

消费者效用视角下双渠道供应链的产品质量研发模式选择研究

王文宾, 蔺婉莹, 陈梦雪, 张 梦, 仝 鹏

(中国矿业大学经济管理学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 考虑到产品质量是影响消费者购买行为的关键驱动因素, 运用动态博弈理论和非线性消费者效用函数对双渠道供应链中三种产品质量研发模式分别建模, 讨论了各种质量研发模式对供应链成员的利润和消费者效用的影响, 并利用二部定价契约协调供应链。三种产品质量研发模式分别为: 制造商不进行产品质量研发、制造商独立进行产品质量研发和制造商与零售商合作进行产品质量研发。研究表明: (1) 当进行产品质量研发时, 批发价、零售价, 直销价和产品质量研发水平均提高, 并在合作研发下达到最大值, 且上述决策变量均随着渠道竞争程度的增加而降低; (2) 产品在传统零售渠道和线上销售渠道的销售量和消费者效用随着渠道竞争程度的增加而降低; (3) 产品质量研发能够提高制造商的利润和消费者效用, 且在合作研发模式下达到最大值; 对零售商而言, 采用制造商独立研发模式时利润最高, 合作研发模式时利润最低; (4) 为激励零售商参与研发, 制造商利用二部定价契约来协调供应链, 协调后产品的研发水平能够达到合作研发时的水平, 同时消费者效用增加。数值仿真结果有效地证明了相关结论。

关键词: 双渠道供应链; 消费者效用; 产品质量研发; 协调

1 引言

随着电子商务的不断发展, 购物方式的选择也变得更加多元化。许多企业在保留传统零售渠道的基础上建立了线上销售平台, 投入到双渠道的运营模式中, 例如 IBM, 三星, 索尼等^[1]。然而, 双渠道的运营模式也加剧了竞争, 即制造商自有的线上销售平台与零售商的传统零售渠道进行竞争, 如何在渠道竞争环境下赢得更多的利润是每个企业都面临的一个重要问题。

另一方面, 由于消费水平的不断提高, 消费者从以往的“必需型消费”向“品质型消费”转变, 商品的质量成为消费者选择商

品的关键因素。因此, 企业对产品质量问题十分重视, 并投入大量资金用于产品质量的研发。企业常用的质量研发模式包括独立研发, 合作研发等^[2]。由于研发要耗费大量的人力物力, 企业为了节约成本, 提高研发效率, 通常会选择与他人合作研发。克莱斯勒公司与供应商合作, 将新车的平均研发时间由 234 周减少至 166 周。不仅如此, 2019 年 7 月, 国际知名零售企业阿霍德德尔海兹集团正式宣布与汉朔科技达成战略合作关系, 双方宣布将加强合作, 建立联合创新实验室, 共同开发和测试创新数字型应用, 开启数字化智能零售新天地。企业间的纵向合作研发已经成为企业重要的研发模式^[3]。

关于产品研发的问题, 国内外学者做了大量的研究。针对研发产生的溢出效应, D'Aspremont 和 Jacquemin^[4]首次提出了两个企业之间存在研发溢出效应, 并表示溢出效应与企业在合作研发中的投资成正比。孙晓华和郑辉^[5]对采取不同合作研发模式的企业进行研究, 对比水平技术溢出和垂直技

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (71971210, 71701200); 中国矿业大学文化传承专项项目 (2018WHCC01); 四川循环经济研究中心重点项目 (XHJJ-1902); 四川省电子商务与现代物流研究中心重点项目 (DSWL19-5); 中国矿业大学创新团队 (2020QN004)

通讯作者简介: 王文宾 (1979-), 男 (汉族), 山东诸城人, 中国矿业大学经济管理学院副教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向: 物流与供应链管理, E-mail: wangwenbin818@126.com.

术溢出对企业产生的影响,得出了不同状态下的均衡解以及对企业决策的影响。李伟和李凯^[6]从不同渠道结构中渠道势力变化和研发溢出效应的角度出发,研究了竞争型制造商在不同情况下的最优研发决策以及对供应链成员利润的影响。针对研发成员之间的利润分配问题,丁旭等^[7]研究了技术风险视角下受多种利益分配方式驱使的供应链的研发投资策略,建立了协同开发模型并进行合理优化,以此来鼓励供应链成员增加研发投入。孟卫东等^[8]学者提出,当研发存在技术风险时,采用比例分配方式进行成员之间的利益分配能够提高合作研发的成功性。也有少数文献对企业不同的研发模式进行对比研究,例如张巍等^[9]列举并分析了供应链中的不同合作研发模式,得出了相应的均衡解并进行了数据验证。张文红等^[10]基于开放性悖论,比较了制造商独立研发和协作研发对产品创新的影响,并通过数据分析证实了这一结论。

渠道竞争一直是学术界研究的热点,很多学者将渠道竞争与品牌营销结合起来进行研究。例如王晓锋等^[11]构建了包含价格和服务敏感系数的线性需求函数,分析了在品牌竞争和渠道竞争共存时,供应链成员在不同模型下的均衡解并得到了相应的管理见解。范小军和陈宏民^[12]研究了零售商创建的自有品牌对双渠道供应链的影响。关于产品再制造中的渠道竞争问题,郑本荣等^[13]通过构建有无再制造两种情形下制造商的渠道入侵决策模型,综合分析产品再制造、渠道竞争和制造商渠道入侵决策三种因素对供应链的影响。朱晓东等^[14]引入了线上回收的概念,考虑回收产品的可再制造比例,通过动态博弈得到了集中式决策和分散式决策下制造商与传统分销商和线上回收商的定价策略和最优利润水平。

在研究消费者偏好如何影响供应链的方面,Huang Song 等^[15]考虑了消费者偏好对渠道的影响,讨论了中断生产成本对双渠道供应链决策的影响; Yao Dongqing 等^[16]扩展

了需求函数的功能,即考虑需求函数受价格和服务质量的双重影响,并研究了服务水平对制造商利润的影响。Khouja 等^[17]考虑了两种消费者偏好类型,并以此假设对比分析了制造商自有的线上渠道、传统零售渠道和独立零售商渠道三种情况下的供应链决策,得到了不同情形下的均衡解。Ma Weimin 等^[18]研究了在消费者渠道偏好和政府补贴共存时,双渠道闭环供应链如何确定最优定价策略;曹晓刚等^[19]从渠道竞争的视角出发,分析不同的消费者偏好类型如何影响双渠道闭环供应链的定价决策,最后使用契约合同对供应链进行优化;Chiang 等^[20]考虑了消费者对线上直销渠道的接受程度的因素,并以此为出发点建立双渠道定价模型,分析了制造商的线上销售渠道如何影响制造商和零售商的利润水平。

由以上文献可以看出,关于产品研发的研究多数考虑的是研发产生的溢出效应或研发成员之间的利润分配,且针对的多是单渠道供应链,针对双渠道供应链中不同研发模式选择的研究较少,以消费者效用为视角考虑产品的质量研发尚为鲜见。消费者一贯看重产品的质量,企业有必要加强对产品质量的研发力度。因此对企业来说,选择最优的研发模式值得探讨。

综上所述,本文的研究价值体现在以下三个方面:

(1) 把针对产品质量研发的研究从以往大多数的单渠道供应链环境扩展到双渠道供应链环境,探讨不同研发模式对双渠道供应链的决策影响。

(2) 考虑到常有企业进行独立研发或合作研发的情形,文章对不同研发模式分别建模进行对比分析,为企业进行研发模式选择提供一定的思路。

(3) 多数研究采用的是线性需求函数,虽然线性需求函数在研究领域中被广泛使用,但消费者需求往往受多个变量综合影响,不是简单的线性关系。本文将引用 Ingene 和 Perry^[21]提出的消费者效用函数,

研究在非线性消费者需求下双渠道供应链的产品质量研发模式选择问题，为企业提供一定的理论建议。

2 模型建立及求解

2.1 模型描述与符号说明

本文构建了由制造商和零售商构成的双渠道供应链模型，消费者既可以选择在线下的实体商店里购买商品，也可以选择在线上渠道中，制造商以批发价 w 将产品批发给零售商，零售商再以零售价 p_r 销售至消费者市场。在线上渠道中，制造商以直销价 p_d 将产品卖给消费者，且每生产一个单位产品付出的成本为 c 。此外，当进行产品质量研发时，制造商还要支付一定的固定成本。参考 Chen Jingxian 等^[22]对质量研发投资成本的假设，令 $I = tg^2/2$ ， $t \geq 0$ ，其中 t 表示单位研发成本， g ($g \geq 0$) 表示产品的质量研发水平。借鉴 Ingene 和 Perry 提出的消费者效用函数，本文的消费者效用可表示为

$$U = a(q_r + q_d) - \frac{b \sum_{i=r,d} q_i^2}{2} - \beta q_r q_d - \sum_{i=r,d} p_i q_i \quad (1)$$

式 (1) 中， a 表示产品的基础市场需求， q_r 表示产品在传统零售渠道的销售量， q_d 表示产品在线上销售渠道的销售量。

$\frac{b \sum_{i=r,d} q_i^2}{2}$ 表示由于购买商品的渠道和数量不同导致消费者效用的递减项， b 为边际变化率，不妨令 $b = 1$ 。 β 是刻画渠道竞争程度的参数， $0 < \beta < 1$ 。 $\sum_{i=r,d} p_i q_i$ 表示由于价格不同导致消费者感知效用的递减项，体现了价格的变化对消费者效用的影响。本文将根据这个函数对相关问题进行研究。

2.2 基本假设

(1) 本文运用 Stackelberg 博弈理论进行研究和分析。制造商作为动态博弈的领袖，会根据利润最大化的原则率先确定产品的批发价，直销价。零售商作为制造商的价格跟随者，将随后对产品的零售价进行决策。本文假设线下的传统零售渠道与线上的直销渠道之间存在竞争。

(2) 制造商和零售商所获得的市场信息资源是对称的，且制造商和零售商均为理性人，对市场中的风险保持中立。

表 1 相关变量说明

符号	含义
w	批发价（制造商的决策变量）
p_d	直销价（制造商的决策变量）
g	产品的研发水平（制造商的决策变量）
p_r	零售价（零售商的决策变量）
a	产品的基础市场需求
c	产品的单位生产成本
I	产品研发所需的固定投资
q_r	产品在传统零售渠道的销售量
q_d	产品在线上销售渠道的销售量
β	渠道竞争参数
λ	成本分担参数
F	二部定价中的固定费用
π_m	制造商利润
π_r	零售商利润
U	消费者效用

2.3 模型建立

(1) 制造商不进行产品质量研发（情形 N）

首先我们来考虑一般情形，即制造商不进行产品质量研发，只进行常规的生产制造。在这种情形下，制造商作为价格领袖，首先对批发价 w 和直销价 p_d 进行决策，而零售商作为价格的追随者，将随后确定零售价 p_r 。首先根据消费者效用函数可得关于

q_r, q_d 的海赛矩阵为: $\begin{pmatrix} -1 & -\beta \\ -\beta & -1 \end{pmatrix}$, 由海赛矩阵判定多元函数极值的规律可知, 消费者效用函数有唯一最大值。令 $\partial U / \partial q_r = 0$, $\partial U / \partial q_d = 0$, 联立两式得出产品在线上渠道和线下渠道的需求函数分别为:

$$q_r^N = \frac{a\beta - \beta p_d - a + p_r}{\beta^2 - 1},$$

$$q_d^N = \frac{a\beta - \beta p_r - a + p_d}{\beta^2 - 1}。$$

因此, 制造商与零售商的利润函数可表示为:

$$\max_{w, p_d} \pi_m = (w - c)q_r + (p_d - c)q_d \quad (2)$$

$$\max_{p_r} \pi_r = (p_r - w)q_r \quad (3)$$

命题 1 制造商不进行产品质量研发时, π_r 是关于 p_r 的凹函数, π_m 是关于 w 和 p_d 的凹函数, 且存在唯一最大值。此时双渠道供应链存在唯一均衡解见下表 2。

证明: 由逆向归纳法可知, 零售商作为动态博弈中的价格追随者, 在求解时要先进行决策。对式 (3) 中的 p_r 求二阶偏导数可得 $\partial^2 \pi_r / \partial p_r^2 = 2 / (\beta^2 - 1) < 0$, 即 π_r 为开口向下的抛物线, 存在唯一最大值。令 $\partial \pi_r / \partial p_r = 0$, 可解得带有 w, p_d 表达式的 p_r ; 式 (2) 中关于 w, p_d 的海赛矩阵为:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\beta^2 - 1} & \frac{-\beta}{\beta^2 - 1} \\ \frac{-\beta}{\beta^2 - 1} & \frac{2 - \beta^2}{\beta^2 - 1} \end{pmatrix}。利用海赛矩阵判定多元函数极值的规律可知, π_m 存在唯一最大值。$$

令 $\partial \pi_m / \partial p_d = 0$, $\partial \pi_m / \partial w = 0$, 联立解得 w, p_d 。将 w, p_d 带入 p_r 的表达式中, 即解出 p_r 。

(2) 制造商独立进行产品质量研发(情形 M)

随着品质消费成为新的消费导向, 低价

劣质品逐渐被社会淘汰, 许多企业都开始进行产品质量的研发。企业质量研发的模式有多种, 本节将考虑制造商独自进行产品质量研发的情况。参考 Chen Jingxian 等^[23]提出的消费者效用函数, 我们用参数 γ ($\gamma \geq 0$) 来刻画产品质量提高对每个渠道需求的影响程度。因此, 消费者效用的表达式为:

$$U = a(q_r + q_d) - \frac{b \sum_{i=r,d} q_i^2}{2} - \beta q_r q_d - \sum_{i=r,d} p_i q_i + \gamma g(q_r + q_d) \quad (4)$$

其中 $\gamma g(q_r + q_d)$ 表示质量研发对消费者效用的影响。为不失一般性, 不妨令 $\gamma = 1$ 。最大化式 (4) 得:

$$q_r^M = \frac{g\beta + a\beta - g - \beta p_d - a + p_r}{\beta^2 - 1},$$

$$q_d^M = \frac{g\beta + a\beta - g - \beta p_r - a + p_d}{\beta^2 - 1}。$$

此外, 制造商对产品质量研发付出的固定成本表示为: $I = tg^2 / 2, t \geq 0$,

因此, 制造商和零售商的利润函数可表示为:

$$\max_{w, p_d, g} \pi_m = (w - c)q_r + (p_d - c)q_d - tg^2 / 2 \quad (5)$$

$$\max_{p_r} \pi_r = (p_r - w)q_r \quad (6)$$

命题 2 π_r 是关于 p_r 的凹函数, 当满足 $t > \frac{\beta + 3}{4(\beta + 1)}$ 时, π_m 是关于 w, p_d, g 的凹函数。此时, 双渠道供应链的均衡解见表 2。

证明: 首先对式 (6) 中的 p_r 求二阶偏导数, 易得 $\partial^2 \pi_r / \partial p_r^2 = 2 / (\beta^2 - 1) < 0$, 则 π_r 为开口向下的抛物线, 存在唯一最大值。令 $\partial \pi_r / \partial p_r = 0$, 可解得带有 w, p_d, g 表达式的 p_r ; 式 (5) 中关于 w, g, p_d 的三阶

海赛矩阵为:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\beta^2 - 1} & \frac{1}{2(\beta + 1)} & \frac{-\beta}{\beta^2 - 1} \\ \frac{1}{2(\beta + 1)} & -t & \frac{(\beta + 2)}{2(\beta + 1)} \\ \frac{-\beta}{\beta^2 - 1} & \frac{(\beta + 2)}{2(\beta + 1)} & \frac{2 - \beta^2}{\beta^2 - 1} \end{pmatrix}$$

由海赛矩阵判定多元函数极值的规律可知, 若使 π_m 存在唯一最大值, 则必须满足 $t > (\beta + 3) / 4(\beta + 1)$ 。令 $\partial \pi_m / \partial p_d = 0$, $\partial \pi_m / \partial w = 0$, $\partial \pi_m / \partial g = 0$, 联立解得 w, g, p_d 。将 w, g, p_d 带入 p_r , 即解出 p_r 。

推论 1 产品在传统零售渠道和线上销售渠道的销售量 q_r, q_d 随着渠道竞争程度的增加而减少, 即 $\partial q_d / \partial \beta < 0, \partial q_r / \partial \beta < 0$ 。

推论 1 表明随着渠道竞争程度的增加, 产品在传统零售渠道和线上销售渠道的销售量均降低。导致这种现象反直觉的原因可能如下: 激烈的渠道冲突会导致制造商和零售商通过价格优势来占领消费者市场。但由于制造商独自承担研发成本, 如果盲目地降低直销价, 其利润损失将更大。作为理性人, 制造商将向零售商收取较高的批发价来保证利润, 但这无疑会使零售商的利益受损, 导致零售价不降反升。由需求函数可知, 价格升高会导致需求量下降。这说明, 渠道竞争对产品两个渠道的需求量均产生不利影响。

推论 2 制造商利润, 零售商利润和消费者效用随着渠道竞争程度的增加而减少, 即 $\partial \pi_m^M / \partial \beta < 0, \partial \pi_r^M / \partial \beta < 0, \partial U^M / \partial \beta < 0$ 。

推论 2 表明制造商利润, 零售商利润和消费者效用随着渠道竞争程度的增加而减少。由推论 1 可知, 产品在传统零售渠道和线上销售渠道的销售量随着渠道竞争程度的增加而减少, 而需求减少会直接影响制造商利润, 零售商利润和消费者效用, 使得制造商利润, 零售商利润和消费者效用也随之降低。因此渠道竞争对制造商, 零售商, 消费者效用均产生了不好的影响。

(3) 制造商与零售商合作研发 (情形 C)

上一节我们讨论了制造商独自研发的情形, 然而, 它只是众多研发模式中的一种。本节我们将考虑制造商与下游零售商开展合作研发的情形。合作研发是现如今企业研

发的一种重要的方式。制造商作为双渠道供应链中的领袖, 通常会为了降低研发成本, 提高研发效率而要求与他人共同研发。参考葛泽慧和胡奇英^[24]的研究, 本文假设零售商将帮助制造商分担 λ 的研发成本 ($0 \leq \lambda < 1$), 则制造商的分担比例为 $1 - \lambda$ 。

由于制造商和零售商合作与否并不影响消费者的效用, 因此消费者效用函数不变, 仍为式 (4)。此时制造商的利润函数为:

$$\max_{w, p_d, g} \pi_m = (w - c)q_r + (p_d - c)q_d - (1 - \lambda)tg^2 / 2 \quad (7)$$

零售商的利润函数为:

$$\max_{p_r} \pi_r = (p_r - w)q_r - \lambda tg^2 / 2 \quad (8)$$

命题 3 π_r 是关于 p_r 的凹函数; π_m 在

满足 $t > \frac{-(\beta + 3)}{4(\lambda - 1)(\beta + 1)}$ 时是关于 w, p_d, g 的凹函数, 此时双渠道的均衡解如表 2 所示。验证过程参考命题 2, 这里不再重复。

推论 3 产品在传统零售渠道和线上销售渠道的销售量 q_r, q_d 随着零售商成本分担比例的增加而增加, 即 $\partial q_r / \partial \lambda > 0$, $\partial q_d / \partial \lambda > 0$ 。

推论 3 表明, 零售商分担研发成本后, 产品在传统零售渠道和线上销售渠道的销售量随着成本分担比例的增加而增加。这表明, 零售商选择合作研发不仅减轻了制造商的压力, 同时也减缓了渠道竞争的激烈程度。由需求函数可知, 当其他条件不变时, λ 增大, β 减小会使产品的市场需求增加。这证明合作研发对双渠道供应链有利。

推论 4 制造商利润和消费者效用随着成本分担比例的增加而增加, 而零售商利润则随着成本分担比例的增加而减少。即:

$$\partial \pi_m^C / \partial \lambda > 0, \partial \pi_r^C / \partial \lambda < 0, \partial U^C / \partial \lambda > 0。$$

推论 4 表明, 制造商利润和消费者效用随着成本分担比例的增加而增加, 而零售商利润随着成本分担比例的增加而减少。相较于制造商独立研发模式而言, 合作研发模式下零售商承担了一部分研发成本, 自身的利

润受到了影响，随着成本分担比例越来越大，零售商承担的成本越多，利润就会越少。而制造商成本分担比例越来越少，利润会变大。由于合作研发能够提高产品的研发水

平，在渠道竞争程度保持不变时，消费者的效用会增加。这表明，成本分担行为对制造商和消费者有利，对零售商不利。

表 2 三种不同研发模式下的均衡解

	情形 N	情形 M	情形 C
p_r	$\frac{\beta(c-a)+3a+c}{4}$	$\frac{t\beta[\beta(a-c)-2(a+c)]+c(\beta+3)-t(3a+c)}{4t\beta+4t-\beta-3}$	$\frac{c(\beta+3)-(\lambda-1)(\beta+1)[(a-c)\beta-3a-c]t}{4(\lambda-1)(\beta+1)t+\beta+3}$
p_d	$\frac{a+c}{2}$	$\frac{2t(a+c)(\beta+1)-c(\beta+3)}{4t\beta+4t-\beta-3}$	$\frac{2(\lambda-1)(\beta+1)(a+c)t+c(\beta+3)}{4(\lambda-1)(\beta+1)t+\beta+3}$
w	$\frac{a+c}{2}$	$\frac{2t(a+c)(\beta+1)-c(\beta+3)}{4t\beta+4t-\beta-3}$	$\frac{2(\lambda-1)(\beta+1)(a+c)t+c(\beta+3)}{4(\lambda-1)(\beta+1)t+(\beta+3)}$
g	—	$\frac{(\beta+3)(a-c)}{4t\beta+4t-\beta-3}$	$\frac{(\beta+3)(c-a)}{4(\lambda-1)(\beta+1)t+\beta+3}$
π_m	$\frac{(\beta+3)(a-c)^2}{8(1+\beta)}$	$\frac{t(\beta+3)(a-c)^2}{2(4t\beta+4t-3-\beta)}$	$\frac{t(a-c)^2(\lambda-1)(\beta+3)}{8(\lambda-1)(\beta+1)t+2\beta+6}$
π_r	$\frac{(a-c)^2(1-\beta)}{16(1+\beta)}$	$\frac{(a-c)^2(1-\beta)^2t^2}{(4t\beta+4t-3-\beta)^2}$	$\frac{t(a-c)^2(-2t\beta^2\lambda^2+4t\beta^2\lambda-2t\beta^2+2t\lambda^2-\beta^2\lambda-4t\lambda-6\beta\lambda+2t-9\lambda)}{2[4(\lambda-1)(\beta+1)t+\beta+3]^2}$
U	$\frac{(a-c)^2(3\beta+5)}{32(\beta+1)}$	$\frac{(3\beta+5)(\beta+1)(a-c)^2t^2}{2(4\beta t-\beta+4t-3)^2}$	$\frac{(\lambda-1)^2(3\beta+5)(\beta+1)(a-c)^2t^2}{2[4(\lambda-1)(\beta+1)t+\beta+3]^2}$
q_r	$\frac{(a-c)}{4(\beta+1)}$	$\frac{t(a-c)}{4t\beta+4t-\beta-3}$	$\frac{t(\lambda-1)(a-c)}{4t(\lambda-1)(\beta+1)+\beta+3}$
q_d	$\frac{(\beta+2)(a-c)}{4(\beta+1)}$	$\frac{t(\beta+2)(a-c)}{4t\beta+4t-\beta-3}$	$\frac{t(\lambda-1)(\beta+2)(a-c)}{4t(\lambda-1)(\beta+1)+\beta+3}$

2.4 模型分析

这一节将比较和分析三种模型下变量之间的关系，相关的仿真图附在分析结果的后面。各参数的取值为： $a=25$ ， $c=5$ ， $t=10$ ， $\beta=0.2$ ， $\lambda=0.3$ 。

命题 4 质量研发使得批发价，零售价，直销价和产品质量研发水平上升，并在合作研发下达到最大值。同时，批发价，零售价，直销价和产品质量研发水平随着渠道竞争程度的增大而减小。

证明：

$$w^C - w^M = -\frac{2t\lambda(\beta+3)}{(4t\beta\lambda-4t\beta+4t\lambda-4t+\beta+3)} \times \frac{(\beta+1)(a-c)}{(4\beta t-\beta+4t-3)}, \quad w^M - w^N =$$

$\frac{(\beta+3)(a-c)}{2(4t\beta+4t+4t\lambda-\beta-3)}$ ，由上文已知条件可知 $0 \leq \lambda < 1$ ， $t > 0$ ， $0 \leq \beta \leq 1$ ，且 $4t\beta\lambda-4t\beta+4t\lambda-4t+\beta+3 < 0$ ， $a-c > 0$ ， $4\beta t-\beta+4t-3 > 0$ 。因此 $w^C > w^M$ ， $w^M > w^N$ 。同理可得： $p_r^C > p_r^M > p_r^N$ ， $p_d^C > p_d^M > p_d^N$ ， $g^C > g^M$ 。

命题 4 的结论说明，由于产品的质量研发需要耗费大量的成本，对于制造商来说为了避免自身利润受损，需要提高批发价与直销价。同样，作为理性人，零售商也会提高零售价来减少利润损失风险。由于制造商和零售商合作提高了研发效率，因此产品的质量研发水平增加。

从图 1 可以看出,当渠道竞争程度较小时,合作研发的优势更大。这是因为制造商和零售商为了吸引消费者,需要各自降低自身的直销价,零售价,但制造商要独自承担研发所需的成本,而零售商由于不承担研发的成本,在相同的渠道竞争参数下,降低自身渠道的定价使得零售商受到的损失要小于制造商,导致制造商研发的积极性降低,从而使产品研发水平随着渠道竞争程度的增大而降低。这表明制造商独自承担研发成本这一行为使制造商蒙受了损失,也表明激烈的渠道竞争会对产品研发带来不利影响。

命题 5 制造商独立研发时制造商和零售商的利润增加,但在合作研发下,制造商的利润增加,零售商的利润减少。证明:

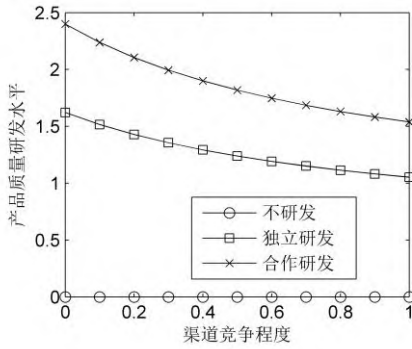


图 1 渠道竞争对产品质量研发水平的影响

$$\pi_m^C - \pi_m^M = \frac{-t\lambda(a-c)^2(\beta+3)^2}{2(4t\beta\lambda - 4t\beta + 4t\lambda - 4t + \beta + 3)(4t\beta + 4t - \beta - 3)},$$

$$\pi_m^M - \pi_m^N = \frac{(\beta+3)^2(a-c)^2}{8(4\beta t - \beta + 4t - 3)(\beta+1)},$$

$$\pi_r^M - \pi_r^N = \frac{(1-\beta)(\beta+3)(a-c)^2(8\beta t - \beta + 8t - 3)}{16(4\beta t - \beta + 4t - 3)^2(\beta+1)}.$$

由上文证明可知 $0 \leq \lambda < 1$, $t > 0$, $0 \leq \beta \leq 1$, $4\beta t - \beta + 4t - 3 > 0$, $a - c > 0$, 因此 $\pi_m^C > \pi_m^M > \pi_m^N$, $\pi_r^M > \pi_r^N$ 。

零售商在合作研发后利润变化为:

$$\pi_r^C - \pi_r^M = \frac{t(a-c)^2(\beta+3)(\eta\lambda^2 + \delta\lambda)}{2(4t\beta\lambda - 4t\beta + 4t\lambda - 4t + \beta + 3)^2(4\beta t - \beta + 4t - 3)^2}$$

由于式子非常复杂,将在接下来的仿真中进行进一步分析:

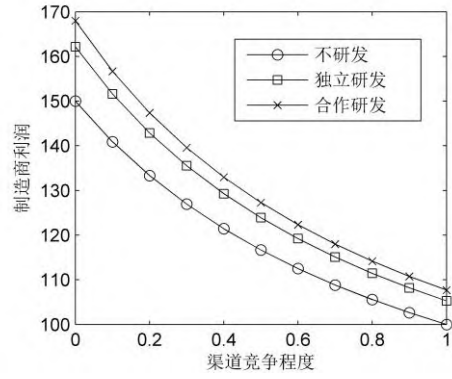


图 2 渠道竞争对制造商利润的影响

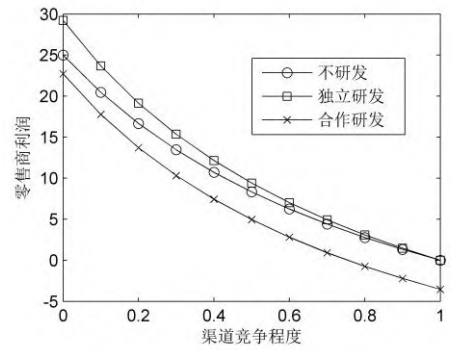


图 3 渠道竞争对零售商利润的影响

由图 2-3 可知,对制造商来说,无论是独立研发还是合作研发,其利润都比不研发时要高,且在合作研发模式下利润最大。在独立研发模式下,由于制造商独立进行产品质量研发使得产品的质量水平上升,从而刺激消费者需求,从而使零售商的利润在独立研发模式下达到最大值,即所谓的“搭便车”行为。但制造商却因独自承担研发成本而蒙受了损失,且研发的积极性随着渠道竞争程度的增加而降低。因此,合作研发对制造商来说是规避风险的有效手段。但对于零售商来说,合作研发并不是有利的。通过观察仿真可知,成本分担行为使零售商的利润小于非合作研发时的利润。这也表示零售商不会无偿的分担成本。因此,若想使合作研发继续下去,制造商需要给予零售商一定的补偿来激励零售商的成本分担行为,实现双方都满意的利润。

命题 6 质量研发使消费者效用增加。

证明:通过观察消费者效用均衡解可知,当 $\lambda = 0$ 时,合作研发下的消费者效用

等于制造商独立研发时的消费者效用，而当 $0 < \lambda < 1$ 时，合作研发下的消费者效用大于制造商独立研发时的消费者效用。这说明，合作研发对于消费者来说效用是增加的。通过合作研发，研发水平进一步提高，虽然零售价和直销价上升，但是消费者的综合效用得到了更大的满足，因此，对于消费者来说，合作研发更好。

3 二部定价契约协调（情形 CT）

以上三种情形分别考虑了不进行产品质量研发，制造商独立进行产品质量研发以及制造商与零售商合作研发，得到了三种模式下各决策变量的均衡解以及制造商，零售商利润与消费者效用的均衡解。由命题 5 和命题 6 可知，零售商参与合作研发时，制造商的利润，消费者效用和产品质量研发水平都增加，但零售商自身的利润却在降低。因此在下面的研究中，我们将引入二部定价契约 (w^{CT}, p_d^{CT}, F) 对双渠道供应链进行优化 [25],[26],[27]。该契约不仅可以激励制造商和零售商的研发积极性，同时还可以调节两者的利润水平，使制造商和零售商的利益不受损失。具体内容：零售商可从制造商那里获得相对优惠的批发价，但前提是需支付给制造商一定的固定费用，该费用由双方协商决定。只有产品的研发水平达到合作研发下的水平时，零售商才愿意以合作研发下的零售价来销售商品。经过重新分配后的利润需满足以下条件：

（1）经过契约协调之后的制造商利润不得小于制造商独立研发下的利润；

（2）经过契约协调之后的零售商利润不得小于制造商独立研发下的利润；

在此情形下，消费者效用的表达式为：

$$U = a(q_r + q_d) - \frac{b \sum_{i=r,d} q_i^2}{2} - \beta q_r q_d - \sum_{i=r,d} p_i q_i + \gamma g(q_r + q_d) \quad (9)$$

此时，制造商的利润函数为：

$$\max_{w, p_d, g} \pi_m = (w - c)q_r + (p_d - c)q_d - \frac{1}{2}(1 - \lambda) \times tg^2 + F \quad (10)$$

零售商的利润函数为：

$$\max_{p_r} \pi_r = (p_r - w)q_r - \frac{1}{2}\lambda tg^2 - F \quad (11)$$

将 $g^{CT} = g^C$ ， $p_r^{CT} = p_r^C$ 代入式 (10)、

(11) 中，并且需满足以下条件：

$\pi_m^{CT} \geq \pi_m^M$ ， $\pi_r^{CT} \geq \pi_r^M$ ， $w^{CT} < w^M$ 。其中， π_m^{CT} ， π_r^{CT} 分别表示经过契约调整后的制造商利润，零售商利润和消费者效用。

命题 7 只有当批发价 w^{CT} ， p_d^{CT} 和固定费用 F 满足一定条件时，制造商和零售商才会接受二部定价契约，此时该契约可以完美协调双渠道供应链，产品的研发水平能够达到合作研发时的水平，并且此时的消费者效用水平大于合作研发时的消费者效用水平。批发价 w^{CT} ，直销价 p_d^{CT} 的均衡解和固定费用 F 的取值范围分别为：

$$\begin{aligned} w^{CT} &= \frac{A(\beta^2 + 2) + B\beta + X}{(4t(\lambda - 1)(\beta + 1) + \beta + 3)}, \\ p_d^{CT} &= \frac{B - A + \beta X - 2c(\beta - 1)}{(4t(\lambda - 1)(\beta + 1) + \beta + 3)}, \\ \frac{(a - c)^2 \left[-4D(\beta^2 + 1) + (\lambda - 1)EY + \frac{1}{2}\beta^2 \lambda t(\beta + 3)^3 \right]}{\beta^2 (4t\beta + 4t - 3 - \beta) [4t(\lambda - 1)(\beta + 1) + \beta + 3]^2} &\leq F \\ &\leq \frac{(a - c)^2 t [16tD(\beta + 1) - 8E^2(\beta + 4\lambda - 1) + 4E(4\beta\lambda + \beta + 12\lambda - 1)]}{(4t\beta + 4t - 3 - \beta)^2 [4t(\lambda - 1)(\beta + 1) + \beta + 3]^2} \end{aligned}$$

其中：

$$\begin{cases} A = t(a - c)(\lambda - 1) \\ B = 2t(a + c)(\lambda - 1) + c \\ X = t(3a + c)(\lambda - 1) + 3c \\ D = (\lambda - 1)^2(\beta - 1)(\beta + 1)^2 t^2 \\ E = t(\beta + 3)(\beta + 1) \\ Y = (3\lambda - 1)\beta^3 + (5\lambda + 1)\beta^2 + (\lambda - 1)(\beta - 1) \end{cases}$$

证明：制造商和零售商的利润需满足：

$$\begin{cases} \pi_m^{CT} + F \geq \frac{t(\beta + 3)(a - c)^2}{2(4t\beta + 4t - 3 - \beta)} \\ \pi_r^{CT} - F \geq \frac{(a - c)^2(1 - \beta^2)t^2}{(4t\beta + 4t - 3 - \beta)^2} \end{cases}$$

将 $g^{CT} = g^C$ ， $p_r^{CT} = p_r^C$ 代入式 (9) -

(11) 中，解得 w^{CT} ， p_d^{CT} ，和 F 的取值范围。此时消费者效用为：

$$U^{CT} = \frac{t^2(a-c)^2(\lambda-1)^2(\beta+1)^4}{2\beta^2[4t(\lambda-1)(\beta+1)+\beta+3]^2}$$

命题 7 表明,当固定费用 F 满足一定条件时,制造商和零售商都会认可该契约,此时零售商也将以合作研发下的零售价同制造商进行合作研发,此时的产品质量研发水平可以达到合作研发时的水平,且消费者效用大于合作研发下的水平。这表明该契约能够完美地协调供应链。同时,制造商和零售商需要合理把握渠道竞争程度和成本分担比例的大小以增加消费者效用。

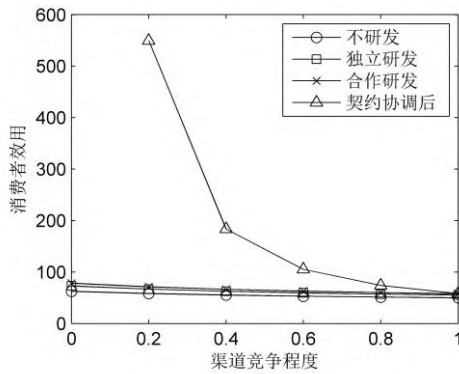


图 4 渠道竞争对消费者效用的影响

由图 4 可以看出,契约使消费者效用显著增加,且大于合作研发时的情况。另外,当渠道竞争程度较小时,契约下的消费者效用要远大于其他模型;而随着渠道竞争程度的增加,契约对消费者效用的影响逐渐减弱。当 β 的范围在 $(0, 0.4)$ 的区间内,消费者效用随渠道竞争程度的增加下降的最快;当 $\beta > 0.4$, 消费者效用随渠道竞争程度的增加下降的速度放缓。图 4 说明协调后的契约削弱了渠道竞争对消费者效用产生的负面影响,保护了消费者利益。

当 $a = 10$, $c = 2$, $t = 4$, $\beta = 0.4$ 时,消费者效用随成本分担参数的变化如图 5 所示:

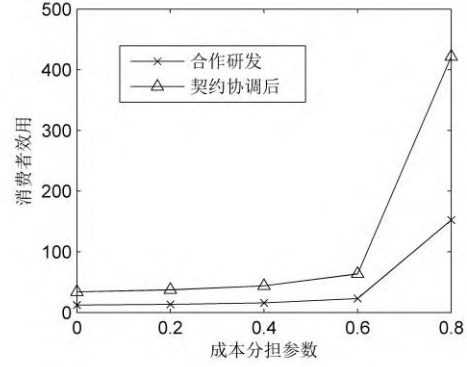


图 5 成本分担对制造商利润的影响

图 5 表明契约下的消费者效用总是大于合作研发时的情况,与成本分担比例的大小没有关系。特别地,当成本分担比例较小时,两种情况下的消费者效用增加较为缓慢;当成本分担比例 $\lambda > 0.6$ 时,两种情况下的消费者效用显著增加,且契约下消费者效用增长速度要大于合作研发的情况。图 5 说明,在成本分担比例相同的情况下,契约对于消费者更有利;同时制造商和零售商要选择双方接受范围内对消费者效用最有利的成本分担比例,增加消费者效用。

4 结语

从消费者的角度,在双渠道供应链中考虑不进行产品质量研发,制造商独立进行产品质量研发和制造商与零售商合作研发三种研发方式,还讨论了各种质量研发模式对供应链成员利润和消费者效用的影响,最后利用二部定价契约来协调供应链。通过分析比较以及数值仿真发现:合作研发模式下消费者效用、制造商利润和产品质量研发水平是最大的。但是合作研发损失了零售商的利益,因此制造商利用二部定价契约来激励零售商进行合作研发,契约协调后双方利润均不小于制造商独立研发下的情形,且产品质量研发水平可以达到合作研发时的水平,消费者效用也大于合作研发下的水平,即双渠道供应链得到了完美的协调。

本文给我们的管理启示有以下几点:

(1) 在双渠道供应链中, 消费者效用会随着渠道之间冲突的增加而降低, 说明渠道竞争不能使消费者受益, 因而对制造商来说要避免过于激烈的渠道竞争。

(2) 供应链成员在决定合作研发时, 要注重利益的协调, 供应链成员之间要按照所规定的二部定价契约严格执行, 这样才能维护供应链各方的利益, 同时为消费者带来真正的好处。

由于本文的结论是基于制造商作为博弈的领导者来分析和研究的, 未来可以将强势的零售商作为博弈的领导者来进行建模和分析。此外, 制造商和零售商之间信息不对称也可以作为进一步的研究方向。

参考文献:

- [1] 龚本刚, 汤家骏, 程晋石, 等. 产能约束下考虑消费者偏好的双渠道供应链决策与协调[J]. 中国管理科学, 2019, 27(4): 79-90.
- [2] 郭金森, 周永务, 任鸣鸣, 等. 基于研发投入的双渠道制造商研发模式选择策略[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(3): 51-63.
- [3] Harabi N. The impact of vertical R&D cooperation on firm innovation: An empirical investigation [J]. Economics of Innovation and New Technology, 2002, 11(2): 93-108.
- [4] D'Aspremont C, Jacquemin A. Cooperative and non-cooperative R&D in duopoly with spillover[J]. American Economic Review, 1988, 5(78): 1133-1137.
- [5] 孙晓华, 郑辉. 水平溢出, 垂直溢出与合作研发[J]. 系统工程学报, 2012, 27(1): 79-87.
- [6] 李伟, 李凯. 考虑渠道势力和研发溢出的竞争制造商研发决策研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(5): 196-207.
- [7] 丁旭, 孟卫东, 陈晖. 基于技术风险的供应链纵向合作研发利益分配方式研究[J]. 科技进步与对策, 2011, 28(20): 19-23.
- [8] 孟卫东, 黄波, 李宇雨. 基于投资溢出的研发联盟成员投资策略研究[J]. 中国管理科学, 2009, 17(4): 133-140.
- [9] 张巍, 张旭梅, 肖剑. 供应链企业间的协同创新及收益分配研究[J]. 研究与发展管理, 2008(4): 81-88.
- [10] 张文红, 王丹萍, 陈斯蕾. 自己做还是找人合作? 开放性悖论下企业研发行为对产品创新的影响研究[J]. 科技管理研究, 2018, 38(3): 11-18.
- [11] 王晓锋, 凡友荣, 段永瑞, 等. 考虑品牌竞争的双渠道供应链定价策略研究[J]. 工业工程与管理, 2015, 20(3): 36-43.
- [12] 范小军, 陈宏民. 零售商导入自有品牌对渠道竞争的影响研究[J]. 中国管理科学, 2011, 19(6): 79-87.
- [13] 郑本荣, 杨超, 杨珺, 等. 产品再制造、渠道竞争和制造商渠道入侵[J]. 管理科学学报. 2018, 21(8): 98-111.
- [14] 朱晓东, 吴冰冰, 王哲. 双渠道回收成本差异下的闭环供应链定价策略与协调机制[J]. 中国管理科学, 2017, 25(12): 188-196.
- [15] Huang Song, Yang Chao, Yang Jun. Pricing and production decisions in dual-channel supply chains with demand disruptions [J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 62(1): 70-83.
- [16] Yao Dongqing, Yue Xiaohang, Liu John. Vertical cost information sharing in a supply chain with value-adding retailers [J]. Omega, 2008, 36(5): 838-851.
- [17] Khouja M, Park S, Cai Gangshu. Channel selection and pricing in the presence of retailer-captive consumers [J]. Journal of Production Economics, 2010, 126(2): 158-167.
- [18] Ma Weimin, Zhao Zhang, Ke Hua. Dual-channel closed-loop supply chain with government consumption subsidy [J]. European Journal of Operational

- Research, 2013, 226(2): 221-227.
- [19] 曹晓刚, 郑本荣, 闻卉. 考虑顾客偏好的双渠道闭环供应链定价与协调决策[J]. 中国管理科学, 2015, 23(6): 107-117.
- [20] Chiang W K, Chhajed D, Hess J D. Direct marketing, indirect profits: A strategic analysis of dual-channel supply-chain design [J]. *Management Science*, 2003, 49(1): 1-20.
- [21] Ingene C A, Parry M E. *Mathematical model of distribution channels* [M]. United States: Springer, 2004.
- [22] Chen Jingxian, Liang Liang, Yang Feng. Cooperative quality investment in outsourcing [J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 162: 174-191.
- [23] Chen Jingxian, Liang Liang, Yao Dong Qing, et al. Price and quality decisions in dual-channel supply chains [J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 259(3): 935-948.
- [24] 葛泽慧, 胡奇英. 上下游企业间的研发协作与产销竞争共存研究[J]. *管理科学学报*, 2010, 13(4): 11-22.
- [25] 郑晨, 艾兴政, 李晓静, 等. 竞争零售商的供应链延保服务两部定价合同选择[J]. *系统工程学报*, 2018, 33(5): 674-686.
- [26] 杨丹, 薛立玮. 双渠道零售商主导的双回收闭环供应链利益协调[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2019, 43(6): 1140-1146.
- [27] 李晓静, 艾兴政, 马建华, 等. 基于交叉销售供应链的两部定价契约决策[J]. *系统管理学报*, 2019, 28(1): 192-200.

Product Quality R&D Model Selection in a Dual-Channel Supply Chain under the Perspective of Consumer Utility

WANG Wen-bin, LIN Wan-ying, CHEN Meng-xue, ZHANG Meng, TONG Peng

(School of Economics and Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Considering that product quality is one of the key factors which affect consumer's purchase behavior, the nonlinear consumer utility function, in the dual channel supply chain where the manufacturer is the leader of dynamic game and the retailer is the follower, is cited to analyze three different product quality R & D modes respectively, and the effects of various quality R & D modes on the profit and consumer utility of supply chain members are discussed alike. Subsequently, two-part tariff contract is used to coordinate the supply chain. There exist three product quality R & D modes including (i) product quality R & D not considered in the supply chain (ii) product quality R & D independently conducted by the manufacturer (iii) product quality R & D conducted by the manufacturer and the retailer alike. The results show that: (1) the wholesale price, retail price, direct selling price as well as product quality R & D level are improved when product quality R & D is carried out. Meanwhile, these values mentioned reach the maximum under mode iii, while the wholesale price, retail price, direct selling price and product quality R & D level are declined as the channel competition increases; (2) the sales volume in the traditional retail channel and online channel as well as consumer utility will be declined as the channel competition increases; (3) the profit of the manufacturer and consumer utility can be improved by product quality R & D. Meanwhile, these values mentioned reach the maximum under mode iii; as for the retailer, the profit will be motivated into the highest when the mode ii is used. Correspondingly, the lowest will be obtained when the mode iii is used; (4) in order to encourage the retailer to participate in R & D with the manufacturer, the two-part tariff contract is used to coordinate the supply chain. After coordination, the R & D level of products would be maintained as the level of that in mode iii along with the increasing of consumer utility. The numerical simulation is feasible as a tool to verify the validity of the model. Our research provides related ideas for enterprises to choose R & D mode moderately.

Key words: dual channel supply chain; consumer utility; product quality research and development; coordination