



基于网络直销可替代 随机需求的供应链研究

何燕,徐和,陈鹏宇
华中科技大学管理学院,武汉 430074

摘要:在网络直销背景下,研究一个电子零售商和两个制造商的供应链。电子零售商仅提供其网络平台并收取相应费用,制造商确定单个替代产品的价格和供货量,并借助网络平台发布产品价格信息供顾客选购。基于网络直销模式,针对产品可双向替代和面临随机需求的特点,采用加和的线性需求模型,在单个周期内构建一个两阶段主从博弈模型,讨论制造商的均衡最优定价、供货量和电子零售商的最优收益分享比例;借助数值实验,讨论替代系数和生产成本对制造商、电子零售商决策的影响。研究结果表明,在网络直销模式和终端随机需求环境下,当产品的单位供货成本既定时,产品相互替代度越大,电子零售商的收益分享比例和利润越大;当制造商产品相似替代系数既定时,单位供货成本越大,电子零售商的收益分享比例和利润越少。研究结果对于电子零售商提高利润和吸引更多的制造商直销产品以及制造商提高直销替代产品时的利润都具有重要的理论意义和实践价值。

关键词:网络直销;替代产品;随机;博弈;平台;供应链

中图分类号:F713.365

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1672-0334.2015.01.005

文章编号:1672-0334(2015)01-0058-08

1 引言

随着网络零售持续火爆、网络购物行业快速发展,越来越多的电子零售商开放平台,形成电商平台之争的格局。如淘宝成立天猫商城、京东商城和亚马逊中国也开放平台、西尔斯公司开辟了Marketplace at Sears.com,以方便制造商通过其零售平台展示产品^[1]。制造商也纷纷入驻到开放的网络零售平台,如苹果、格力、小米等企业纷纷入驻天猫商城。制造商通过平台直销,可以减少中间环节的费用,可以接触更广泛的顾客群,可以直面消费者的需求并及时响应。诸多优点吸引越来越多的制造商入驻网络平台,又促进了更多的电子零售商开放平台,于是平台同质化程度越来越严重。由于平台之间竞争激烈,网络促销(店庆促销、节假日促销、特卖会、1元秒杀等)常态化,激发了终端顾客的网购欲望。但是,当

某一产品面临缺货时,大多数消费者将转而选择其他效用相当的产品^[2],顾客的流动性加强。为了争夺相同的目标顾客,生产替代产品的制造商经常入驻同一平台,如美的、海尔都在天猫上直销相似替代度很高的家电。

对电子零售商而言,由于选择入驻的制造商有限,而它们又被各种平台争夺,制造商选择的空间和话语权都比以前增大。在激烈的竞争和顾客流动性加快的情况下,拥有零售平台的电子零售商在吸引替代产品的制造商入驻平台直销的同时,设定最优的平台使用费用(通常表现为产品销售收益的一定比例),使自身期望利润最大。而生产替代产品的制造商也要确定最优的定价和供货量,使自己的期望利润最大。本研究在网络直销背景下,通过构建和求解两阶段主从博弈模型,探讨在面临终端顾客对

收稿日期:2014-08-01 **修返日期:**2014-12-31

基金项目:国家自然科学基金(71271092);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET110188);华中科技大学自主创新基金(2014QN202)

作者简介:何燕(1976-),女,湖北钟祥人,华中科技大学管理学院博士研究生,研究方向:电子商务、运营与供应链管理。E-mail:heeyan@hust.edu.cn

替代产品的随机需求时,电子零售商的最优收益分享比例以及制造商的最优价格和供货量。

2 相关研究评述

近年来,尽管网络直销受到传统企业和电子零售商的追捧,理论界和学术界也已经对制造商的定价、库存和供应链上下游合作伙伴之间收益分享进行了一些卓有成效的研究,但并不充分。本研究在已有研究的基础上,针对网络直销环境下可替代随机需求的供应链做进一步探讨,主要涉及两个方面:一方面是双向替代产品的研究,另一方面是供应链上下游合作伙伴之间收益分享研究。

2.1 双向替代产品

双向替代产品是运作与供应链管理领域的一个重要研究方向。McGillivray等^[3]和Parlar等^[4]分析消费者接受替代产品的概率对零售商最优订货量的影响;Netessine等^[5]探讨当某一产品系列的首选产品缺货时顾客驱动替代的最优库存控制策略;Xu等^[6]研究替代产品满足随机需求时供应商的最优补货决策。上述研究从价格外生的角度研究替代产品的库存策略,另有学者从其他的角度对双向替代产品进行研究。Stavroulaki^[7]研究产品替代对零售商库存决策的影响;Nagarajan等^[8]和Rajaram等^[9]研究仅部分顾客购买替代产品的报童问题;Tang等^[10]和牟博佼等^[11]分别用不同价格策略和MNL(multi-nominal logit)选择模型分析两个替代产品的定价和库存问题;李彤等^[12]结合实例研究3种产品相互替代的报童问题。以上研究探讨单周期的双向替代产品问题,而Zhu等^[13]则研究多周期的双向替代产品的定价和供货量问题。另外,周永务等^[14]和Choi^[15]综述了替代产品的报童模型,包括单向替代和双向替代、单周期和多周期。尽管上述研究从不同角度对双向替代产品的定价和订货量决策进行了深入研究,但没有考虑网络直销环境下收益分享问题,且仅研究单一厂商或零售商的价格和订货量。本研究探讨两个制造商和一个电子零售商组成的供应链,这与Zhao等^[16]、Choi^[17]和McGuire等^[18]的供应链结构类似,但他们采用线性需求函数,侧重分析零售商从两个竞争性制造商采购双向替代产品在同一市场销售的价格和订货量的最优决策问题,而本研究探讨制造商通过电子零售商的平台直销替代产品时,电子零售商的收益分享比例以及制造商的价格和供货量。

2.2 收益分享

近年来,基于供应链环境下的收益共享合同研究成为国内外学者的另一研究热点。Cachon等^[19]在一个零售商和供应商组成的供应链中,研究由零售商的购买价格和数量决定的收益分享契约对供应链协同的影响;Cai等^[20]探讨专一渠道和收益分享对一个双边互补产品和服务的供应链的联合效应;Kong等^[21]发现在供应链环境下,收益分享存在促进供应链伙伴之间信息共享和缓解信息泄露的负面效应的潜能。但这些研究没有考虑随机需求这个因素,且

忽略了风险偏好的问题。Wang等^[22]考虑在顾客随机需求下电子零售商的收益比例决策;林志炳等^[23]研究决策主体为损失厌恶的条件下,离散供应链系统中的订购和收益共享契约;杨道箭等^[24]考虑针对风险偏好的顾客群的收益分享契约。以上研究从不同的角度探讨收益分享问题,但没考虑信息私有化的特点。

曹柬等^[25]、田厚平等^[26]和徐鸿雁等^[27]分析销售商的销售能力信息私有化对上游企业的激励合同选择和设计的影响;Wu等^[28]考虑广告客户支付意愿信息私有对报纸企业的最优激励策略和报刊的发行量决策。以上研究从供应链上下游伙伴之间信息私有的角度研究收益分享问题,但没有考虑网络直销和终端顾客信息私有的问题。徐和等^[29]探讨网络零售平台的直销模式下产品的交货期支付意愿异质性且信息私有对电子零售商的最佳收益分享比例影响。以上研究对不同情况下的收益比例决策进行研究,但没有考虑产品之间的替代效应对收益分享比例的影响。

综上所述,本研究在已有研究的基础上,针对网络直销环境,采用加和的价格线性需求模型,在单周期内对随机需求下替代效应进行系统的分析,侧重探讨随机需求的替代产品对电子零售商的最优收益分享比例的确定,并研究价格竞争、替代效应对制造商的最优定价和供货量及其期望收益的影响。

3 假设和问题描述

假定两个对称的制造商,通过一个电子零售商的零售平台,直销各自的单个替代产品,首先讨论制造商在收益分享比例一定的情况下确定最优定价和供货量决策问题,然后分析电子零售商的收益分享比例,最后探讨替代系数和生产成本对制造商和电子零售商决策的影响。

假定在单周期内,两个对称的制造商通过一个电子零售商的零售平台销售产品给顾客,为了不失一般性,假设制造商1生产产品1,制造商2生产产品2,这两种产品相似度高,可以相互替代。供应链结构见图1。

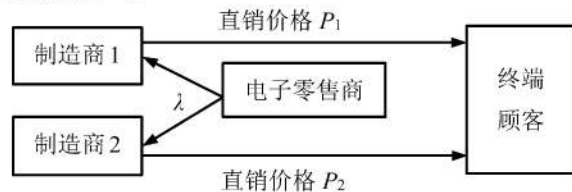


图1 供应链结构

Figure 1 Structure of Supply Chain

在图1中,电子零售商对租用其平台的制造商1和制造商2收取 λ 比例的销售收入作为租金,制造商借助电子零售商的网络平台分别发布各自的产品价格信息 P_1 和 P_2 供终端顾客选购。

本研究的符号定义如下。

i, j 为制造商代码, $i = 1, 2, j = 3 - i$;

P_i 为制造商 i 销售的价格;

P_j 为制造商 j 销售的价格;

D_i 为制造商 i 销售的需求量;

Q_i 为制造商 i 销售的供货量;

$y_i(P_i, P_j)$ 为已知 P_i 和 P_j 时, 制造商 i 销售的产品确定性需求量;

$y_j(P_i, P_j)$ 为已知 P_i 和 P_j 时, 制造商 j 销售的产品确定性需求量;

$E[\cdot]$ 为期望值;

ε_i 为分布在 $[A, B]$ 的随机需求量, $E\varepsilon_i = \mu, A$ 为下限, B 为上限, μ 为 ε_i 的期望值;

$F(u)$ 为 ε_i 的累积密度函数, $F(u)$ 可微, 严格递增且 $F(A) = 0, u$ 为 ε_i 的取值;

$f(u)$ 为 ε_i 的概率密度函数;

α 为制造商 i 销售的产品潜在需求, $\alpha > 0$;

γ 为价格替代效应系数;

β 为制造商 i 销售的产品需求价格弹性;

C 为单位供货成本, 包括生产成本和配送成本, $C \leq P_i, C \leq P_j$;

g 为单位产品的缺货成本, $g > C$;

s 为单位产品的残值, $s > 0$;

λ 为电子零售商对制造商设定的收益比例;

上角标 * 为最优值;

Π 为利润;

z_i 为中间变量, $z_i = Q_i - y_i(P_i, P_j)$, 表示制造商 i 销售的产品的供货量 Q_i 与确定性需求 $y_i(P_i, P_j)$ 之间的偏差;

z_j 为中间变量, $z_j = Q_j - y_j(P_i, P_j)$, 表示制造商 j 销售的产品的供货量 Q_j 与确定性需求 $y_j(P_i, P_j)$ 之间的偏差;

$\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)$ 为已知制造商 j 的 z_j 和 P_j 的情况下, 当决策变量为 z_i 和 P_i 时制造商 i 的利润, 下角标 mi 为制造商 i ;

$\Pi_r(\lambda)$ 为当决策变量为 λ 时电子零售商的利润, 下角标 r 为电子零售商;

P_i^0 为最优无风险价格, 上角标 0 为最优无风险状态。

假定顾客对制造商 i 销售的产品需求为加和形式的需求模型^[30-31], 即

$$D_i = y_i(P_i, P_j) + \varepsilon_i$$

$$y_i(P_i, P_j) = \alpha - \beta P_i + \gamma P_j$$

假定 $0 < \gamma < \beta$, 表明顾客在需求产品 i 时, 对 P_i 的变化比对 P_j 的变化更敏感。 $(\beta - \gamma)$ 为两种产品的相似替代系数, $(\beta - \gamma)$ 越小表示两种产品相似替代度越高; $\gamma = 0$ 表示需求是独立的, 没有替代效应。假定 $A > -\alpha$, 这与 Petruzzi 等^[30] 的研究类似, 保证需求 $D_i \geq (A + \alpha) - \beta P_i + \gamma P_j \geq 0$, 因此制造商 i 的供货量为 $Q_i \in [y_i(P_i, P_j) + A, y_i(P_i, P_j) + B]$ 。参考 Carrillo 等^[32] 的研究, 定义 $z_i = Q_i - y_i(P_i, P_j)$ 。制造商 i 对决策变量 Q_i 和 P_i

的期望利润可以转化为对决策变量 z_i 和 P_i 的期望利润。已知制造商 j 的 z_j^* 和 P_j^* , 当决策变量为 z_i 和 P_i 时, 制造商 i 的期望利润为

$$\begin{aligned} & E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)] \\ &= \int_A^{z_i} \{ (1-\lambda)P_i[y_i(P_i, P_j) + u] + s(z_i - u) \} f(u) du + \\ & \int_{z_i}^B \{ (1-\lambda)P_i[y_i(P_i, P_j) + z_i] - e(u - z_i) \} f(u) du - \\ & C[y(P_i | P_j) + z_i] \end{aligned}$$

$$\text{定义 } \Lambda(z_i) = \int_A^{z_i} (z_i - u)f(u) du$$

$$\Theta(z_i) = \int_{z_i}^B (u - z_i)f(u) du$$

则称 $\Lambda(z_i)$ 为期望剩余量, 表示 u 在区间 $[A, z_i]$ 时 $(z_i - u)$ 的期望; $\Theta(z_i)$ 为期望缺货量, 表示 u 在区间 $[z_i, B]$ 时 $(u - z_i)$ 的期望。制造商的预期收益函数可以改写为

$$E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)] = \Psi(P_i) - L(z_i, P_i) \quad (1)$$

$$\Psi(P_i) \equiv [(1-\lambda)P_i - C][y_i(P_i, P_j) + \mu] \quad (2)$$

$$L(z_i, P_i) \equiv (C-s)\Lambda(z_i) + [(1-\lambda)P_i + g - C]\Theta(z_i) \quad (3)$$

对于给定价格且随机需求变量 ε_i 被 μ 代替的确定性等价问题, (2) 式为无风险利润函数, (3) 式为总损失函数, $(C-s)$ 为 z_i 太大时期望剩余量的单位过剩成本, $[(1-\lambda)P_i + g - C]$ 为 z_i 太小时期望缺货量的单位缺货成本。

为了分析电子零售商的收益分享比例决策以及制造商的价格和供货量决策, 本研究构建两阶段主从博弈模型, 电子零售商为领导者, 制造商为跟随者。第一阶段, 电子零售商在考虑到制造商会对顾客制定相应价格和供货量的基础上, 确定其对制造商的收益分享比例 λ 。第二阶段, 在给定电子零售商收费标准条件下, 制造商 i 同时确定各自的价格 P_i 和供货量 Q_i ; 终端顾客根据自己的需求 D_i 选择不同的制造商和价格, 制造商将产品配送给顾客。决策顺序见图 2。

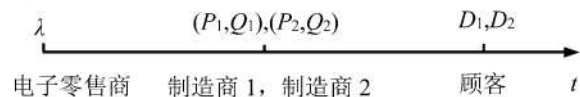


图 2 决策顺序

Figure 2 Sequences of Events

4 模型求解和分析

利用逆向归纳法, 首先分析第二阶段, 给定收益分享比例 λ 下制造商的最优价格和供货量决策; 然后分析第一阶段电子零售商的收费标准。

4.1 第二阶段制造商 i 的决策

假定给定收益分享比例 λ , 制造商 i 已知制造商 j

的 z_i^* 和 P_j^* ,为了最大化自身预期收益,寻求 z_i^* 和 P_i^* ,以使制造商*i*的期望利润达到最大值,即求解最优化问题为

$$\max_{z_i, P_i} E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)] \quad (4)$$

将 $E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]$ 对 z_i 和 P_i 分别求一阶偏导数和二阶偏导数,即

$$\begin{aligned} & \frac{\partial E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]}{\partial z_i} \\ &= -(C-s) + [(1-\lambda)P_i + g-s][1-F(z_i)] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]}{\partial z_i^2} \\ &= -[(1-\lambda)P_i + g-s]f(z_i) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]}{\partial P_i} \\ &= 2(1-\lambda)(P_i^0 - P_i) - (1-\lambda)\Theta(z_i) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]}{\partial P_i^2} = -2(1-\lambda) \quad (8)$$

实际上,(7)式中 P_i^0 为使 $\Psi(P_i)$ 取得最大值的点, $P_i^0 = \frac{\alpha + \gamma P_j + \mu}{2\beta} + \frac{C}{2(1-\lambda)}$ 。由(8)式可知,对于给定的 z_i , $E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]$ 为关于 P_i 的凹函数,即存在唯一 P_i 使 $E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]$ 最大。如果把 P_i 看作 z_i 的函数并代入 $E[\Pi_{mi}(z_i, P_i) | (z_j, P_j)]$,则(4)式的最优化问题可以转化为 $E\{\Pi_{mi}[z_i, P_i(z_i)] | (z_j, P_j)\}$ 对 z_i 的最优化。联立(7)式和(8)式得如下引理。

引理1 已知收益分享比例 λ 和制造商*j*的 z_j^* 和 P_j^* 时,对于给定的 z_i ,最优销售价格 P_i^* 由(9)式唯一确定,即

$$P_i^* \equiv P_i(z_i) = P_i^0 - \frac{\Theta(z_i)}{2} \quad (9)$$

从引理1可以看出,制造商*i*的最优销售价格 P_i^* 总是小于最优无风险价格 P_i^0 ,这是因为随机需求量波动,期望缺货量 $\Theta(z_i)$ 总大于0。Mills^[33]和Petruzzi等^[30]对这一现象有相应的解释。

用 P_i^* 代替 $P_i(z_i)$,代入(4)式,则原来关于 z_i 和 P_i 的二维最优化问题(即制造商的最优化问题)转化为如下关于 z_i 的一维最优化问题,即

$$\max_{z_i} E\{\Pi_{mi}[z_i, P_i(z_i)] | (z_j, P_j)\} \quad (10)$$

定义 $r(z_i) = \frac{f(z_i)}{1-F(z_i)}$,则称 $r(z_i)$ 为 z_i 的失效率,又称失效率。

求解制造商关于 z_i 的一维最优化问题时需要将 $E\{\Pi_{mi}[z_i, P_i(z_i)] | (z_j, P_j)\}$ 对 z_i 求一阶导数。为了方便表述,令

$$R(z_i) = \frac{dE\{\Pi_{mi}[z_i, P_i(z_i)] | (z_j, P_j)\}}{dz_i}$$

则

$$\begin{aligned} R(z_i) &= -(C-s) + \{(1-\lambda)[P_i^0 - \frac{\Theta(z_i)}{2}] + g-s\} \cdot \\ & [1-F(z_i)] = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

证明略,作者备索。

定理1 已知收益分享比例 λ 和制造商*j*的 z_j^* 和 P_j^* ,如果 $F(\cdot)$ 满足 $2r(z_i)^2 + \frac{dr(z_i)}{dz_i} > 0$, $R(z_i)$ 必存在唯一的零点值,对应最优的 z_i^* 由(11)式给出;制造商*i*最优的销售价格 P_i^* 由(9)式给出,最优供货量满足 $Q_i^* = \alpha - (\beta - \gamma)P_i^* + z_i^*$,最大的期望利润由(1)式给出。若制造商的失效率 $r(z_i)$ 为 z_i 的增函数,则称 z_i 具有单调递增的失效率,简记为IFR。IFR是一类十分广泛的分布,常见的均匀分布、指数分布、正态分布、Weibull分布和gamma分布等都具有这一性质。如果 z_i 服从这些常见的分布, $F(\cdot)$ 必满足 $2r(z_i)^2 + \frac{dr(z_i)}{dz_i} > 0$, $R(z_i)$ 必存在唯一的零点值使制造商的期望利润最大。

从定理1可知,由于对称性,假如制造商*j*已知 z_i^* 和 P_i^* 时,可以解出自身的 z_j^* 和 P_j^* 。由于制造商*i*和制造商*j*同时决策,联立 z_i^* 、 z_j^* 、 P_i^* 和 P_j^* ,可以解出最优均衡解,最优均衡是纳什均衡。

定理2 给定收益分享比例 λ ,如果 $F(\cdot)$ 满足 $2r(z_i)^2 + \frac{dr(z_i)}{dz_i} > 0$,制造商*i*和制造商*j*的最优均衡解为 $z_i^* = z_j^*$,且满足

$$-(C-s) + [(1-\lambda)P_i^* + g-s][1-F(z_i^*)] = 0 \quad (12)$$

$$P_i^* = P_j^* = \frac{\alpha + \mu - \Theta(z_i^*)}{2\beta - \gamma} + \frac{C}{(1-\lambda)(2\beta - \gamma)} \quad (13)$$

$$Q_i^* = Q_j^* = \alpha - (\beta - \gamma)P_i^* + z_i^* \quad (14)$$

最大的期望利润为

$$\begin{aligned} & E[\Pi_{mi}(z_i^*, P_i^*)] \\ &= E[\Pi_{mj}(z_j^*, P_j^*)] \\ &= [(1-\lambda)P_i^* - C][\alpha - (\beta - \gamma)P_i^* + \mu] - \\ & (C-s)\Lambda(z_i^*) - [(1-\lambda)P_i^* + g-C]\Theta(z_i^*) \end{aligned} \quad (15)$$

从(12)式和(13)式可知,给定收益分享比例 λ 时,制造商*i*的最优价格 P_i^* 为 z_i^* 的增函数;从(14)式可知,制造商*i*的最优供货量 Q_i^* 为 z_i^* 的增函数。这说明, z_i^* 增大时,制造商会增加供货量和提高售价。

从(12)式和(13)式还可知,给定收益分享比例 λ 时, z_i^* 为 γ 的减函数, P_i^* 为 γ 的增函数,这说明替代效应系数 γ 增大时,产品之间的替代效应增大, z_i^* 减少,制造商应该提高价格,使期望利润最大。

4.2 第一阶段收益比例确定

4.1节在给定电子零售商收费标准条件下,制造商*i*确定了价格 P_i^* 和供货量 Q_i^* 。本节电子零售商考虑制造商和终端市场各因素,从收益最大化的角度确定其收益分享比例。

电子零售商的期望利润函数 $E[\Pi_i(\lambda)]$ 可以表示为

$$E[\Pi_i(\lambda)] = \sum_{i=1}^2 \lambda P_i^* [\alpha - (\beta - \gamma) P_i^* + \mu] - \sum_{i=1}^2 \lambda P_i^* \Theta(z_i^*) \quad (16)$$

其中, $\sum_{i=1}^2 \lambda P_i^* [\alpha - (\beta - \gamma) P_i^* + \mu]$ 为无风险的租金收益函数, $\sum_{i=1}^2 \lambda P_i^* \Theta(z_i^*)$ 为由于制造商供不应求缺货时电子零售商的租金损失。

由于 $\alpha - (1 - \gamma) P_i^* + \mu - \Theta(z_i^*) = \beta P_i^* - \frac{\beta C}{1 - \lambda}$, (16) 式可化为

$$E[\Pi_i(\lambda)] = \beta \sum_{i=1}^2 \lambda P_i^* (P_i^* - \frac{C}{1 - \lambda}) \quad (17)$$

电子零售商的最优化问题是已知 z_i^* 和 P_i^* , 寻求最优的收益分享比例 λ , 使其期望利润最大, 即

$$\max_{\lambda} E[\Pi_i(\lambda)] \quad (18)$$

将 $E[\Pi_i(\lambda)]$ 对 λ 求一阶偏导数, 得

$$\frac{\partial E[\Pi_i(\lambda)]}{\partial \lambda} = \beta \sum_{i=1}^2 \left\{ P_i^* \left[P_i^* - \frac{C}{(1 - \lambda)^2} \right] + \lambda \left(2P_i^* - \frac{C}{1 - \lambda} \right) \frac{\partial P_i^*}{\partial \lambda} \right\} \quad (19)$$

其中, $\frac{\partial P_i^*}{\partial \lambda} = \frac{1 - F(z_i^*)}{2\beta - \gamma} \cdot \frac{\partial z_i^*}{\partial \lambda} + \frac{C}{(1 - \lambda)^2 (2\beta - \gamma)}$ (20)

(12) 式两边都对 λ 求一阶偏导数, 并化简得

$$\frac{\partial z_i^*}{\partial \lambda} = \frac{[1 - F(z_i^*)][\alpha + \mu - \Theta(z_i^*)]}{W} \quad (21)$$

其中, $W = (1 - \lambda)[1 - F(z_i^*)]^2 - r(z_i^*)(C - s)(2\beta - \gamma)$

联立(13)式、(19)式~(21)式可解出 λ^* , 对应的 $E[\Pi_i(\lambda^*)]$ 为电子零售商最大的收益。

5 敏感度分析

前文在单位供货成本 C 和价格替代效应系数 γ 既定的情况下, 解出电子零售商的收益分享比例 λ 以及制造商价格和供货量的最优解, 并在给定 λ 的情况下分析了 z_i^* 对 P_i^* 以及 γ 对 z_i^* 和 P_i^* 的影响。由于不同的市场环境, γ 或 C 随产品种类不同差别很大, 如智能电话与服装鞋帽等单位配送成本 C 差别很大, 冰箱和电视等家电与图书的价格替代效应系数 γ 差别很大。通过数值实验, 在更普遍的情况下分析 γ 和 C 对 λ^* 、 z_i^* 、 P_i^* 、 Q_i^* 以及制造商、电子零售商和供应链利润的影响。假设 ε_i 为 $[-B, B]$ 上均匀分布的随机变量, $B > 0, E\varepsilon_i = \mu = 0$, 则 $1 - F(z_i^*) = \frac{B - z_i^*}{2B}$, $\Lambda(z_i) = \frac{(B + z_i^*)^2}{4B}$, $\Theta(z_i^*) = \frac{(B - z_i^*)^2}{4B}$, $\int_B^{z_i^*} F(u) du = \frac{(B + z_i^*)^2}{4B}$, $r(z_i) = \frac{1}{B - z_i^*}$ 。

5.1 产品替代的影响

5.1 产品替代的影响

假设 $s = 0.050, g = 1, B = 10, \alpha = 100, \beta = 250$, 研究 $C = 0.300$ 时, $\gamma = \{25, 75, 125, 175\}$ 对制造商和电子零售商各参数和利润的影响, 具体见表1。

由表1可知, 在产品的单位供货成本既定情况下, 随着产品之间价格替代效应系数的增大, 电子零售商的收益分享比例增大, 电子零售商和供应链的利润增大; 制造商的价格上升、供货量增加、市场规模扩大, 制造商的利润先增加后减少。这说明, 对电子零售商而言, 制造商直销的产品之间价格替代效应系数越高对其越有利; 对制造商而言, 适中的替代效应系数最有利, 过高或过低的替代效应系数都会使利润减少。本结论为电子零售商在每一个产品种类都吸引相似替代度很高的产品的制造商来直销这一现象给出一定的解释, 但现实中, 有的电子零售商(如京东商城)即使不能吸引价格替代效应系数很高的产品制造商入驻其网络平台来直销, 也应吸引相似替代度适中的产品(如服装、鞋帽)供应商来直销。

表1 不同 γ 情况下各参数的对应值($C = 0.300$)

Table 1 Performances Based on Parameter of γ When $C = 0.300$

γ	λ^*	z_i^*	P_i^*	Q_i^*	制造商的利润	电子零售商的利润	供应链的利润
25	0.184	6.091	0.403	15.356	3.786	1.320	8.892
75	0.293	6.131	0.484	21.434	6.526	4.233	17.285
125	0.426	6.161	0.614	29.359	8.140	11.965	28.244
175	0.602	6.162	0.887	39.664	3.544	35.381	42.469

表2 不同C情况下各参数的对应值($\gamma=100$)
Table 2 Performances Based on Parameter of C When $\gamma=100$

C	λ^*	z_i^*	P_i^*	Q_i^*	制造商的利润	电子零售商的利润	供应链的利润
0.100	0.684	9.084	0.448	41.928	19.026	20.102	58.154
0.150	0.585	8.257	0.476	36.922	15.481	15.900	46.862
0.200	0.499	7.450	0.499	32.602	12.510	12.441	37.461
0.250	0.424	6.800	0.521	28.715	9.921	9.558	29.400
0.300	0.356	6.148	0.540	25.129	7.620	7.153	22.393

5.2 生产成本的影响

假设 $s = 0.050, g = 1, B = 10, \alpha = 100, \beta = 250$, 研究当 $\gamma = 100$ 时, $C = \{0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300\}$ 对制造商和电子零售商各参数和利润的影响, 具体见表2。

由表2可知, 在制造商产品相似替代系数既定情况下, 单位供货成本越大, 电子零售商的收益分享比例会减少, 价格上升, 市场规模减少, 供货量下降, 电子零售商、制造商和供应链利润会减少。

这说明, 当制造商的单位供货成本增大时, 即使电子零售商减少收益分享比例, 但仍然不能弥补制造商由于单位供货成本上升带来的损失, 电子零售商、制造商和供应链的利润都下降。当其他条件相同时, 电子零售商为了自身和制造商利益, 应该挑选成本低的制造商入驻平台, 或者采取措施帮助制造商降低单位供货成本, 这些对电子零售商、制造商和整个供应链都有利。本结论说明电子零售商应该选择供货成本合理的制造商入驻直销, 或采取销售信息共享、提供低成本融资、提供优惠的物流配送服务等措施帮助制造商降低采购成本、生产成本、库存成本、配送成本等, 实现双赢。

6 结论

本研究在网络直销背景下, 针对一个电子零售商和两个制造商的供应链, 研究在面临终端顾客对替代产品的随机需求时, 电子零售商的最优收益分享比例以及制造商的最优价格和供货量。通过构建并求解两阶段主从博弈模型, 研究发现, 当产品的单位供货成本既定时, 产品相互替代度越大, 电子零售商的收益分享比例和利润越大, 制造商的利润却先增加后减少。当制造商产品相似替代系数既定时, 单位供货成本越大, 电子零售商的收益分享比例和利润会越少。所以, 如果产品的单位供货成本既定时, 电子零售商应引进产品相互替代程度高的制造商, 实现利润最大化; 如果产品相似替代系数既定, 电子零售商应该挑选成本低的制造商入驻平台, 或者采取措施帮助制造商降低单位供货成本, 实现双

赢。该结论对天猫、京东商城、亚马逊中国等电子零售商如何吸引更多的制造商来直销产品并提高平台利润、对制造商如何选择合适的平台提高利润和市场占有率都具有重要的理论意义和实践价值。

需要指出的是, 本研究仅对两个制造商(每个制造商生产一种产品)生产的相互替代产品进行研究, 而现实中, 顾客经常面临3个及3个以上制造商生产的相互替代产品的选择, 因此将来可进一步研究对多种产品的相互替代效应。此外, 本研究假设电子零售商和制造商是风险中立的, 因此对风险规避的供应链研究也是一个可以扩展的方向。

参考文献:

- [1] Jiang B, Jerath K, Srinivasan K. Firm strategies in the "mid-tail" of platform-based retailing [J]. *Marketing Science*, 2011, 30(5): 757-775.
- [2] 官振中, 任建标. 价格和库存驱动替代的两产品动态定价策略 [J]. *系统管理学报*, 2013, 22(2): 177-184.
Guan Zhenzhong, Ren Jianbiao. Dynamic pricing policy for two products with price-driven and inventory-driven substitutions [J]. *Journal of Systems & Management*, 2013, 22(2): 177-184. (in Chinese)
- [3] McGillivray A R, Silver E A. Some concepts for inventory control under substitutable demand [J]. *INFORM*, 1978, 16(1): 47-63.
- [4] Parlar M, Goyal S K. Optimal ordering decisions for two substitutable products with stochastic demands [J]. *OPSEARCH*, 1984, 21(1): 1-15.
- [5] Netessine S, Rudi N. Centralized and competitive inventory models with demand substitution [J]. *Operations Research*, 2003, 51(2): 329-335.
- [6] Xu H, Yao D D, Zheng S. Optimal control of replenishment and substitution in an inventory system with nonstationary batch demand [J]. *Production and Operations Management*, 2011, 20(5): 727-736.
- [7] Stavroulaki E. Inventory decisions for substitutable prod-

- ucts with stock-dependent demand [J]. *International Journal of Production Economics*, 2011, 129(1): 65–78.
- [8] Nagarajan M, Rajagopalan S. Inventory models for substitutable products: Optimal policies and heuristics [J]. *Management Science*, 2008, 54(8): 1453–1466.
- [9] Rajaram K, Tang C S. The impact of product substitution on retail merchandising [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 135(3): 582–601.
- [10] Tang C S, Yin R. Joint ordering and pricing strategies for managing substitutable products [J]. *Production and Operations Management*, 2007, 16(1): 138–153.
- [11] 牟博佼, 肖勇波, 陈剑. 基于 MNL 选择模型的替代产品定价和库存决策研究 [J]. *中国管理科学*, 2010, 18(3): 25–32.
Mu Bojiao, Xiao Yongbo, Chen Jian. Pricing and inventory decisions for substitutable products based on MNL customer choice model [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2010, 18(3): 25–32. (in Chinese)
- [12] 李彤, 胡海玲, 杨志林. 三种可替代的 Newsboy 型产品最优订购模型 [J]. *大学数学*, 2010, 26(6): 141–146.
Li Tong, Hu Hailing, Yang Zhilin. Optimal ordering model for three kinds of Newsboy-type products [J]. *College Mathematics*, 2010, 26(6): 141–146. (in Chinese)
- [13] Zhu K, Thonemann U W. Coordination of pricing and inventory control across products [J]. *Naval Research Logistics*, 2009, 56(2): 175–190.
- [14] 周永务, 王圣东. 库存控制理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 318–337.
Zhou Yongwu, Wang Shengdong. *Inventory control theory and method* [M]. Beijing: Science Press, 2009: 318–337. (in Chinese)
- [15] Choi T M. *Handbook of newsvendor problems: Models, extensions and applications* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2012: 3–40.
- [16] Zhao J, Wei J, Li Y. Pricing decisions for substitutable products in a two-echelon supply chain with firms' different channel powers [J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 153: 243–252.
- [17] Choi S C. Price competition in a channel structure with a common retailer [J]. *Marketing Science*, 1991, 10(4): 271–296.
- [18] McGuire T W, Staelin R. An industry equilibrium analysis of downstream vertical integration [J]. *Marketing Science*, 1983, 2(2): 161–191.
- [19] Cachon G P, Lariviere M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: Strengths and limitations [J]. *Management Science*, 2005, 51(1): 30–44.
- [20] Cai G, Dai Y, Zhou S X. Exclusive channels and revenue sharing in a complementary goods market [J]. *Marketing Science*, 2012, 31(1): 172–187.
- [21] Kong G, Rajagopalan S, Zhang H. Revenue sharing and information leakage in a supply chain [J]. *Management Science*, 2013, 59(3): 556–572.
- [22] Wang Y, Jiang L, Shen Z J. Channel performance under consignment contract with revenue sharing [J]. *Management Science*, 2004, 50(1): 34–47.
- [23] 林志炳, 蔡晨, 许保光. 损失厌恶下的供应链收益共享契约研究 [J]. *管理科学学报*, 2010, 13(8): 33–41.
Lin Zhibing, Cai Chen, Xu Baoguang. Revenue sharing analysis of supply chain with loss aversion [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(8): 33–41. (in Chinese)
- [24] 杨道箭, 齐二石, 魏峰. 顾客策略行为与风险偏好下供应链利润分享 [J]. *管理科学学报*, 2011, 14(12): 50–59.
Yang Daojian, Qi Ershi, Wei Feng. Supply chain profit sharing under strategic customer behavior and risk preference [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2011, 14(12): 50–59. (in Chinese)
- [25] 曹东, 杨春节, 李平, 周根贵. 不对称信息下供应链线性分成制契约设计研究 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(2): 19–30.
Cao Jian, Yang Chunjie, Li Ping, Zhou Gengui. Design of supply chain linear shared-saving contract with asymmetric information [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(2): 19–30. (in Chinese)
- [26] 田厚平, 刘长贤. 非对称信息下分销渠道中的激励契约设计 [J]. *管理科学学报*, 2009, 12(3): 77–82.
Tian Houping, Liu Changxian. Incentive contract design in distribution channel with asymmetric information [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(3): 77–82. (in Chinese)
- [27] 徐鸿雁, 陈剑. 不对称信息下对异质销售商激励及产品定价 [J]. *系统工程学报*, 2011, 26(2): 222–228.
Xu Hongyan, Chen Jian. Pricing and incentives on heterogeneous sales-agents under asymmetric information [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2011, 26(2): 222–228. (in Chinese)
- [28] Wu Z, Zhu W, Crama P. The newsvendor problem with advertising revenue [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2011, 13(3): 281–296.
- [29] 徐和, 何燕, 马士华. 基于网络零售平台的激励

- 合同研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(12): 79-84.
- Xu He, He Yan, Ma Shihua. Incentive contract design when platform-selling [J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(12): 79-84. (in Chinese)
- [30] Petrucci N C, Dada M. Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions [J]. Operations Research, 1999, 47(2): 183-194.
- [31] Bish E, Liu J, Suwandechochai R. Optimal capacity, product substitution, linear demand models, and uncertainty [J]. The Engineering Economist, 2009, 54(2): 109-151.
- [32] Carrillo J E, Vakharia A J, Wang R. Environmental implications for online retailing [J]. European Journal of Operational Research, 2014, 239(3): 744-755.
- [33] Mills E S. Uncertainty and price theory [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1959, 73(1): 116-130.

Study on a Platform-selling Supply Chain Facing Random and Substitutable Demand

He Yan, Xu He, Chen Pengyu

School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: This article investigates a supply chain consisting of two symmetric manufacturers and one e-retailer. Each manufacturer offers one substitutable product and sells it through a platform owned by the e-retailer. The demand of these products is substitutable, price-sensitive and random. The e-retailer only provides the platform and charges a certain percentage of revenues from e-retail price of the product, which is referred to as percentage fees and commonly observed from the e-commerce. Each manufacturer determines the market price and production quantity for his product before the demand met. The market price of each product is announced at the e-retailer's platform. Observing the information of each manufacturer from the e-retailer's platform, customers place orders via the platform. Manufacturers then deliver products directly to customers and obtain the net revenues deducted the agreed percentage fees. Manufacturers will bear an underage cost for each of the shortages when customers are not satisfied or bear an overage cost for each of the leftover inventory. We formulate these interactive decisions through a two-stage Stakelberg game. In the first stage, the e-retailer determines the percentage fee, taking the manufacturers' responses into consideration. Higher percentage fee can lead to higher market price and lower quantity. Low percentage may decrease the profit margin. Therefore the e-retailer has to trade off these two effects. In the second stage, each manufacturer determines his production quantity and market price under the given percentage fee offered by the e-retailer. As the demand is substitutable, these manufacturers are competitors and they have to carefully determine their market prices. Higher price will cause customers to other competitor's products. We derive the symmetric equilibrium market price and quantity under the given percentage fee. The determination of the optimal percentage is also discussed in the article. Finally we conduct an extensive numerical study to investigate the effects of substitutability and costs on the optimal decisions and the performance of each party and the whole chain. We observe that the e-retailer charges a higher percentage and obtains a higher profit when the demand is more substitutable. When the manufacturer's unit production cost is high, the e-retailer has to decrease the percentage and his profit is also decreased. Therefore, it is better for the e-retailer to offer product types with a strong substitutable feature as e-retailer prefers to choose competitive manufacturers. This indicates that the e-retailer may have a motivation to cooperate with manufacturers to decrease the costs under a proper contract. This article offers a practical and a theoretical guidance to e-retailers who rent their own platforms to manufacturers.

Keywords: platform-selling; substitutable product; random; Game theory; platform; supply chain

Received Date: August 1st, 2014 **Accepted Date:** December 31st, 2014

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China(71271092), the Program for New Century Excellent Talents in University(NCET110188) and Innovation Fund of HUST(2014QN202)

Biography: He Yan (1976 - , Native Zhongxiang, Hubei), is a Ph. D candidate in the School of Management at Huazhong University of Science and Technology. Her research interests cover e-commerce management and operation & supply chain management, etc.

E-mail: heeyan@hust.edu.cn

□