

考虑渠道竞争和数字化技术投入的供应链定价研究

黄 越

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年2月20日; 录用日期: 2025年2月28日; 发布日期: 2025年3月26日

摘 要

许多制造商不仅通过传统的零售渠道销售产品, 还建立直达消费者的直销渠道, 在此背景下, 基于 Stackelberg 博弈理论, 建立了由制造商主导的多渠道供应链决策模型, 并将数字化技术投入纳入到该模型中, 在分散和集中决策情形下研究了渠道竞争程度与数字化技术投入对产品定价与利润的影响。研究表明: (1) 制造商给线下零售商的批发价格与渠道竞争程度呈负相关; 当数字化技术投入成本系数较低时, 制造商给线上零售商的批发价格与渠道竞争程度呈负相关; 当数字化技术投入成本系数较高时, 制造商给线上零售商的批发价格与渠道竞争程度呈正相关。(2) 当数字化技术投入成本系数较低或较高时, 零售价格都与渠道竞争程度呈负相关; 当数字化技术投入成本系数适中时, 零售价格与渠道竞争程度呈正相关; 直销价格与渠道竞争程度呈负相关。(3) 批发价格、零售价格和直销价格与数字化技术投入成本系数都呈负相关, 与数字化技术对产品需求量的影响系数都呈正相关。(4) 在分散决策下, 制造商的利润最高, 线下零售商的利润次之, 线上零售商的利润最低; 集中决策下供应链的整体利润要高于分散决策。

关键词

渠道竞争, 数字化技术投入, 供应链定价决策, Stackelberg 博弈

Research on Supply Chain Pricing Considering Channel Competition and Investment in Digital Technologies

Yue Huang

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Feb. 20th, 2025; accepted: Feb. 28th, 2025; published: Mar. 26th, 2025

Abstract

Many manufacturers not only sell their products through traditional retail channels, but also establish direct sales channels to consumers. In this context, based on Stackelberg game theory, a multi-channel supply chain decision model led by manufacturers has been established, and digital technology investment has been incorporated into the model. The study examines the impact of channel competition and digital technology investment on product pricing and profits under decentralized and centralized decision-making scenarios. The results show that: (1) The wholesale price offered by the manufacturer to offline retailers is always negatively correlated with the degree of channel competition. When the cost coefficient of digital technology investment is low, the wholesale price offered to online retailers is negatively correlated with the degree of channel competition; when the cost coefficient of digital technology investment is high, the wholesale price to online retailers is positively correlated with the degree of channel competition. (2) When the cost coefficient of digital technology investment is either low or high, both offline and online retail prices are negatively correlated with the degree of channel competition. When the cost coefficient is moderate, both retail prices are positively correlated with channel competition. The direct sales price is always negatively correlated with the degree of channel competition. (3) The manufacturer's wholesale price, retail price, and direct sales price are always negatively correlated with the cost coefficient of digital technology investment. They are always positively correlated with the coefficient representing the impact of digital technology on product demand. (4) Under decentralized decision-making, the profits of online retailers are always lower than those of offline retailers, and the profits of offline retailers are always lower than those of the manufacturer. Under centralized decision-making, the overall profit of the supply chain is higher than that under decentralized decision-making.

Keywords

Channel Competition, Digital Technology Investment, Supply Chain Pricing Decisions, 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

电子商务的迅猛崛起为制造商开辟了广阔的增长空间与机遇，并深刻影响了消费者的购物习惯，使得网络购物逐渐成为消费者的新宠。依据第 52 版《中国互联网络发展状况统计报告》显示，至 2023 年 6 月，中国网络购物用户群体已扩大至 10.79 亿，相比 2022 年 12 月增长了 1109 万新用户，互联网普及率攀升至 76.4% [1]。随着消费者对线上直销渠道的接纳度日益提高，制造商在依赖零售商分销的同时，也开始建立自己的线上直销渠道，在市场需求中与零售商形成竞争态势，以期提升盈利水平[2]。在服装与时尚领域，Nike、Adidas、Coach 及 Estee Lauder 等品牌通过建立直销渠道，与原有的零售渠道展开竞争。

然而，制造商渠道的纵向延伸将显著挤占零售商的市场空间，从而加剧渠道之间的竞争。为了应对渠道挤压效应，许多实体零售商搭便车使用制造商的数字化技术来吸引消费者。以运动服饰行业为例，部分领先企业部署智能试衣系统及云端陈列设备，有效提升顾客驻店时长；美妆领域则涌现出虚拟试妆设备及智能导购平台等数字创新手段，通过构建沉浸式消费场景正向影响顾客购买意愿。这种技术赋能不仅改变了传统零售终端的服务模式，更通过需求创造机制重塑了消费行为模式[3]。为此，将渠道竞争

和数字化技术投入纳入到供应链运作中其理论价值与实践意义尤为凸显。

关于渠道竞争的研究, Swaminatha 等[4]指出, 线上直销渠道正对传统零售渠道构成日益显著的挑战, 促使制造商的销售模式发生了根本性的变革。Chian 等[5]的研究成果揭示, 当消费者对直销渠道的偏好程度超越某一临界值时, 直销渠道的引入并不会对零售商的利益构成负面影响。

关于数字化技术投入, 当前的研究聚焦于对消费者的影响。Roy 等[6]指出数字化技术通过提供高度个性化和卓越的零售服务, 能够优化顾客的购物体验, 并发现智能零售技术的应用能直接提升顾客满意度, 进而增强其对零售商的忠诚度。

虽然已有很多学者分别对渠道竞争和数字化技术的投入进行了研究, 但是少有学者将渠道竞争和数字化技术的投入结合起来, 基于此, 本文聚焦于供应链运作中的渠道竞争与数字化技术投入问题, 采用 Stackelberg 博弈理论构建决策模型, 分析渠道竞争和数字化技术投入的供应链定价研究问题。

2. 问题描述与模型假设

考虑一个由制造商、线下零售商及线上零售商构成的多渠道供应链系统, 零售商从制造商处批发产品, 并通过各自的线下门店与在线平台销售, 制造商开辟直销渠道销售产品。随着电子商务的发展, 制造商可以选择投入数字化技术来生产或销售产品, 线下零售商也可以借助制造商的数字化技术来销售产品。本文将对数字化技术投入下制造商与零售商存在渠道竞争的最优定价决策问题进行研究。制造商投入数字化技术后的供应链结构见图 1。

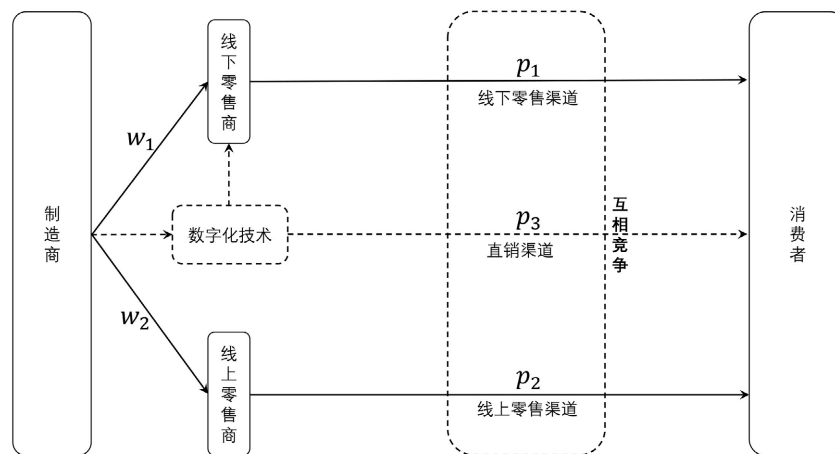


Figure 1. Diagram of supply chain structure after manufacturer's investment in digital technology
图 1. 制造商投入数字化技术后的供应链结构图

本文的假设如下。

假设 1. 制造商只生产一种产品, 且为了简化模型, 将单位产品生产成本设置为 0。

假设 2. 市场中产品的潜在数量为 1。

假设 3. 数字化投入成本是关于制造商投入数字化技术所付出努力的凸函数, 即 $0.5hv^2$ 。同时, 制造商在投入数字化技术后, 给直销渠道和线下零售渠道所带来的需求增量为 μv 。

假设 4. 制造商投入数字化技术后, 线下零售渠道、线上零售渠道和直销渠道的产品需求量分别为:

$$D_1 = 1 - p_1 + \delta \left(\frac{p_1 + p_2 + p_3}{3} - p_1 \right) + \mu v, \quad D_2 = 1 - p_2 + \delta \left(\frac{p_1 + p_2 + p_3}{3} - p_2 \right)$$

和 $D_3 = 1 - p_3 + \delta \left(\frac{p_1 + p_2 + p_3}{3} - p_3 \right) + \mu v$ 。该需求函数也得到其他学者的采纳, 例如 Chen 等[7]。

假设 5. 对于制造商而言，数字化技术投入是一项长期且不易调整的决策，需要在前期阶段就进行布局，这包括生产工艺的革新、门店的数字化转型升级以及店内数字化设施的改进等。相比之下，定价策略往往具有短期效应，且易于根据市场变化进行灵活调整。因此假设制造商在定价决策之前优先进行数字化技术投入是合理的，这一假设在相关文献中也有类似的体现[8]。

假设 6. 由于数字化技术的投入成本较高，同时借鉴任等[9]相关文献的研究思路，设置数字化技术投入成本系数 h 的取值范围为 $0 \leq h \leq 1$ 。

文中主要符号及含义见表 1。

Table 1. Key symbols and their meanings in the model

表 1. 模型主要符号及含义

符号	含义
δ	渠道竞争程度， $0 < \delta < 1$
w_1	线下零售商所获得产品的批发价格
w_2	线上零售商所获得产品的批发价格
h	数字化技术投入成本系数， $0 \leq h \leq 1$
μ	数字化技术对产品需求量的影响系数， $0 < \mu < 1$
v	数字化技术投入水平
p_1	线下零售价格
p_2	线上零售价格
p_3	直销价格
D_1	线下零售渠道需求量
D_2	线上零售渠道需求量
D_3	直销渠道需求量
Π_1	线下零售商利润
Π_2	线上零售商利润
Π_3	制造商利润
Π_s	供应链整体利润
上标 D	分散决策
上标 C	集中决策
上标*	最优解

3. 模型建立及求解

3.1. 分散决策

该博弈为三阶段博弈：首先制造商确定其数字化技术投入水平；随后制造商制定直销价格，同时设定产品的批发价格；最后，线下零售商与线上零售商确定零售价格。

此时线下零售商、线上零售商和制造商的利润分别为：

$$\Pi_1^D = (p_1^D - w_1^D) D_1 \tag{1}$$

$$\Pi_2^D = (p_2^D - w_2^D) D_2 \tag{2}$$

$$\Pi_3^D = p_3^D D_3 + w_1^D D_1 + w_2^D D_2 - \frac{1}{2} h v^2 \quad (3)$$

采用逆推法求解, 式(1)和式(2)分别对 p_1^D 和 p_2^D 求一阶偏导, 得:

$$p_1^D = \frac{3[6+6v\mu+\delta(5+4v\mu)]+\delta(6+5\delta)p_3^D+(3+2\delta)[(6+4\delta)w_1^D+\delta w_2^D]}{3(2+\delta)(6+5\delta)} \quad (4)$$

$$p_2^D = \frac{3(6+5\delta+v\delta\mu)+\delta(6+5\delta)p_3^D+\delta(3+2\delta)w_1^D+2(3+2\delta)^2 w_2^D}{3(2+\delta)(6+5\delta)} \quad (5)$$

将式(4)和式(5)代入式(3)可求得 π_3^{YD} 的 Hessian 矩阵为:

$$H = \begin{bmatrix} -\frac{2(18+21\delta+4\delta^2)}{9(2+\delta)} & \frac{2\delta(3+2\delta)}{9(2+\delta)} & \frac{2\delta(3+2\delta)}{9(2+\delta)} \\ \frac{2\delta(3+2\delta)}{9(2+\delta)} & -\frac{2(18+21\delta+4\delta^2)}{9(2+\delta)} & \frac{2\delta(3+2\delta)^2}{9(2+\delta)(6+5\delta)} \\ \frac{2\delta(3+2\delta)}{9(2+\delta)} & \frac{2\delta(3+2\delta)^2}{9(2+\delta)(6+5\delta)} & -\frac{2(18+21\delta+4\delta^2)}{9(2+\delta)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其一阶、二阶和三阶顺序主子式分别为:

$$|H_1| = -\frac{2(18+21\delta+4\delta^2)}{9(2+\delta)} < 0 \quad (7)$$

$$|H_2| = \frac{8(1+\delta)(3+2\delta)(9+\delta(9+\delta))}{9(2+\delta)(6+5\delta)} > 0 \quad (8)$$

$$|H_3| = -\frac{8(1+\delta)^2(3+2\delta)^2}{3(2+\delta)(6+5\delta)} < 0 \quad (9)$$

此时 Hessian 矩阵为负定矩阵, 制造商的利润函数 Π_3^D 是关于 p_3^D 、 w_1^D 和 w_2^D 的联合严格凹函数, 此时可以得出:

$$p_3^D = \frac{3+3\delta+3v\mu+2\delta\mu v}{6+6\delta} \quad (10)$$

$$w_1^D = \frac{3+3\delta+3v\mu+2\delta\mu v}{6+6\delta} \quad (11)$$

$$w_2^D = \frac{3+3\delta+2v\delta\mu}{6+6\delta} \quad (12)$$

将式(10)~(12)代入式(3), 并对 v 求一阶偏导, 可得:

$$v^{D*} = \frac{3(1+\delta)(3+2\delta)(6+5\delta)\mu}{6h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)-2(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2} \quad (13)$$

将式(13)代入式(10)~(12)可以求出直销价格和批发价格的最优解, 即:

$$p_3^{D*} = \frac{6h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+\delta(3+2\delta)\mu^2}{12h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)-4(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2} \quad (14)$$

$$w_1^{D^*} = \frac{6h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+\delta(3+2\delta)\mu^2}{12h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)-4(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2} \quad (15)$$

$$w_2^{D^*} = \frac{3h(1+\delta)(2+\delta)(6+5\delta)-(3+2\delta)(9+7\delta)\mu^2}{6h(1+\delta)(2+\delta)(6+5\delta)-2(3+2\delta)[9+\delta(13+5\delta)]\mu^2} \quad (16)$$

将式(13)~(16)代入式(4)和式(5)，可以得到线下零售价格和线上零售价格的最优解，即：

$$p_1^{D^*} = \frac{6h(1+\delta)(3+\delta)(6+5\delta)+3\delta(3+2\delta)\mu^2}{12h(1+\delta)(2+\delta)(6+5\delta)-4(3+2\delta)[9+\delta(13+5\delta)]\mu^2} \quad (17)$$

$$p_2^{D^*} = \frac{6h(1+\delta)(3+\delta)(6+5\delta)-3(3+2\delta)(9+7\delta)\mu^2}{12h(1+\delta)(2+\delta)(6+5\delta)-4(3+2\delta)[9+\delta(13+5\delta)]\mu^2} \quad (18)$$

由式(13)~(18)可以求得线下零售商、线上零售商和制造商的最优利润，即：

$$\Pi_1^{D^*} = \frac{(3+2\delta)(3h(1+\delta)(6+5\delta)+\delta(3+2\delta)\mu^2)^2}{12\{-3h(1+\delta)(2+\delta)(6+5\delta)+(3+2\delta)[9+\delta(13+5\delta)]\mu^2\}^2} \quad (19)$$

$$\Pi_2^{D^*} = \frac{(3+2\delta)[-6h(1+\delta)(6+5\delta)+(3+2\delta)(9+7\delta)\mu^2]^2}{48\{-3h(1+\delta)(2+\delta)(6+5\delta)+(3+2\delta)[9+\delta(13+5\delta)]\mu^2\}^2} \quad (20)$$

$$\Pi_3^{D^*} = \frac{6h(1+\delta)(4+3\delta)(6+5\delta)-(3+2\delta)(9+7\delta)\mu^2}{24h(1+\delta)(2+\delta)(6+5\delta)-8(3+2\delta)[9+\delta(13+5\delta)]\mu^2} \quad (21)$$

3.2. 集中决策

以供应链利润最大化为目标，制造商首先决定数字化技术投入水平，随后制造商、线下零售商和线上零售商采取合作模式，共同决策线下零售价格 p_1^C 、线上零售价格 p_2^C 和直销价格 p_3^C 。记 Π_s^C 为制造商开辟直销渠道情形下供应链的利润，有：

$$\Pi_s^C = p_1^C D_1 + p_2^C D_2 + p_3^C D_3 - \frac{1}{2} h v^2 \quad (22)$$

此时，可以求得 Π_s^C 的 Hessian 矩阵为：

$$H = \begin{bmatrix} -2-\frac{4\delta}{3} & \frac{2\delta}{3} & \frac{2\delta}{3} \\ \frac{2\delta}{3} & -2-\frac{4\delta}{3} & \frac{2\delta}{3} \\ \frac{2\delta}{3} & \frac{2\delta}{3} & -2-\frac{4\delta}{3} \end{bmatrix} \quad (23)$$

其一阶、二阶、三阶顺序主子式分别为：

$$|H_1| = -2 - \frac{4\delta}{3} < 0 \quad (24)$$

$$|H_2| = \frac{4}{3}(3+4\delta+\delta^2) > 0 \quad (25)$$

$$|H_3| = -8+24\delta^2+16\delta^3 = -8(1+\delta)^2 < 0 \quad (26)$$

此时 Hessian 矩阵为负定矩阵, 供应链整体利润 Π_s^C 是关于 p_1^C 、 p_2^C 和 p_3^C 的联合严格凹函数, 此时可以得出:

$$p_1^C = \frac{3+3\delta+3v\mu+2\delta\mu v}{6+6\delta} \quad (27)$$

$$p_2^C = \frac{3+3\delta+2\delta\mu v}{6+6\delta} \quad (28)$$

$$p_3^C = \frac{3+3\delta+3v\mu+2\delta\mu v}{6+6\delta} \quad (29)$$

将式(27)~(29)代入式(22), 并对 v 求一阶偏导, 可得:

$$v^{C^*} = -\frac{3(1+\delta)\mu}{-3h(1+\delta)+(3+2\delta)\mu^2} \quad (30)$$

将式(30)代入式(27)~(29)可以得到线下零售价格、线上零售价格和直销价格的最优解, 即:

$$p_1^{C^*} = \frac{3h(1+\delta)}{6h(1+\delta)-2(3+2\delta)\mu^2} \quad (31)$$

$$p_2^{C^*} = \frac{3(h+h\delta-\mu^2)}{6h(1+\delta)-2(3+2\delta)\mu^2} \quad (32)$$

$$p_3^{C^*} = \frac{3h(1+\delta)}{6h(1+\delta)-2(3+2\delta)\mu^2} \quad (33)$$

将式(30)~(33)代回式(22), 可以求出供应链整体利润 Π_s^C 的最优利润, 即:

$$\Pi_s^{C^*} = \frac{9h(1+\delta)-3\mu^2}{12h(1+\delta)-4(3+2\delta)\mu^2} \quad (34)$$

4. 模型分析

4.1. 渠道竞争程度对定价的影响

命题 1. 在分散决策下, 最优批发价格与渠道竞争程度存在以下关系:

$$(1) \frac{\partial w_1^{D^*}}{\partial \delta} < 0;$$

$$(2) \text{ 当 } 0 < h < h_1 \text{ 时, } \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial \delta} < 0; \text{ 当 } h_1 < h < 1 \text{ 时, } \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial \delta} > 0。$$

$$\text{其中, } h_1 = \frac{(3+2\delta)^2(54+90\delta+35\delta^2)\mu^2}{3(6+5\delta)^2(6+8\delta+3\delta^2)}。$$

证明:

$$(1) \frac{\partial w_1^{D^*}}{\partial \delta} = -\frac{(3+2\delta)\mu^2[3h(6+5\delta)^2+(27+18\delta-15\delta^2-10\delta^3)\mu^2]}{4[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} < 0。$$

$$(2) \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial \delta} = \frac{3h(6+5\delta)^2(6+8\delta+3\delta^2)\mu^2-(3+2\delta)^2(54+90\delta+35\delta^2)\mu^4}{2[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2},$$

$$\text{当 } 0 < h < \frac{(3+2\delta)^2(54+90\delta+35\delta^2)\mu^2}{3(6+5\delta)^2(6+8\delta+3\delta^2)} \text{ 时, } \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial \delta} < 0;$$

$$\text{当 } \frac{(3+2\delta)^2(54+90\delta+35\delta^2)\mu^2}{3(6+5\delta)^2(6+8\delta+3\delta^2)} < h < 1 \text{ 时, } \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial \delta} > 0。$$

命题 1 表明, 制造商给线下零售商的批发价格与渠道竞争程度始终呈负相关; 当数字化技术投入成本系数较低($h < h_2$)时, 制造商给线上零售商的批发价格与渠道竞争程度呈负相关; 当数字化技术投入成本系数较高($h > h_2$)时, 制造商给线上零售商的批发价格与渠道竞争程度呈正相关。这说明线下零售商依托制造商技术溢出效应实现销售规模扩张, 促使制造商采取激励性定价策略; 当数字化技术投入成本较低时, 制造商的投入能带来显著的市场需求增长, 线上零售商间接从中受益, 为保持竞争力和增长利润, 制造商会适度降低线上零售商的采购成本以提升渠道销量; 当数字化技术投入成本较高时, 通过提高线上渠道的价格实现成本分担, 同时维持传统线下渠道的优惠供货价格, 以此保障传统分销体系的竞争优势。

命题 2. 在分散决策下, 最优零售价格和最优直销价格与渠道竞争程度存在以下关系:

- (1) 当 $h_2 < h < h_3$ 时, $\frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial \delta} > 0$, 当 $0 < h < h_2$ 或 $h_3 < h < 1$ 时, $\frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial \delta} < 0$;
- (2) 当 $h_4 < h < h_5$ 时, $\frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial \delta} > 0$, 当 $0 < h < h_4$ 或 $h_5 < h < 1$ 时, $\frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial \delta} < 0$;
- (3) $\frac{\partial p_3^{D^*}}{\partial \delta} < 0$ 。

其中,

$$h_{2,3} = \frac{1}{12} \left[\frac{(54+288\delta+483\delta^2+330\delta^3+80\delta^4)\mu^2}{(6+11\delta+5\delta^2)^2} \right. \\ \left. \mp \sqrt{\frac{(3+2\delta)^2(-7452-25488\delta-23940\delta^2+11160\delta^3+34065\delta^4+21600\delta^5+4600\delta^6)\mu^4}{(6+11\delta+5\delta^2)^4}} \right] \\ h_{4,5} = \frac{1}{6} \left[\frac{(405+1269\delta+1500\delta^2+795\delta^3+160\delta^4)\mu^2}{(6+11\delta+5\delta^2)^2} \right. \\ \left. \mp \sqrt{\frac{59049+328050\delta+794853\delta^2+1102410\delta^3+964584\delta^4+551160\delta^5+203535\delta^6+45000\delta^7+4600\delta^8}{(6+11\delta+5\delta^2)^4}} \mu^4 \right]$$

证明:

$$(1) \quad \frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial \delta} = \frac{3 \left[-6h^2(6+11\delta+5\delta^2)^2 + h(54+288\delta+483\delta^2+330\delta^3+80\delta^4)\mu^2 + (3+2\delta)^2(-9+5\delta^2)\mu^4 \right]}{4 \left[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3) + (27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2 \right]^2},$$

$$\text{当 } h_2 < h < h_3 \text{ 时, } \frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial \delta} > 0; \text{ 当 } 0 < h < h_2 \text{ 或 } h_3 < h < 1 \text{ 时, } \frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial \delta} < 0。$$

$$(2) \quad \frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial \delta} = \frac{3 \left[-2h(405+1269\delta+1500\delta^2+795\delta^3+160\delta^4)\mu^2 \right. \\ \left. 6h^2(6+11\delta+5\delta^2)^2 + (3+2\delta)^2(54+90\delta+35\delta^2)\mu^4 \right]}{-4 \left[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3) + (27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2 \right]^2},$$

$$\text{当 } h_4 < h < h_5 \text{ 时, } \frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial \delta} > 0; \text{ 当 } 0 < h < h_4 \text{ 或 } h_5 < h < 1 \text{ 时, } \frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial \delta} < 0。$$

$$(3) \frac{\partial p_3^{D^*}}{\partial \delta} = -\frac{(3+2\delta)\mu^2[3h(6+5\delta)^2 + (27+18\delta-15\delta^2-10\delta^3)\mu^2]}{4[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3) + (27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} < 0。$$

命题 2 表明, 当数字化技术投入成本系数较低($h < h_2$ 或 $h < h_4$)或较高($h > h_3$ 或 $h > h_5$)时, 线下和线上零售价格都与渠道竞争程度呈负相关; 当数字化技术投入成本系数适中($h_2 < h < h_3$ 或 $h_4 < h < h_5$)时, 线下和线上零售价格都与渠道竞争程度呈正相关; 直销价格始终与渠道竞争程度呈负相关。这说明当数字化技术投入成本较低时, 制造商的技术投入具有较高的边际收益, 能够显著扩大市场的需求, 随着渠道竞争程度的加强, 线下和线上零售商都会通过降低零售价格来争夺市场份额, 而当数字化技术投入成本较高时, 制造商的技术投入具有较高的边际成本, 制造商的投入意愿下降, 市场需求增长有限, 随着渠道竞争程度的加强, 为争夺有限的市场份额, 零售商更倾向于采取降价竞争策略; 当数字化技术投入成本适中时, 制造商投入的数字化技术既能有效扩大市场需求, 又能显著增强渠道间的竞争强度, 而市场需求的扩张为零售商提供了溢价空间, 零售商可以通过提高价格获取更高利润; 在渠道竞争程度加强时, 制造商为了保持直销渠道的竞争力, 会选择降低直销价格, 从而使直销价格与渠道竞争程度呈负相关。

4.2. 数字化技术投入对定价的影响

命题 3. 在分散决策下, 最优批发价格与数字化技术投入成本系数存在以下关系:

$$\frac{\partial w_1^{D^*}}{\partial h} < 0; \quad \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial h} < 0。$$

证明:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w_1^{D^*}}{\partial h} &= -\frac{3(3+2\delta)^2(6+5\delta)^2(2+3\delta+\delta^2)\mu^2}{4[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3) + (27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} < 0; \\ \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial h} &= -\frac{3\delta(1+\delta)(2+\delta)(3+2\delta)(6+5\delta)^2\mu^2}{2[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3) + (27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} < 0。 \end{aligned}$$

命题 3 表明, 制造商的批发价格始终与数字化技术投入成本系数呈负相关。这说明当数字化技术投入成本较低时, 制造商可以通过提高批发价格来获得更多的利润; 而当数字化技术投入成本较高时, 制造商可以通过降低批发价格, 推动更高的销量, 以此来增加总市场需求, 来分摊高昂的技术成本, 同时保持线下和线上零售商的竞争力。

命题 4. 在分散决策下, 最优批发价格与数字化技术对产品需求量的影响系数存在以下关系:

$$\frac{\partial w_1^{D^*}}{\partial \mu} > 0; \quad \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial \mu} > 0。$$

证明:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w_1^{D^*}}{\partial \mu} &= \frac{3h(2+3\delta+\delta^2)(18+27\delta+10\delta^2)^2\mu}{2[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3) + (27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} > 0; \\ \frac{\partial w_2^{D^*}}{\partial \mu} &= \frac{3h\delta(3+2\delta)(6+5\delta)^2(2+3\delta+\delta^2)\mu}{[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3) + (27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} > 0。 \end{aligned}$$

命题 4 表明, 制造商的批发价格始终与数字化技术对产品需求量的影响系数呈正相关。这说明制造商的数字化技术显著提升了线下零售商的利益, 驱动其销售规模的增长, 此时制造商会对线下零售渠道

实施差异化定价策略, 通过提高批发价格优化实现收益最优化; 线上零售商同样也受益于数字化技术的投入, 间接增加了产品的需求量, 制造商会提高给线上零售商的批发价格, 确保线上零售商在市场竞争中具有相对优势, 同时制造商也能从中获得更高的利润。

命题 5. 在分散决策下, 最优零售价格和最优直销价格与数字化技术投入成本系数存在以下关系:

$$\frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial h} < 0; \quad \frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial h} < 0; \quad \frac{\partial p_3^{D^*}}{\partial h} < 0。$$

证明:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial h} &= -\frac{3(1+\delta)(3+2\delta)^2(6+5\delta)(18+22\delta+5\delta^2)\mu^2}{4[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} < 0; \\ \frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial h} &= -\frac{3\delta(1+\delta)(6+5\delta)(81+159\delta+100\delta^2+20\delta^3)\mu^2}{4[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} < 0; \\ \frac{\partial p_3^{D^*}}{\partial h} &= -\frac{3(3+2\delta)^2(6+5\delta)^2(2+3\delta+\delta^2)\mu^2}{4[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} < 0。 \end{aligned}$$

命题 5 表明, 零售价格和直销价格都与数字化技术投入成本系数呈负相关。这说明随着数字化技术投入成本系数的增加, 制造商会降低直销价格, 抢占市场份额, 与此同时, 为了维持市场竞争力, 批发价格的降低也会迫使线下和线上零售商也降低零售价格。

命题 6. 在分散决策下, 最优零售价格和最优直销价格与数字化技术对产品需求量的影响系数存在以下关系: $\frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial \mu} > 0; \quad \frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial \mu} > 0; \quad \frac{\partial p_3^{D^*}}{\partial \mu} > 0。$

证明:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p_1^{D^*}}{\partial \mu} &= \frac{3h(3+2\delta)^2(108+330\delta+362\delta^2+165\delta^3+25\delta^4)\mu}{2[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} > 0; \\ \frac{\partial p_2^{D^*}}{\partial \mu} &= \frac{3h\delta(3+2\delta)(162+507\delta+580\delta^2+285\delta^3+50\delta^4)\mu}{2[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} > 0; \\ \frac{\partial p_3^{D^*}}{\partial \mu} &= \frac{3h(2+3\delta+\delta^2)(18+27\delta+10\delta^2)^2\mu}{2[-3h(12+28\delta+21\delta^2+5\delta^3)+(27+57\delta+41\delta^2+10\delta^3)\mu^2]^2} > 0。 \end{aligned}$$

命题 6 表明, 零售价格和直销价格都与数字化技术对产品需求量的影响系数呈正相关。这说明当数字化技术能增强产品的附加值及消费者体验时, 会激发消费者对产品的更大需求, 此时消费者对价格的敏感度会下降, 从而倾向于接受更高的价格, 制造商和零售商也更倾向于调高直销价格和零售价格以最大化各自的利润。

5. 数值分析

借鉴任等[9]相关文献的研究思路, 做出以下参数设置: $h = 0.5$, $\mu = 0.6$ 。

5.1. 渠道竞争程度对供应链成员定价的影响

在分散决策下, 批发价格与渠道竞争程度的关系见图 2。

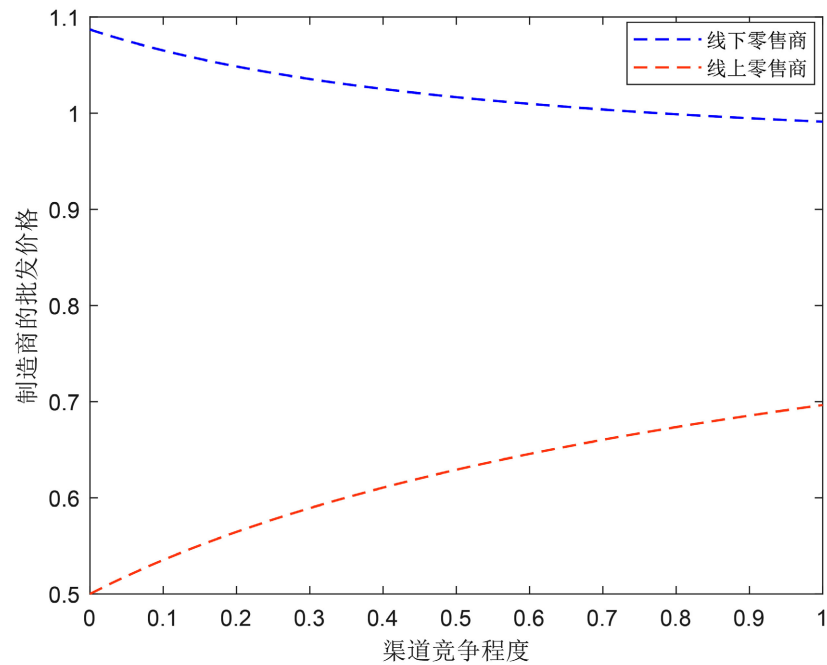


Figure 2. The impact of channel competition intensity on wholesale prices

图 2. 渠道竞争程度对批发价格的影响

图 2 表明, 在制造商投入数字化技术之后, 对于线下零售商而言, 由于通过搭便车使用了制造商投入的数字化技术, 增加了线下零售渠道的需求量, 因此制造商给线下零售商的批发价格会高于线上零售商, 从而让线下零售商间接分摊技术投入的成本。

在分散和集中决策下, 销售价格与渠道竞争程度的关系见图 3。

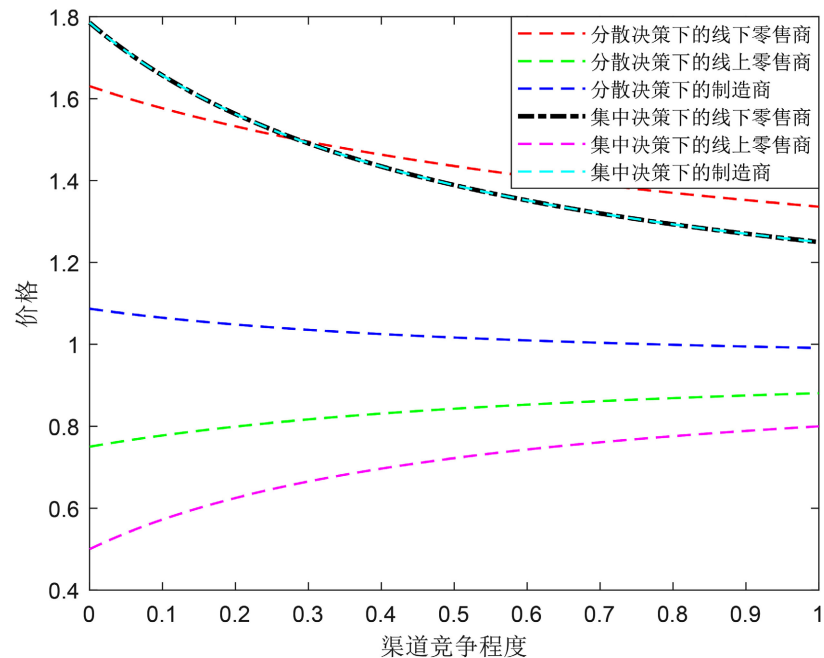


Figure 3. The impact of channel competition intensity on sales prices under decentralized and centralized decision-making

图 3. 分散和集中决策下渠道竞争程度对销售价格的影响

图 3 表明, 在分散决策下, 渠道竞争程度的增加引发了差异化定价策略调整: 线下零售渠道与直销渠道的定价呈下降趋势, 而线上零售渠道反向攀升。这是因为线下零售商和制造商在初始阶段相对于线上零售商具有定价优势, 为抢占市场份额, 这两者不得不降低价格, 这一策略间接为线上渠道创造了溢价机会, 使线上零售商能通过提升售价来获取更高利润。在集中决策下, 线下零售价格与直销价格维持一致, 且持续高于线上零售价格, 这是因为线下零售与直销渠道能够为消费者带来额外的价值体验(例如即时体验), 而线上渠道的低价策略是为了吸引对价格敏感的消费者。在制造商投入数字化技术后, 随着渠道竞争程度 δ 的增加, 集中决策下线下零售价格和直销价格都会下降, 而线上零售价格会上升。这是由于线下零售渠道和直销渠道面临较大的需求弹性, 线下零售商和制造商决定降低产品的销售价格来刺激消费, 同时为了平衡各渠道的利润率和需求量, 以及避免价格战, 线上零售商选择提高产品的销售价格。

5.2. 渠道竞争程度对供应链成员利润的影响

在分散和集中决策下, 利润与渠道竞争程度的关系见图 4。

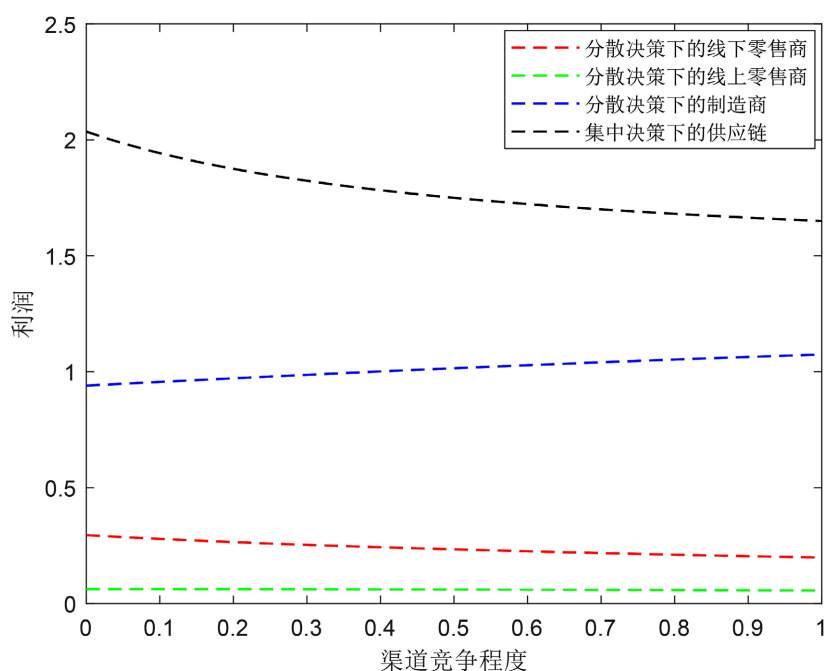


Figure 4. The impact of channel competition intensity on profits under decentralized and centralized decision-making
图 4. 分散和集中决策下渠道竞争程度对利润的影响

由图 4 可以看出, 在分散决策下, 制造商的利润最高, 线下零售商的利润次之, 线上零售商的利润最低。这是因为线下零售商有效利用制造商的数字化技术, 成功吸引消费者并削弱其对价格的敏感度, 确保了线下零售商相较于线上零售商拥有更高的利润空间; 对于制造商而言, 在供应链中占据主导地位, 数字化技术的投入, 对于线下零售商的边际收益相对较小, 制造商的边际收益较大。在制造商投入数字化技术后, 随着渠道竞争程度 δ 的增加, 零售商的利润都下降, 制造商的利润上升。这表明随着渠道竞争程度的加剧, 线下零售商面临商品售价持续走低的压力, 导致其经营利润空间受到显著压缩。与此同时, 线上零售商同时承受着来自制造商数字化转型压力与线下零售商的数字化升级挑战的双重夹击。这种双重竞争态势使得线上零售渠道的市场空间被逐步挤压, 其市场份额呈现持续收缩态势, 因此线上

零售商的利润下降；由于制造商投入数字化技术，会导致产品的需求量增加，因此会批发给零售商更多的产品，获取额外的利润，同时直销渠道也会增加利润，制造商的利润上升。此外，制造商投入数字化技术后，相较于分散决策模式，集中决策下的供应链整体利润更高。这说明集中决策下制造商和零售商可以制定统一的定价策略，从而避免渠道之间的价格战，而在分散决策下，制造商和零售商以各自利润最大化为出发点，通过降低价格来竞争市场份额，虽然可以短期内增加销售量，但会导致整个供应链的利润下降。

6. 结论

本文的主要结论有：(1) 线下零售商的批发价格与渠道竞争程度存在负相关性；在数字化技术投入成本系数较低时，制造商给线上零售商的批发价格与渠道竞争程度也呈负相关。然而，当数字化技术投入成本系数较高时，制造商给线上零售商的批发价格与渠道竞争程度则呈现正相关关系。这表明随着数字化技术投入成本的变化，线上零售商的定价策略会受到不同的竞争环境的影响。(2) 当数字化技术投入成本系数较低或较高时，线下和线上零售价格均与渠道竞争程度呈负相关。相反，当数字化技术投入成本系数适中时，线下和线上零售价格与渠道竞争程度呈正相关。此外，直销价格始终与渠道竞争程度呈负相关，表明制造商通过直销模式始终能够避免渠道之间的竞争压力。(3) 无论是制造商的批发价格、零售价格还是直销价格，它们都与数字化技术投入成本系数均呈负相关；而与数字化技术对产品需求量的影响系数呈正相关。

参考文献

- [1] 中国互联网络信息中心. 第 52 次中国互联网络发展状况统计报告[EB/OL]. <https://cnnic.cn/n4/2023/0828/c199-10830.html>, 2023-08-28.
- [2] Li, Z., Gilbert, S.M. and Lai, G. (2015) Supplier Encroachment as an Enhancement or a Hindrance to Nonlinear Pricing. *Production and Operations Management*, **24**, 89-109. <https://doi.org/10.1111/poms.12210>
- [3] 卜览, 王赣城, 王玮, 等. 2019 年中国数字消费者趋势[EB/OL]. <https://www.mckinsey.com.cn/2019%E5%B9%B4%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%95%B0%E5%AD%97%E6%B6%88%E8%B4%B9%E8%80%85%E8%B6%8B%E5%8A%BF/>, 2025-01-17.
- [4] Swaminathan, J.M. and Tayur, S.R. (2003) Models for Supply Chains in E-Business. *Management Science*, **49**, 1387-1406. <https://doi.org/10.1287/mnsc.49.10.1387.17309>
- [5] Chiang, W.K., Chhajed, D. and Hess, J.D. (2003) Direct Marketing, Indirect Profits: A Strategic Analysis of Dual-Channel Supply Chain Design. *Management Science*, **49**, 1-20. <https://doi.org/10.1287/mnsc.49.1.1.12749>
- [6] Roy, S.K., Balaji, M.S., Sadeque, S., et al. (2017) Constituents and Consequences of Smart Customer Experience in Retailing. *Technological Forecasting and Social Change*, **124**, 257-270. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.022>
- [7] Chen, R.R. and Roma, P. (2011) Group Buying of Competing Retailers. *Production and Operations Management*, **20**, 181-197. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2010.01173.x>
- [8] Pun, H., Chen, J. and Li, W. (2020) Channel Strategy for Manufacturers in the Presence of Service Freeriders. *European Journal of Operational Research*, **287**, 460-479. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.004>
- [9] 任政坤, 张运环, 李新宇, 等. 展厅现象下实体零售商数字化创新研究[J]. *工业工程与管理*, 2023, 28(6): 174-192.