tag{3}$$

$$D_r(t)=\lambda_rG_r(t)[\mu a-p_r(t)+b_ep_e(t)], \tag{4}$$

其中λ_e、λ_r分别为线上商誉和线下商誉对产品需求的边际贡献系数. 记线上和线下渠道总市场规模为a, μ为线下渠道市场占比, $0<\mu<1$. 考虑对方渠道价格对本渠道产品需求具有正向作用, 用b_r表示线下价格对线上需求的边际贡献系数, 用b_e表示线上价格对线下需求的边际贡献系数. 不失一般性, 假设对方渠道价格对本渠道需求的贡献不超过本渠道价格, 令$0\leqslant b_r\leqslant 1$, $0\leqslant b_e\leqslant 1$. 为了简洁性, 下文公式符号中不再列出时间$t$.

本文在无限时间区间内研究线上线下渠道竞争下供应链成员的定价和努力决策, 假设它们具有相同的贴现因子$\rho(\rho>0)$. 因此, 电商、物流供应商和线下零售商的利润函数可分别表示为

$$J_e=\int_0^{\infty}\mathrm{e}^{-\rho t}\Big[(p_e-w-h)D_e-\frac{1}{2}k_e(s_e)^2\Big]\mathrm{d}t, \tag{5}$$

$$J_l=\int_0^{\infty}\mathrm{e}^{-\rho t}\Big[hD_e-\frac{1}{2}k_l(s_l)^2\Big]\mathrm{d}t, \tag{6}$$

$$J_r=\int_0^{\infty}\mathrm{e}^{-\rho t}\Big[(p_r-w)D_r-\frac{1}{2}k_r(s_r)^2\Big]\mathrm{d}t, \tag{7}$$

其中h为电商向物流供应商支付的单位产品物流价格.

本文考虑线上渠道具有 3 种供应链结构, 包括集中式结构、分散式结构和收益共享结构, 分别用上标c、d和n表示. 在集中式结构下, 电商和物流供应商组成了利益共同体; 在分散式结构下, 电商和物流供应商分别独立作出决策以最大化自身利润; 在收益共享结构下, 电商与物流供应商共享自身的收益, 收益共享系数记为$\eta(0\leqslant\eta\leqslant 1)$.

2 集中式结构

在集中式结构下, 电商和物流供应商联合决策促销努力、物流努力和零售价格, 以最大化线上渠道的利润函数, 有

$$J_{e+l}^c = \max_{p_e^c, s_e^c, s_l^c} \int_0^\infty \mathrm{e}^{-\rho t}\Big[(p_e^c - w)D_e^c - \frac{1}{2}k_e(s_e^c)^2 - \frac{1}{2}k_l(s_l^c)^2\Big]\mathrm{d}t. \tag{8}$$

线下零售商决策线下促销努力和零售价格, 以最大化线下渠道的利润函数, 有

$$J_r^c = \max_{p_r^c, s_r^c} \int_0^\infty \mathrm{e}^{-\rho t}\Big[(p_r^c - w)D_r^c - \frac{1}{2}k_r(s_r^c)^2\Big]\mathrm{d}t. \tag{9}$$

为了得到促销努力、物流努力和零售价格的反馈均衡策略, 采用 Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) 方程进行求解, 所得结果如命题 1 所示.

命题 1　在集中式结构下:

1) 线下和线上零售价格分别为$p_r^{c*} = \dfrac{\varDelta_2 + wb_e}{\varLambda}$和$p_e^{c*} = \dfrac{\varDelta_1 + 2w}{\varLambda}$. 其中: $\varDelta_1 = 2a(1-\mu) + wb_r + ab_r\mu$, $\varDelta_2 = 2a\mu + ab_e(1-\mu) + 2w$, $\varLambda = 4 - b_rb_e$. 线下零售商、电商促销努力以及物流努力分别为$s_r^{c*} = \dfrac{\alpha_r\varTheta_2[\varDelta_2 + w(b_e - \varLambda)]^2}{k_r}$、$s_e^{c*} = \dfrac{\alpha_e\varTheta_1[\varDelta_1 + w(2-\varLambda)]^2}{k_e}$和 $s_l^{c*} = \dfrac{\alpha_l\varTheta_1[\varDelta_1 + w(2-\varLambda)]^2}{k_l}$. 这里: $\varTheta_1 = \dfrac{\lambda_e}{(4-b_rb_e)^2(\rho+\delta_e)}$, $\varTheta_2 = \dfrac{\lambda_r}{(4-b_rb_e)^2(\rho+\delta_r)}$.

2) 线上产品和线下产品的商誉轨迹分别为$G_e^c = G_{e\infty}^c + (G_{e0} - G_{e\infty}^c)\mathrm{e}^{-\delta_e t}$和 $G_r^c = G_{r\infty}^c + (G_{r0} - G_{r\infty}^c)\mathrm{e}^{-\delta_r t}$. 其中: $G_{e\infty}^c = \varTheta_1[\varDelta_1 + w(2-\varLambda)]^2(k_l\alpha_e^2 + k_e\alpha_l^2)/(\delta_e k_e k_l)$为线上产品商誉的稳定值, $G_{r\infty}^c = \alpha_r^2\varTheta_2[\varDelta_2 + w(b_e - \varLambda)]^2/(\delta_r k_r)$为线下产品商誉的稳定值.

命题 1 表明, 在集中式结构下, 电商与线下零售商的零售价格具有相似的形式. 当$\mu = 0.5$且$b_e = b_r$时, 线上与线下的零售价格相等. 无论是线上渠道还是线下渠道, 随着促销努力对产品商誉边际贡献系数的增大, 促销努力逐渐提升. 同时, 促销努力随着努力成本系数的增大而减小. 促销努力对产品商誉提升的效果越明显, 电商和线下零售商越愿意作出更大的促销努力. 然而, 努力成本的提高驱使它们降低了促销努力. 随着物流努力对产品商誉边际贡献系数的增大, 物流努力逐渐提升, 且物流努力随着努力成本系数的增大而减小. 此外, 随着产品商誉对需求的边际贡献系数的增加, 商誉逐渐增大.

3　分散式结构

本节考虑线上渠道中电商和物流供应商构成分散式结构, 即电商和物流供应商分别为了追求自身利润最大化而独自作出决策. 考虑电商与物流供应商构成 Stackelberg 主从博弈, 电商是主导者而物流供应商是追随者. 对于线上渠道和线下渠道而言, 它们依然构成 Nash 结构.

分散式结构的决策顺序如下: 首先, 电商决策线上零售价格p_e^d和促销努力s_e^d, 同时, 线下零售商决策线下零售价格p_r^d和促销努力s_r^d; 然后, 物流供应商在看到电商和线下零售商的策略后, 决策物流努力s_l^d; 最后, 线上线下渠道需求实现, 物流供应商完成线上渠道物流配送任务. 决策时序如图 1 所示.

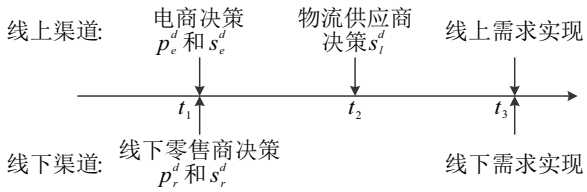

图1　决策时序

在分散式结构下: 电商最大化利润函数为

$$J_e^d = \max_{p_e^d, s_e^d} \int_0^\infty \mathrm{e}^{-\rho t}\Big[(p_e^d - w - h)D_e^d - \frac{1}{2}k_e(s_e^d)^2\Big]\mathrm{d}t. \tag{10}$$

物流供应商最大化利润函数为

$$J_l^d = \max_{s_l^d} \int_0^\infty \mathrm{e}^{-\rho t}\Big[hD_e^d - \frac{1}{2}k_l(s_l^d)^2\Big]\mathrm{d}t. \tag{11}$$

线下零售商最大化利润函数为

$$J_r^d = \max_{p_r^d, s_r^d} \int_0^\infty \mathrm{e}^{-\rho t}\Big[(p_r^d - w)D_r^d - \frac{1}{2}k_r(s_r^d)^2\Big]\mathrm{d}t. \tag{12}$$

利用 HJB 方程进行求解, 所得结果如命题 2 所示.

命题 2　在分散式结构下:

1) 线下和线上零售价格分别为 $p_r^{d*} = \dfrac{\varDelta_2 + (h+w)b_e}{\varLambda}$, $p_e^{d*} = \dfrac{\varDelta_1 + 2(h+w)}{\varLambda}$. 线下零售商、电商促销努力以及物流供应商物流努力分别为

$$s_r^{d*} = \frac{\alpha_r\varTheta_2[\varDelta_2 + w(b_e - \varLambda) + hb_e]^2}{k_r},$$

$$s_e^{d*} = \frac{\alpha_e\varTheta_1[\varDelta_1 + (h+w)(2-\varLambda)]^2}{k_e},$$

$$s_l^{d*} = \frac{h\varLambda\alpha_l\varTheta_1[\varDelta_1 + (h+w)(2-\varLambda)]}{k_l}.$$

2) 线上产品和线下产品的商誉轨迹分别为$G_e^d = G_{e\infty}^d + (G_{e0} - G_{e\infty}^d)\mathrm{e}^{-\delta_e t}$和$G_r^d = G_{r\infty}^d + (G_{r0} - G_{r\infty}^d)\mathrm{e}^{-\delta_r t}$. 其中: $G_{e\infty}^d = \varTheta_1[\varDelta_1 + (h+w)(2-\varLambda)] \times \{[\varDelta_1 + (h+w)(2-\varLambda)]k_l\alpha_e^2 + h\varLambda k_e\alpha_l^2\}/(\delta_e k_e k_l)$ 为线上产品商誉的稳定值, $G_{r\infty}^d = \alpha_r^2\varTheta_2[\varDelta_2 + w(b_e - \varLambda) + hb_e]^2/(\delta_r k_r)$为线下产品商誉的稳定值.

命题 2 表明, 在分散式结构下, 电商、线下零售商和物流供应商的决策均受到物流价格的影响. 电商向物流供应商支付物流价格的同时提高了线上线

下渠道的零售价格和线下零售商的促销努力. 物流价格的增加将提高物流供应商的物流努力并降低电商促销努力. 物流价格越高, 物流供应商越愿意多作出物流努力, 而电商促销努力越小. 与此同时, 线上零售价格与线下零售价格不再具有类似的形式. 由于物流价格的存在, 当$\mu=0.5$且$b_e=b_r$时, 线上与线下零售价格不再相同. 此外, 注意到, 线下产品商誉随着物流价格的增加而增加, 而物流价格对线上产品商誉的影响不具有单调性.

4 收益共享结构

本节考虑电商通过收益共享行为来激励物流供应商作出物流努力以提升线上渠道的竞争性, 并协调线上渠道. 电商愿意与物流供应商共享其销售收益, 收益共享比例为η. 假设η由电商与物流供应商提前谈判决定, 本文将其视为外生变量, $0\leqslant\eta\leqslant 1$. 此时, 电商的利润函数为

$$J_e^n=\max_{p_e^n,s_e^n}\int_0^\infty \mathrm{e}^{-\rho t}\Big\{[(1-\eta)p_e^n-w-h]D_e^n-\frac{1}{2}k_e(s_e^n)^2\Big\}\mathrm{d}t. \tag{13}$$

物流供应商的利润函数为

$$J_l^n=\max_{s_l^n}\int_0^\infty \mathrm{e}^{-\rho t}\Big[(\eta p_e^n+h)D_e^n-\frac{1}{2}k_l(s_l^n)^2\Big]\mathrm{d}t. \tag{14}$$

利用 HJB 方程进行求解, 所得结果如命题 3 所示.

命题 3 在收益共享结构下:

1) 线下和线上零售价格分别为 $p_r^{n*}=\dfrac{\bar\eta\Delta_2+(h+w)b_e}{\bar\eta\Lambda}$、$p_e^{n*}=\dfrac{\bar\eta\Delta_1+2(h+w)}{\bar\eta\Lambda}$, 其中$\bar\eta=1-\eta$. 线下零售商、电商促销努力以及物流供应商物流努力分别为

$$s_r^{n*}=\alpha_r\Theta_2[\bar\eta(\Delta_2-w\Lambda)+(h+w)b_e]^2/(k_r\bar\eta^2),$$
$$s_e^{n*}=\alpha_e\Theta_1[\bar\eta\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]^2/(k_e\bar\eta),$$
$$s_l^{n*}=\alpha_l\Theta_1[\bar\eta(h\Lambda+\eta\Delta_1)+2\eta(h+w)][\bar\eta\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]/(k_l\bar\eta^2).$$

2) 线上产品和线下产品的商誉轨迹分别为 $G_e^n=G_{e\infty}^n+(G_{e0}-G_{e\infty}^n)\mathrm{e}^{-\delta_e t}$和 $G_r^n=G_{r\infty}^n+(G_{r0}-G_{r\infty}^n)\mathrm{e}^{-\delta_r t}$. 其中: $G_{e\infty}^n=\{\Theta_1[\bar\eta\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]\{[\bar\eta\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]\bar\eta k_l\alpha_e^2+[\bar\eta(\eta\Delta_1-hb_rb_e)+2\eta(w-h)+4h]k_e\alpha_l^2\}\}/(\delta_e k_e k_l\bar\eta^2)$为线上产品商誉的稳定值, $G_{r\infty}^n=\dfrac{\alpha_r^2\Theta_2[\bar\eta(\Delta_2-w\Lambda)+(h+w)b_e]^2}{\delta_r k_r\bar\eta^2}$为线下产品商誉的稳定值.

命题 3 表明, 在收益共享结构下, 电商、线下零售商和物流供应商的决策均受到电商收益共享行为的影响. 收益共享同时提高了线上线下渠道的零售价格和线下零售商的促销努力, 并降低了电商促销努力. 同时, 物流供应商的物流努力随着收益共享系数的变化趋势是复杂的, 不是单调的. 此外, 注意到, 线下产品商誉随着收益共享系数的增加而增加, 而线上产品商誉的变化趋势不具有单调性.

5 比较分析

为了直观地进行分析对比, 将不同结构下供应链成员的价格和努力策略列于表 2. 其中: $\Delta_1=2a(1-\mu)+wb_r+ab_r\mu$, $\Delta_2=2a\mu+ab_e(1-\mu)+2w$, $\Lambda=4-b_rb_e$, $\Theta_1=\dfrac{\lambda_e}{(4-b_rb_e)^2(\rho+\delta_e)}$, $\Theta_2=\dfrac{\lambda_r}{(4-b_rb_e)^2(\rho+\delta_r)}$.

首先, 本文分析不同供应链结构对于电商和线下零售商竞争策略的影响. 下文推论 1 和推论 2 分别给出了分散式结构和收益共享结构对零售价格、促销努力和物流努力影响规律.

推论 1 相比于集中式结构, 分散式结构提高了线上渠道的零售价格、线下渠道的零售价格和促销努力, 并降低了线上渠道的促销努力和物流努力.

推论 1 表明, 分散式结构促使电商提高了线上零售价格. 此时, 电商将向物流供应商支付的物流价格转嫁给消费者. 考虑线上线下的渠道竞争, 针对电

表2 均衡结果

	集中式结构(c)	分散式结构(d)	收益共享结构(n)
电商价格(p_e)	$\dfrac{\Delta_1+2w}{\Lambda}$	$\dfrac{\Delta_1+2(h+w)}{\Lambda}$	$\dfrac{\bar\eta\Delta_1+2(h+w)}{\bar\eta\Lambda}$
线下零售商价格(p_r)	$\dfrac{\Delta_2+wb_e}{\Lambda}$	$\dfrac{\Delta_2+(h+w)b_e}{\Lambda}$	$\dfrac{\bar\eta\Delta_2+(h+w)b_e}{\bar\eta\Lambda}$
电商促销努力(s_e)	$\dfrac{\alpha_e\Theta_1[\Delta_1+w(2-\Lambda)]^2}{k_e}$	$\dfrac{\alpha_e\Theta_1[\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]^2}{k_e}$	$\dfrac{\alpha_e\Theta_1[\bar\eta\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]^2}{k_e\bar\eta}$
物流努力(s_l)	$\dfrac{\alpha_l\Theta_1[\Delta_1+w(2-\Lambda)]^2}{k_l}$	$\dfrac{h\Lambda\alpha_l\Theta_1[\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]}{k_l}$	$\dfrac{\alpha_l\Theta_1[\bar\eta(h\Lambda+\eta\Delta_1)+2\eta(h+w)][\bar\eta\Delta_1+(h+w)(2-\Lambda)]}{k_l\bar\eta^2}$
线下零售商促销努力(s_r)	$\dfrac{\alpha_r\Theta_2[\Delta_2+w(b_e-\Lambda)]^2}{k_r}$	$\dfrac{\alpha_r\Theta_2[\Delta_2+w(b_e-\Lambda)+hb_e]^2}{k_r}$	$\dfrac{\alpha_r\Theta_2[\bar\eta(\Delta_2-w\Lambda)+(h+w)b_e]^2}{k_r\bar\eta^2}$

商分散式结构下的价格提升策略, 线下零售商也相应地提高了零售价格.

由于线下零售价格的提升, 线下零售商在分散式结构下必须提高促销努力加以应对. 换言之, 分散式结构下线上零售价格的提高导致线下零售价格的提高, 而线下零售价格的提高又促使线下促销努力的提升.

推论 1 也表明, 分散式结构下物流供应商独立作出的物流努力低于集中式结构下系统最优努力, 这是由电商和物流供应商的双重边际效应造成的. 伴随着物流努力的下降, 电商也减小了促销努力. 可以认为, 分散式结构给线上渠道带来了不利影响.

推论 2 相比于分散式结构, 收益共享结构提高了线上渠道的零售价格和物流努力、线下渠道的零售价格和促销努力, 并降低了线上渠道的促销努力.

推论 2 表明, 收益共享结构使得电商进一步提升了零售价格. 原因在于, 此时电商不仅支付给物流供应商物流价格, 而且还要将收益进行共享. 考虑线上线下的渠道竞争, 线下零售商也追随电商提高了零售价格加以应对.

与此同时, 收益共享结构也使得线下零售商进一步提升了促销努力. 相反的是, 电商此时却降低了促销努力. 出现这一现象的原因在于, 线上渠道的物流努力在收益共享结构下被提升了. 物流努力的提升弥补了促销努力下降带来的不利影响.

在收益共享结构下, 电商通过向物流供应商共享收益的方法来引导物流供应商提高物流努力水平、改善供应链收益表现. 当电商将自身收益与物流供应商共享时, 物流努力的提升对于物流供应商是有利的, 从而, 收益共享结构下的物流努力得以提高.

接下来, 本文将通过横向比较电商与线下零售商价格和促销努力来揭示不同供应链结构的影响. 假设电商与线下零售商是同质的, 有推论 3. 此时, $\mu = 0.5$、$b_e = b_r$、$k_e = k_r$、$\alpha_e = \alpha_r$、$\lambda_e = \lambda_r$和$\delta_e = \delta_r$. 同质的电商与线下零售商拥有相同比例的市场份额和促销努力成本系数, 且它们的产品需求受商誉的边际影响是相同的, 受到竞争对手零售价格的边际影响也是相同的.

推论 3 当$\mu = 0.5$、$b_e = b_r$、$k_e = k_r$、$\alpha_e = \alpha_r$、$\lambda_e = \lambda_r$和$\delta_e = \delta_r$时, 分散式结构使得电商作出了比线下零售商更小的促销努力并制定了更高的零售价格, 收益共享结构强化了这种优势.

推论 3 表明, 当线上线下市场环境参数相同即电商与线下零售商同质时, 线下零售商在分散式结构下需要比电商作出更大的促销努力, 以对冲线上渠道的物流努力. 在收益共享结构下, 物流努力的提高迫使线下零售商必须进一步提高自身的促销努力, 而电商却可以最大程度地减小促销努力.

与此同时, 电商总是能够比线下零售商制定更高的零售价格. 这一点得益于线上渠道的物流努力, 物流努力对线上产品需求的正向提升使得电商可以提高零售价格, 这体现了物流努力的价值. 电商的收益共享行为提高了物流努力, 这使得电商可进一步提高零售价格. 可以说, 分散式决策和收益共享行为双双促使电商制定了更高的零售价格.

可以认为, 为了与线上渠道竞争, 线下零售商在分散式结构下采取了降低零售价格和提高促销努力的措施; 当电商与物流供应商共享收益时, 线下零售商不得不加强这些应对措施的使用.

接下来, 比较线上渠道电商的促销努力与物流供应商的物流努力. 必须指出, 电商促销努力往往是指电商在广告投放和折扣销售等方面采取措施, 而物流努力往往涉及配送质量和配送时间等方面, 将它们直接进行比较, 需要说明动机、目的以及比较的手段. 注意到, 分散式结构下促销努力和物流努力分别由电商和物流供应商作出, 而它们又是利益独立的经济体, 因此, 它们会将自身作出的努力与对方的努力进行比较, 这是能够理解的. 此外, 努力程度的比较也体现了双方对公平的关注. 同时, 两类努力之间也是可以比较的. 无论是作出促销努力还是物流努力, 均需要付出相应的努力成本, 这也与努力成本系数有关.

考虑$k_e = k_r$和$\alpha_e = \alpha_r$, 有推论 4. 此时, 电商与线下零售商的促销努力成本系数是相同的, 且它们的产品需求受商誉的边际影响是相同的.

推论 4 当$k_e = k_r$和$\alpha_e = \alpha_r$时, 一个充分大的市场规模总是能够促使电商在分散式结构下作出比物流努力更大的促销努力, 而超过五成的收益共享总是能够令物流努力高于电商促销努力.

推论 4 表明, 在分散式结构和收益共享结构下电商促销努力与物流供应商物流努力间展现出不同的大小关系. 在分散式结构下, 只要市场规模足够大, 电商总是乐于作出更大的促销努力. 电商的收益共享行为提升了物流供应商作出物流努力的积极性, 当电商愿意与物流供应商共享自己一半以上的收益时, 物流供应商的物流努力被显著提升, 同时电商促销努力也被降低. 因此, 物流供应商将会作出比促销努力更大的物流努力. 此外, 注意到, 促销努力成本系数与物流努力成本系数是相同的, 因此, 两类努力的比较可等价于两类努力成本的比较, 即电商作出

更大的促销努力时将比物流供应商付出更多的成本, 而物流供应商作出更大的物流努力时将比电商付出更多的成本.

接下来, 通过分析双渠道产品商誉和需求在不同供应链结构下的表现来揭示收益共享结构的价值和作用, 所得结果如推论 5 所示.

推论 5 线下产品商誉和需求在收益共享结构下达到最大, 在集中式结构下是最小的. 分散式结构下的线上产品商誉和需求被降低了, 而收益共享结构能够改善它们.

推论 5 表明, 分散式结构下线下产品商誉和需求高于集中式结构下的结果, 在收益共享结构下它们被进一步提升. 这一观察是反直观的, 原因说明如下: 电商与物流供应商共享自己的收益, 使得物流努力相对于分散式结构得到了提高, 进一步提升了线上渠道的物流优势, 而这更加凸显了没有物流努力的线下零售商的竞争劣势. 可以说, 收益共享结构使得线下零售商处于非常不利的地位.

为了应对竞争不利的局面, 线下零售商作出了 3 种结构下的最大促销努力, 而促销努力的增加提高了线下渠道的产品商誉. 与此同时, 线下零售商在收益共享结构下也采取了提高价格优势的措施. 具体而言, 尽管收益共享结构下线上线下零售价格均被提高了, 但是, 此时线上零售价格与线下零售价格的偏差是最大的, 线下零售价格显著低于线上零售价格. 因此, 综合促销努力对商誉的提升和价格竞争优势的加强, 收益共享结构下线下产品需求达到了最大.

对电商而言情况变得不同, 分散式结构降低了产品商誉和需求. 由于电商和物流供应商的双重边际效应, 分散式结构下的均衡策略偏离了集中式结构下的最优结果. 收益共享结构能够改善这一状况, 物流努力的增加提高了线上产品的商誉和需求. 收益共享系数决定了电商收益共享行为对产品商誉和需求的提升效果, 本文将在数值实验部分进一步探讨收益共享系数的影响.

下文将通过比较不同供应链结构下线上产品商誉与线下产品商誉来揭示物流努力的价值, 所得结果如推论 6 所示.

推论 6 当物流努力对线上产品商誉的贡献足够大时, 物流努力的存在使得线上产品商誉总是高于线下产品商誉, 这不依赖于供应链结构.

推论 6 表明, 物流努力有利于提升线上产品商誉. 在所有 3 类供应链结构下, 线下产品的商誉均不能达到线上产品的商誉, 线上产品总是有更好的口碑. 更好的商誉意味着更大的市场需求, 优惠的价格和便利的物流配送进一步加强了线上渠道的竞争优势. 这也解释了当前线上零售蓬勃发展、线下零售日益衰落的现象.

6 数值分析

本节利用数值实验研究不同供应链结构下双渠道的价格和努力策略, 分析线上线下渠道的供应链表现, 揭示物流价格和收益共享系数等对供应链决策和性能的影响. 在满足理论模型部分基本假设的基础上, 设置如下相关参数: $a = 100$、$\mu = 0.5$、$b_r = 0.5$、$b_e = 0.6$、$w = 10$、$h = 5$、$\eta = 0.4$、$k_e = 6$、$k_l = 2$、$k_r = 5$、$\alpha_e = 0.3$、$\alpha_l = 0.7$、$\alpha_r = 0.5$、$\delta_e = \delta_r = 1$、$\lambda_e = \lambda_r = 0.3$、$\rho = 0.5$.

商誉随时间的演化规律如图 2 所示, 图 3 和图 4 为收益共享系数对供应链成员和渠道利润值函数的影响. 图 5 为物流努力的商誉贡献系数对渠道利润值函数的影响.

图 2 表明, 不同供应链结构对于线上和线下产品商誉均产生了重要影响. 集中式结构使得线上产品商誉达到最大而分散式结构使其达到最小, 收益

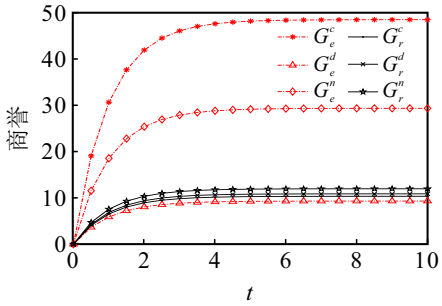

图2 商誉随时间的演化

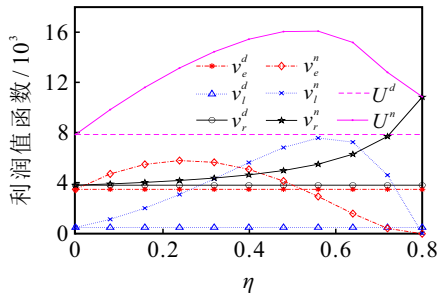

图3 收益共享系数对利润值函数的影响

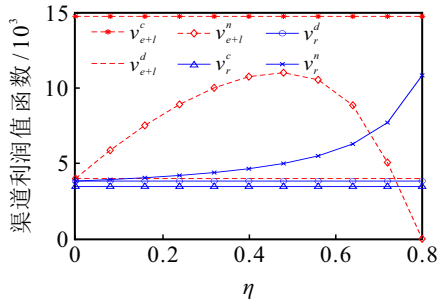

图4 收益共享系数对渠道利润值函数的影响

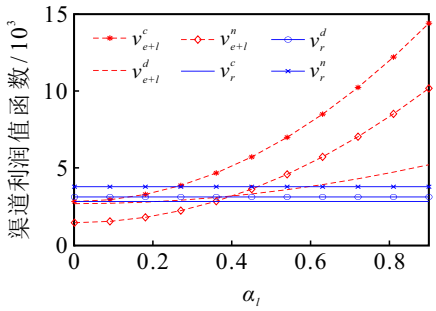

图5　物流贡献系数对渠道利润值函数的影响

共享结构使得线下产品商誉达到最大而集中式结构使其达到最小. 供应链结构也改变了线上线下产品商誉间的大小关系. 分散式结构使得线下产品商誉总是高于线上的, 而集中式结构和收益共享结构总是使得线上商誉高于线下的.

图 3 表明, 收益共享系数对电商、物流供应商、线下零售商和社会利润值函数产生了复杂的影响. 在图 3 中, 社会利润是电商利润、物流供应商利润和线下零售商利润三者之和. 收益共享系数的增加使得线下零售商的利润逐渐提高, 而电商、物流供应商和社会利润先增后降. 这表明收益共享结构总是受到线下零售商的欢迎, 共享比例越大, 线下零售商越有利. 然而, 过大比例的收益共享将会对电商、物流供应商和社会利润造成不利影响. 收益共享系数的增大首先伤害的是电商的利润, 紧随其后的是物流供应商的利润和社会利润. 过大比例的收益共享将使得电商利润低于分散式结构, 此时, 电商应拒绝收益共享结构.

图 4 给出了收益共享结构对线上线下渠道利润值函数的影响规律. 在图 4 中, 线上渠道利润为电商与物流供应商利润之和, 线下渠道利润即为线下零售商的利润. 可以看到, 收益共享结构并不总是能够提高线上渠道利润, 当收益共享系数较大时, 电商的收益共享行为将降低渠道利润, 甚至使其低于线下渠道利润. 集中式结构总是使得线上渠道实现最大利润而线下渠道实现最小利润. 可以说, 线上渠道总是欢迎集中式结构, 而其是否欢迎收益共享结构依赖于收益共享系数; 线下零售商总是欢迎收益共享结构而厌恶集中式结构.

图 5 表明, 随着物流努力对线上产品商誉贡献系数的增加, 线上渠道的利润值函数逐渐增大. 当物流努力的贡献系数较小时, 线上渠道的利润将低于线下渠道. 此时, 物流努力拖累了线上渠道, 相对于电商促销努力对商誉的贡献, 物流努力是得不偿失的. 当物流努力贡献系数较大时, 物流努力明显地给线上渠道带来了竞争优势. 充分大的物流贡献系数使得线上渠道的利润总是高于线下渠道, 这将不依赖于供应链结构. 综上, 物流努力对线上渠道并不总是有利的, 这依赖于物流努力对线上产品商誉的贡献系数.

7　结　论

线上渠道与线下渠道围绕产品价格和促销努力展开了激烈竞争, 物流努力在其中体现出举足轻重的作用. 在线上渠道, 电商和物流供应商可组成多种供应链结构, 包括集中式结构、分散式结构和收益共享结构. 在动态环境下, 线上渠道和线下渠道通过优化促销努力和物流努力等提升自身的产品商誉来提升渠道竞争力. 本文在 3 类供应链结构下构建了双渠道竞争的微分博弈模型, 获得了零售价格、促销努力和物流努力的均衡策略, 并给出了结果分析和管理启示.

研究发现: 与集中式结构相比, 分散式结构同时提高了线上和线下零售价格, 并降低了物流努力; 与分散式结构相比, 收益共享结构同时提高了线上、线下零售价格和物流努力. 集中式结构使得电商促销努力达到最大而线下零售商促销努力达到最小, 收益共享结构刚好与之相反. 与线下零售商相比, 电商在分散式结构下制定了更高的零售价格并作出了更小的促销努力. 充分大比例的收益共享总是能够令物流努力高于电商促销努力. 数值实验表明: 线下零售商总是欢迎线上渠道的收益共享结构而厌恶集中式结构; 线上渠道总是欢迎集中式结构, 而其是否欢迎收益共享结构依赖于收益共享系数. 物流努力对线上渠道并不总是有利的, 这依赖于物流努力对线上产品商誉的贡献系数. 本文假设物流价格是外生的, 下一步研究可考虑内生的物流价格. 此外, 其他类型的物流契约可被引入以协调供应链.

参考文献 (References)

[1] Luo J F, Rong Y, Zheng H. Impacts of logistics information on sales: Evidence from Alibaba[J]. Naval Research Logistics, 2020, 67(8): 646-669.

[2] Qin X L, Liu Z X, Tian L. The optimal combination between selling mode and logistics service strategy in an e-commerce market[J]. European Journal of Operational Research, 2021, 289(2): 639-651.

[3] Zhang D J, Dai H C, Dong L X, et al. The long-term and spillover effects of price promotions on retailing platforms: Evidence from a large randomized experiment on alibaba[J]. Management Science, 2020, 66(6): 2589-2609.

[4] Seyyed-Mahdi H M, Maryam J, Parvin P. Coordinating pricing, warranty replacement and sales service decisions in a competitive dual-channel retailing

system[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 163: 107862.

[5] Ma B J, Zhang Y, Liu S, et al. Operational strategies for IoT-enabled brick-and-mortar retailers in a competitive market[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 173: 108665.

[6] Pu X J, Zhang S M, Ji B W, et al. Online channel strategies under different offline channel power structures[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2021, 60: 102479.

[7] Wang X, Wang X Y, Yu B Q, et al. A comparative study of entry mode options for e-commerce platforms and suppliers[J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2019, 37: 100888.

[8] Li L, Li G. Integrating logistics service or not? The role of platform entry strategy in an online marketplace[J]. Transportation Research — Part E: Logistics and Transportation Review, 2023, 170: 102991.

[9] He P, He Y, Tang X Y, et al. Channel encroachment and logistics integration strategies in an e-commerce platform service supply chain[J]. International Journal of Production Economics, 2022, 244: 108368.

[10] Zhang C, Ma H M. Introduction of the marketplace channel under logistics service sharing in an e-commerce platform[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 163: 107724.

[11] Hu Y H, Qu S N, Li G, et al. Power structure and channel integration strategy for online retailers[J]. European Journal of Operational Research, 2021, 294(3): 951-964.

[12] Qin X L, Liu Z X, Tian L. The strategic analysis of logistics service sharing in an e-commerce platform[J]. Omega, 2020, 92: 102153.

[13] Nerlove M, Arrow K J. Optimal advertising policy under dynamic conditions[J]. Economica, 1962, 29(114): 129-142.

[14] 张庶萍, 张世英. 基于微分对策的供应链合作广告决策研究[J]. 控制与决策, 2006, 21(2): 153-157.
(Zhang S P, Zhang S Y. Dynamic cooperative advertising strategies based on differential games in a supply chain[J]. Control and Decision, 2006, 21(2): 153-157.)

[15] Zhang J X, Lei L Y, Zhang S C, et al. Dynamic vs. static pricing in a supply chain with advertising[J]. Computers & Industrial Engineering, 2017, 109: 266-279.

[16] 贡文伟, 沈静静, 陈敬贤. 风险偏好下双渠道绿色产品供应链动态策略[J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(4): 1399-1414.
(Gong W W, Shen J J, Chen J X. Dynamic strategy of dual-channel green product supply chain considering risk preference[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2023, 29(4): 1399-1414.)

[17] Liu Y H, Ma D Q, Hu J S, et al. Sales mode selection of fresh food supply chain based on blockchain technology under different channel competition[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 162: 107730.

[18] 王道平, 李小燕. 零售商竞争下考虑产品商誉的纵向联合促销微分博弈[J]. 控制与决策, 2017, 32(12): 2210-2218.
(Wang D P, Li X Y. Differential game on vertical joint promotion considering goodwill and retailers' competition[J]. Control and Decision, 2017, 32(12): 2210-2218.)

[19] 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.)

[20] 王威昊, 胡劲松. 线上结合线下的供应链动态服务与定价决策研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30(12): 84-91.
(Wang W H, Hu J S. Study of dynamic pricing and service decision in supply chain integrating online and offline channel[J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(12): 84-91.)

[21] 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.)

[22] Gong C R, Song H M, Chen D Q, et al. Logistics sourcing of e-commerce firms considering promised delivery time and environmental sustainability[J]. European Journal of Operational Research, 2024, 317(1): 60-75.

[23] 王文隆, 何竹云, 张涑贤. 动态视角下生鲜品双渠道供应链保鲜努力与促销努力联合决策研究[J]. 中国管理科学, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.2070.
(Wang W L, He Z Y, Zhang S X. Joint decision of freshness-keeping effort and promotion effort in a dual-channel fresh produce supply chain from a dynamic perspective[J]. Chinese Journal of Management Science, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.2070.)

[24] El O F. Supply quality management with optimal wholesale price and revenue sharing contracts: A two-stage game approach[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 156: 260-268.

作者简介

徒君 (1982−), 男, 副教授, 博士生导师, 主要研究方向为供应链机制设计、数字经济, E-mail: tovegar@126.com;

朱淼雨 (2000−), 女, 硕士生, 主要研究方向为微分博弈, E-mail: 19824869679@163.com;

黄敏 (1968−), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为物流与供应链管理、制造与服务系统建模与优化, E-mail: mhuang@mail.neu.edu.cn.