

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2025.09.013

考虑部件供应受限的供应链产品升级策略

夏焱¹, 陈敬贤^{1,2}, 杨惠¹, 刘松诺¹

(1. 合肥工业大学 管理学院, 安徽 合肥 230009; 2. 数据科学与智慧社会治理教育部哲学社会科学实验室, 安徽 合肥 230009)

摘要:受原料供应紧张等因素影响,市场供应往往会出现缺口。文章研究制造商部件供应受限时产品升级策略的有效性,基于 1 个制造商和 1 个零售商组成的二级供应链,构建部件供应受限时不采取升级和采取升级 2 种策略下的制造商决策模型,通过博弈的方法分析并比较制造商和零售商的最优利润。研究表明,供应受限对制造商和零售商利润都造成了一定的负面影响,但在一定条件下制造商可以通过产品升级策略弱化该负面影响。进一步对比产品供应不受限的情况,确定制造商和零售商从产品升级策略中受益的条件,说明供应受限对制造商和零售商而言并非是完全不利的,并阐明了升级策略的价值。

关键词:供应受限;产品升级;纳什均衡;Stackelberg 博弈;定价决策

中图分类号:F272.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2025)09-1234-09

Supply chain product upgrade strategies for constrained component supply

XIA Yan¹, CHEN Jingxian^{1,2}, YANG Hui¹, LIU Songnuo¹

(1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Philosophy and Social Sciences Laboratory of Data Science and Smart Society Governance of Ministry of Education, Hefei 230009, China)

Abstract: Affected by factors such as tight supply of raw materials, market supply often experiences shortages. In order to investigate the effectiveness of a manufacturer's product upgrade strategy when the supply of components is constrained, this paper constructs a manufacturer's decision model based on a two-level supply chain consisting of a manufacturer and a retailer with or without an upgrade strategy when the supply of components is constrained, and analyzes and compares the optimal profits of the manufacturer and the retailer by means of a game approach. The results show that supply constraint has a negative impact on both manufacturers' and retailers' profits, but under certain conditions, manufacturers can weaken this impact through product upgrade strategy. Based on comparison with the situation when the product supply is not constrained, the conditions under which manufacturers and retailers benefit from product upgrade strategy are identified, indicating that supply constraint is not completely disadvantageous to manufacturers and retailers, which also clarifies the value of the upgrade strategy.

Key words: supply constraint; product upgrading; Nash equilibrium; Stackelberg game; pricing decision

供应链的安全稳定和高效畅通是经济良性循环的基础。目前,随着数字化技术对供应链的渗透,市场竞争和环境变化不断加剧^[1],全球化退潮使得各国产业都可能面临订单中断、供应短缺、人员不足等挑战。

根据汽车行业数据预测公司 AutoForecast Solutions 的统计,2022 年全球汽车产业因芯片短

缺问题减产了约 450 万辆新车。为了应对产品部件供应受限甚至中断的情况,有企业采取了产品升级策略。例如,新宝电器对产品进行了全面升级改造,使得其订单不降反升^[2];针对制裁之下,芯片库存告急,华为对自己的平板产品线进行了免费升级,硬件上得到了提升。可以看到,当部件产品供应受限后,进行其他板块的升级一定程度

收稿日期:2023-05-06;修回日期:2023-07-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72171073;72571084)

作者简介:夏焱(1997—),女,安徽六安人,合肥工业大学硕士生;

陈敬贤(1982—),男,安徽合肥人,博士,合肥工业大学教授,博士生导师,通信作者,E-mail:jxchen@hfut.edu.cn.

上能够缓解供应不足的压力,但随之又会带来新的成本,升级策略能否提高供应链上制造企业和零售企业的利润是本文要研究的主要问题。本文针对由上游制造商和下游零售商组成的二级供应链系统,制造商给零售商提供产品并在部件供应受限时可选择产品升级,利用博弈思想得到了不同情形下的最优订货量、批发价及制造商和零售商的利润,分析了升级策略的有效性。

近年来,产品升级成为驱动制造业升级的“关键节点”^[3],企业不断地进行产品升级更新以应对消费者快速变化的需求。学者们研究了消费者行为对产品升级策略选择的影响,文献[4]研究了考虑消费者策略行为下供应商的产品升级策略;文献[5]从消费者有、无购买产品历史的视角,考虑了基于产品升级的两阶段定价策略问题;文献[6]研究了供应商推出新的升级产品时,消费者的行为对供应商和零售商的定价决策的影响。也有学者研究了二级供应链系统上的制造商零售商产品升级策略,文献[7]研究了供应链企业在产品升级成本分担中的产能分配问题;文献[8]研究了供应商与存在行为偏好的制造商组成的二级供应链中质量升级努力投入与定价问题;文献[9]构建2个模型来研究下游制造商的产品升级策略对上游供应商再制造的影响;文献[10-12]研究了供应链中的产品升级对竞争者的影响。

随着供应链系统的不断复杂化,供应不足的现象普遍存在,企业从供应商处实际获得的产品数量小于订购量,使企业面临巨大风险^[13]。对此,制造商需妥善应对供应风险,保证自身需求的准确供应,否则可能会造成严重损失^[14]。供应数量不足是供应不确定的突出表现形式之一,针对该情况下的采购决策问题,文献[15]在具有不确定产能风险的前提下,分析了多个因素对制造商采购决策的作用;文献[16]研究了供应商随机产出和中断2种风险下,制造商采购与供应商的生产最优决策。此外,有学者研究了面临供应不足的应对措施,文献[17]建立单阶段采购模型,从实际需求的角度证明了库存策略应对供应风险的有效性;文献[18]揭示了应对供应中断导致的供应不足时,中国品牌商是否有动机升级采购策略来保障供应稳定。

本文研究产品升级能否成为应对供应不足问题的另一个策略,新宝电器和蔚来汽车的案例也说明该问题具有研究意义。

1 研究假设与模型描述

本文考虑由1个制造商和1个零售商组成的二级供应链。零售商对市场销售产品,其逆需求函数为 $p=a-bq$,其中: p 为零售商产品销售价格; q 为零售商的订货量。制造商可能会面临产品部件受限的情况,即其需求量得不到完全满足,此时制造商考虑是否应用产品升级策略来弱化受限的影响。

假设制造商产能为 $K(K>0)$,对制造商而言,其产能 K 在生产工厂建好之后即固定,为定值,但针对不同制造商的生产能力, K 有大小之分。生产成本为 c ,供应受限之后的实际产量为 Q ,以批发价 w 向零售商提供产品,用 α 表示制造商的产能受限程度,且 $0<\alpha<1$ 。假设产品残值为0,即零售商将制造商提供的商品全部售出。供应受限后,制造商的实际产量将受到 K 和 α 两者共同限制,因此未必能满足市场需求。

对零售商而言,由于受到制造商实际产量变化的影响,它的订货量只能取需求和实际产量中的最小值。部件供应受限后,制造商通过投入升级成本 $c_u(c_u>0)$ 对产品进行升级改造。升级针对的是供应不会受到限制或者受限程度很低的其他部件产品,例如蔚来汽车在原材料成本上涨和芯片供应短缺的情况下,对2022款车型的智能硬件进行了重大升级,包括芯片、摄像头以及5G模块等。假设升级是针对受限后的全部产品,例如当汽车芯片短缺后升级硬件,针对这些汽车都会进行升级,因此可以假设升级后市场只存在升级产品。产品升级后,用 $\theta(\theta>0)$ 衡量市场用户对升级产品的认可情况,当 $\theta>1$ 表示升级产品得到用户的高度认可,用户可以从中得到更多的效用。

本文模型中,下标M、R分别表示制造商和零售商;左边字母N表示部件产品供应不受限,L表示受限;右边字母N表示产品未升级,U表示产品升级。因此上标NN、LN、LU分别表示制造商部件产品供应不受限且产品不升级、供应受限且产品不升级、供应受限且产品升级3种策略。考虑升级需要花费额外成本,在供应充足的情况下,暂不实施升级策略。

本文模型序关系如下:第1阶段,制造商分别在供应受限和不受限情况下决策产品实际产量 Q 和批发价 w ;第2阶段,零售商决策订货量 q ,利用1个制造商为领导者、零售商为跟随者的两阶段Stackelberg博弈模型来刻画制造商与零售商

之间的战略互动。

2 模型构建与求解

本节内容给出制造商部件供应不受限且产品不升级(NN)策略、供应受限且产品不升级(LN)策略、供应受限且产品升级(LU)策略 3 种情况的纳什均衡解,每个博弈均是利用逆向归纳法进行求解的。

2.1 基准模型

本文以制造商部件供应不受限且产品不升级的情况为基准模型。对于制造商和零售商,用 π_R^{NN} 、 π_M^{NN} 分别表示其利润,则有:

$$\pi_R^{NN} = (a - bq^{NN} - w^{NN})q^{NN} \quad (1)$$

$$\pi_M^{NN} = (w^{NN} - c)q^{NN} \quad (2)$$

其中:零售商的决策变量为订货量 q^{NN} ;销售价格 $p^{NN} = a - bq^{NN}$;制造商的决策变量为批发价 w^{NN} 。

命题 1 在基准模型 NN 策略下,制造商、零售商在决策中存在均衡解,且均衡解为:

$$w^{NN*} = (a + c)/2 \quad (3)$$

$$q^{NN*} = (a - c)/(4b) \quad (4)$$

$$\pi_M^{NN*} = (a - c)^2/(8b) \quad (5)$$

$$\pi_R^{NN*} = (a - c)^2/(16b) \quad (6)$$

证明 由式(1)求 π_R^{NN} 关于 q^{NN} 的二阶偏导数有 $\frac{\partial^2 \pi_R^{NN}}{\partial (q^{NN})^2} = -2b < 0$,因此 π_R^{NN} 为关于 q^{NN} 的凹函数,利用一阶条件可以得到:

$$q^{NN} = \frac{a - w}{2b} \quad (7)$$

将式(7)代入式(2)并求 π_M^{NN} 关于 w^{NN} 的二阶偏导数可以得到 $\frac{\partial^2 \pi_M^{NN}}{\partial (w^{NN})^2} = -1/b < 0$,同理可得 w^{NN*} 。将式(7)、式(3)代入式(1)、式(2)、式(7),即可得到 q^{NN*} 、 π_M^{NN*} 、 π_R^{NN*} 。

2.2 LN 策略

当供应受限且产品不升级时,零售商的决策变量为产品订货量 q^{LN} ,制造商的决策变量为产品批发价 w^{LN} 和实际产量 Q^{LN} ,同样用 π_R^{LN} 、 π_M^{LN} 分别表示此时零售商和制造商的利润,则有:

$$\pi_R^{LN} = (a - bq^{LN} - w^{LN}) \min\{q^{LN}, Q^{LN}\} \quad (8)$$

$$\pi_M^{LN} = (w^{LN} - c)Q^{LN} \quad (9)$$

命题 2 在 LN 策略下,当满足 $a - c - 4bK > 0$ 时,制造商的实际产量和产品批发价的均衡解为:

$$Q^{LN*} = (1 - \alpha)K \quad (10)$$

$$w^{LN*} = a - 2bK(1 - \alpha) \quad (11)$$

当满足 $a - c - 4bK(1 - \alpha) \leq 0$ 时,制造商的实际产量和产品批发价的均衡解为:

$$Q^{LN*} = (a - c)/(4b) \quad (12)$$

$$w^{LN*} = (a + c)/2 \quad (13)$$

证明 在制造商部件供应受限时,零售商订货量也受到约束,满足约束

$$\text{s. t. } q^{LN} \leq Q^{LN} \quad (14)$$

表示对零售商而言,其订货量不会大于上游制造商的实际产量。对式(8)所示的利润函数,求解其关于 q^{LN} 的二阶导数得 $\frac{\partial^2 \pi_R^{LN}}{\partial (q^{LN})^2} = -2b < 0$,易知问题式(8)、式(14)为凸规划,因此 Karush-Kuhn-Tucker(KKT)条件为该问题最优解的充分必要条件。对上述决策过程进行求解,构造拉格朗日函数 $L_1^{LN} = (a - bq^{LN} - w^{LN})q^{LN} + \lambda(Q - q^{LN})$,该问题的 KKT 条件如下:

$$\frac{\partial L_1^{LN}}{\partial q^{LN}} = a - 2bq^{LN} - w^{LN} - \lambda = 0 \quad (15)$$

$$\lambda(Q - q) = 0 \quad (16)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (17)$$

$$\text{求解得到唯一可行解} \begin{cases} \lambda = a - 2bQ^{LN} - w^{LN}, \\ q^{LN} = Q^{LN}. \end{cases}$$

类似地,制造商受到如下约束:

$$Q^{LN} \leq (1 - \alpha)K \quad (18)$$

$$a - 2bQ^{LN} - w^{LN} \geq 0 \quad (19)$$

$$w^{LN} \leq p^{LN} \quad (20)$$

$$w^{LN} \geq c \quad (21)$$

其中:式(18)表示制造商产量不会高于受限之后的产能 $(1 - \alpha)K$;式(19)为满足 KKT 中拉格朗日乘子非负的条件;式(20)、式(21)表示制造商的批发价不高于零售商产品销售价格且不低于生产成本。

因为 $q^{LN} = Q^{LN}$,所以可以构造拉格朗日函数 $L_2^{LN} = (w^{LN} - c)Q^{LN} + \lambda_1(\alpha K - Q^{LN}) + \lambda_2(a - 2bQ^{LN} - w^{LN}) + \lambda_3(w^{LN} - c)$,并求解得到 LN 策略下的均衡解,见表 1 所列。

推论 1 当 $0 < K < (a - c)/(4b)$ 或者 $K \geq (a - c)/(4b)$ 且 $1 - (a - c)/(4bK) < \alpha < 1$ 时, $\pi_M^{LN*} < \pi_M^{NN*}$ 、 $\pi_R^{LN*} < \pi_R^{NN*}$;当 $K \geq (a - c)/(4b)$ 且 $0 < \alpha \leq 1 - (a - c)/(4bK)$ 时, $\pi_M^{LN*} = \pi_M^{NN*}$ 、 $\pi_R^{LN*} = \pi_R^{NN*}$ 。

推论 1 表明:当制造商产能 K 较小时,供应受限导致制造商和零售商的利润都会下降。这是

由于产能较小时,制造商本身应对缺货风险的能力就很弱;当产能 K 较大时,此时若受限程度高,其实际产量受到更大影响,无法满足市场的需求。这一现象是符合现实情况的,例如 2020 年 4 月,大众汽车集团发布的第 1 季度财报显示,鉴于销售量大幅下降和工厂供应的不确定性,营业利润

较去年同期大幅度下跌。同样,受芯片短缺导致的资源供应不足,中国汽车流通协会发布的《2022 年全国汽车经销商生存状况调查报告》显示,2022 年有 45.2% 的经销商出现亏损。为了缓解供应不足的现状,本文将考虑制造商执行产品升级策略。

表 1 制造商部件供应受限且产品不升级策略下的均衡解

条件	$a-c-4bK(1-\alpha)>0$	$a-c-4bK(1-\alpha)\leq 0$
订货量	$q^{LN*} = Q^{LN}$	$q^{LN*} = Q^{LN}$
制造商产量	$Q^{LN*} = (1-\alpha)K$	$Q^{LN*} = (a-c)/(4b)$
批发价	$w^{LN*} = a-2bK(1-\alpha)$	$w^{LN*} = (a+c)/2$
制造商利润	$\pi_M^{LN*} = (1-\alpha)K[a-c-2bK(1-\alpha)]$	$\pi_M^{LN*} = (a-c)^2/(8b)$
零售商利润	$\pi_R^{LN*} = bK^2(1-\alpha)^2$	$\pi_R^{LN*} = (a-c)^2/(16b)$

2.3 LU 策略

类似地,当供应受限且产品升级时,用 π_R^{LU} 、 π_M^{LU} 分别表示此时零售商和制造商的利润,则

$$\pi_R^{LU} = (\theta a - bq^{LU} - w^{LU}) \min\{q^{LU}, Q^{LU}\} \quad (22)$$

$$\pi_M^{LU} = (w^{LU} - c - c_u)Q^{LU} \quad (23)$$

命题 3 在 LU 策略下,当满足 $\theta a - c - c_u - 4bK(1-\alpha) > 0$ 时,制造商实际产量和零售商的批发价的均衡解分别为:

$$Q^{LU*} = (1-\alpha)K \quad (24)$$

$$w^{LU*} = \theta a - 2bK(1-\alpha) \quad (25)$$

当 $\theta a - c - c_u - 4bK(1-\alpha) \leq 0$ 时,制造商和零售商的均衡解分别为:

$$Q^{LU*} = (\theta a - c - c_u)/(4b) \quad (26)$$

$$w^{LU*} = (\theta a + c + c_u)/2 \quad (27)$$

命题 3 的证明过程与命题 2 的证明过程类似,求解得到供应受限时,升级策略下的所有均衡解见表 2 所列。

表 2 制造商部件供应受限且产品升级策略下的均衡解

条件	$\theta a - c - c_u - 4bK(1-\alpha) > 0$	$\theta a - c - c_u - 4bK(1-\alpha) \leq 0$
订货量	$q^{LU*} = Q^{LU}$	$q^{LU*} = Q^{LU}$
制造商产量	$Q^{LU*} = (1-\alpha)K$	$Q^{LU*} = (\theta a - c - c_u)/(4b)$
批发价	$w^{LU*} = \theta a - 2bK(1-\alpha)$	$w^{LU*} = (\theta a + c + c_u)/2$
制造商利润	$\pi_M^{LU*} = (1-\alpha)K[\theta a - c - c_u - 2bK(1-\alpha)]$	$\pi_M^{LU*} = (\theta a - c - c_u)^2/(8b)$
零售商利润	$\pi_R^{LU*} = bK^2(1-\alpha)^2$	$\pi_R^{LU*} = (\theta a - c - c_u)^2/(16b)$

3 策略比较分析

本文通过比较制造商产品升级和不升级 2 种策略下制造商和零售商的利润,分析何时进行产品升级策略更优,并进一步讨论产品升级策略的价值。

3.1 产品升级策略的有效性

结论 1 当 $\theta > (a + c_u)/a$ 时, $\pi_M^{LU} > \pi_M^{LN}$; 当 $(c + c_u)/a \leq \theta < (a + c_u)/a$ 时, $\pi_M^{LU} \leq \pi_M^{LN}$ 。

类似文献[4]所述,模块化升级并不总是最优升级策略,结论 1 表明,对制造商来说,产品升级策略的有效性主要取决于市场用户对升级产品的认可度如图 1 所示。这是由于当认可度 θ 较高时,带来了更多的边际效益,也有利于提高市场需

求、批发价、售价,且高认可度优势带来的利润增量超越了升级成本引起的利润减量,此时升级获利,如图 1a、图 1b 浅色阴影和斜线部分所示。但是当 θ 较低时,升级带来的效益不抵升级成本造成的损失,制造商利润降低,如图 1a、图 1b 深色阴影和竖线部分所示。

图 1 中: $f_1(\theta) = 1 - [(\theta a - c - c_u)/(4bK)]$;
 $f_2(\theta) = (4bK + c + c_u - \theta a - \sqrt{(a + c_u - \theta a)[2c + c_u - a(1 + \theta)]})/(4bK)$;
 $f_3(\theta) = (4bK + c + c_u - \theta a + \sqrt{(a + c_u - \theta a)[2c + c_u - a(1 + \theta)]})/(4bK)$;
 $f_4(\theta) = [4bK - (a - c) - \sqrt{-(a + c_u - \theta a)[2c + c_u - a(1 + \theta)]}]/(4bK)$;

$$f_5(\theta) = [4bK - (a - c) + \sqrt{-(a + c_u - \theta a)[2c + c_u - a(1 + \theta)]}] / (4bK);$$

$$f_6(\theta) = 1 - (a - c) / (4bK); f_7(\theta) = (a + c_u) / a.$$

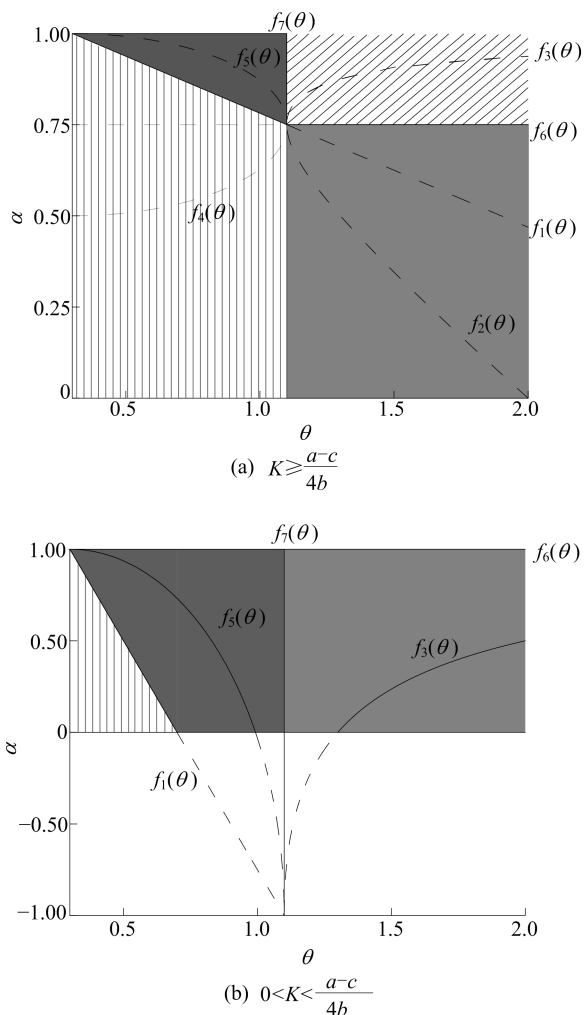


图 1 对比 LU 和 LN 策略下 θ, α 对制造商、零售商利润差的影响

结论 2 当 $K \geq \frac{a-c}{4b}$ 且 $0 < \alpha < 1 - \frac{a-c}{4bK}$ 且 $\theta > \frac{a+c_u}{a}$ 时, $\pi_R^{LU} > \pi_R^{LN}$; 当 $K \geq \frac{a-c}{4b}$ 且 $1 - \frac{a-c}{4bK} \leq \alpha < 1$ 且 $\theta > \frac{a+c_u}{a}$ 或者当 $K \geq \frac{a-c}{4b}$ 且 $\frac{a+c_u}{a} < \theta \leq \frac{a+c_u}{a}$ 或者 $0 < K < \frac{a-c}{4b}$ 时, $\pi_R^{LU} \leq \pi_R^{LN}$ 。

结论 2 表明,对零售商来说,产品升级策略的有效性受到产能、供应受限程度和用户认可度共同影响。具体来说:

1) 受限升级时产量减少且带来升级成本,制造商批发价增加,当产能较大、用户对升级产品的认可度较高时,若受限程度较高,高认可度带来的利润增量可抵升级成本,零售商总利润不变,但受限程度较

低时,产品升级策略的价值发挥到最大程度,此时零售商利润提高,如图 1a 浅色阴影部分所示。

2) 如果制造商产能较大但用户对升级产品的认可度较低,那么产品升级并不能提高零售商利润,尤其在受限程度较低的情况下,这是由于低认可度带来的利润增量不抵产品升级成本引起的利润减量,如图 1a 深色阴影和竖线部分所示。

3) 如果制造商产能较小,那么产品升级策略为零售商的占优策略,尤其是低产量和低认可度带来的利润增量不抵产品升级的成本,如图 1b 所示。

制造商通过升级策略来提高下游零售商的利润在实际中也有许多应用。例如,2022 年上半年家电行业根据消费需求,产品升级推出了更多个性化、高端化的产品,升级服务,优化场景消费体验。苏宁易购作为国内家电零售头部企业,是众多家电品牌产品面向终端消费者的重要窗口,其 2022 年上半年报数据显示,其线下家电 3C 家居生活专业店上半年实现经营利润盈利,公司综合毛利率同比增加 9.00%。

3.2 产品升级策略的价值

企业采取升级策略以提高产品的竞争优势,维持市场价值并保持客户稳定是一种常见的做法,如文献[4-5]所述。对于制造商和零售商而言,供应受限并非完全不利的情况,相比于制造商供应不受限且产品不升级的情况,采取升级策略应对供应受限反而可能会增加利润,见结论 3 和结论 4。

结论 3 当 $\theta > \frac{a+c_u}{a}$ 且 $0 < \alpha < f_3(\theta)$ 时,

$\pi_M^{LU} > \pi_M^{NN}$; 当 $\theta > \frac{a+c_u}{a}$ 且 $f_3(\theta) \leq \alpha < 1$ 或者 $\frac{a+c_u}{a} < \theta \leq \frac{a+c_u}{a}$ 时, $\pi_M^{LU} \leq \pi_M^{NN}$ 。其中, $f_3(\theta) = \{4bK + c + c_u - \theta a + (a + c_u - \theta a)^{1/2} [2c + c_u - a(1 + \theta)]^{1/2}\} / (4bK)$ 。

结论 3 表明,产品升级是否成为制造商的占优策略受到市场认可度和受限程度共同影响,具体如图 2 所示。

当用户对升级产品认可度较高时,若受限程度较低,则高认可度带来的利润增量超过升级成本引起的利润减量,制造商利润增加,如图 2a 浅色和深色阴影部分及图 2b 阴影部分所示;但如果受限程度较高或者用户对升级产品的认可度较低,低产量叠加升级成本,那么制造商利润反而下降,如图 2a、图 2b 竖线部分所示。

结论 4 当 $K \geq \frac{a-c}{4b}$ 且 $0 < \alpha < 1 - \frac{a-c}{4bK}$ 且 $\theta > \frac{a+c_u}{a}$ 时,应对受限所实施的产品升级策略能提高制造商和零售商的利润,实现双赢。

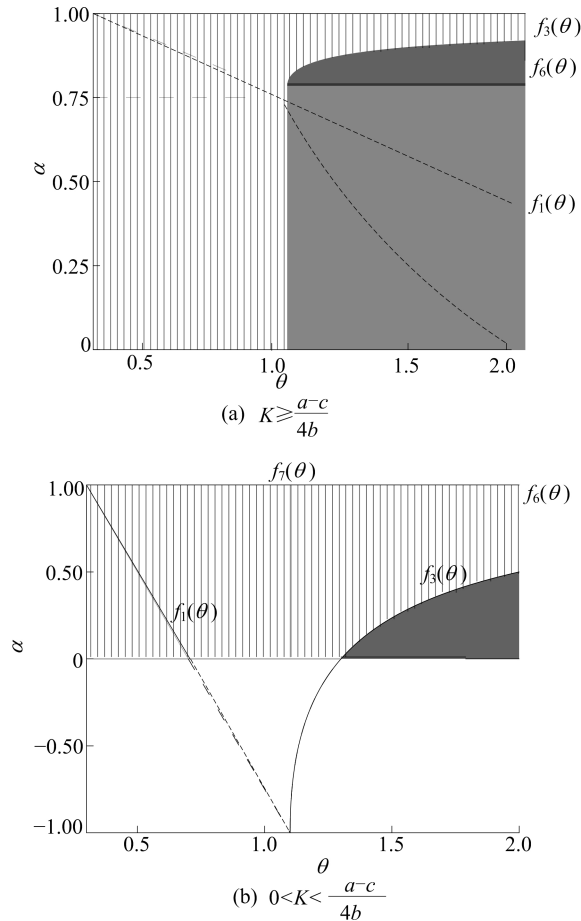


图 2 对比 LU 和 NN 策略下 θ, α 对制造商、零售商利润差的影响

结论 4 表明当制造商产能较大、供应受限程度较低且用户对升级产品的认可度较高时,升级策略能实现制造商和零售商的双赢。具体分析过程同结论 2。由以上分析可以看到,在一个二级供应链中,制造商与零售商之间的互动可以通过产品升级实现双赢,而不受制造商产品供应是否受限的影响,因此它们可以通过升级产品来提升产品的竞争力,增加利润。

4 算例分析

为了验证上述结论,本节采用具体算例进行仿真。根据已有分析,结合参数取值范围,设定固定参数如下: $a = b = 1, c = 0.2, c_u = 0.1$ 。

4.1 LU 策略对比 NN 策略分析

对比制造商部件供应受限且升级(LU)策略和部件供应不受限且产品不升级(NN)策略。本

文分析制造商产能、供应受限程度、用户对升级产品的市场认可度对利润提升度的影响。为方便分析,分别在 K 为 0.8、0.5、0.1 时, θ 取 1.5、1.0、0.8,分析制造商产能 K 、用户对升级产品的市场认可度 θ 、部件供应受限程度 α 对产品升级策略有效性的影响,即对制造商和零售商利润提升度的影响,如图 3、图 4 所示。

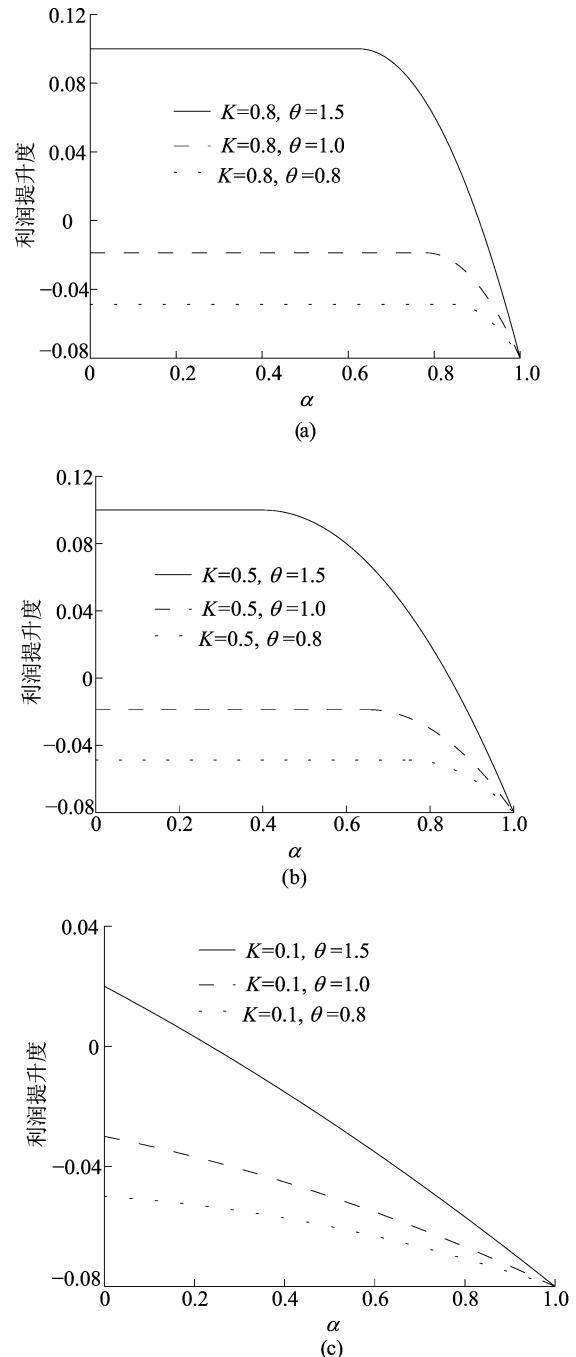


图 3 LU 对比 NN 策略下 K, θ, α 对制造商利润提升度的影响

由于对制造商和零售商的分析过程类似,这里统一进行描述。从图 3、图 4 可以看出,对于制造商和零售商,当 K 一定且较高时,只有当 θ 较

高($\theta > (a + c_0)/a = 1.1$)时,升级策略才具有有效性。如果此时 α 较小,那么升级策略的有效性较高,但随着 α 的增加,升级策略的有效性会逐渐降低,在 α 超过一定范围时,升级策略不能再提高制造商和零售商的利润,且随着 K 的降低,升级策略能提高利润的临界受限程度 α 也逐渐降低,如图 3a、图 3b、图 4a、图 4b 的实线部分所示。另外,对比图 3a、图 3b、图 4a、图 4b 中的实线、虚线和点线可以看出,此时随着 θ 的降低,升级策略的有效性逐渐降低,直到 θ 小于一定范围时,升级策略失效,即此时进行产品升级也不能提高制造商和零售商的利润。

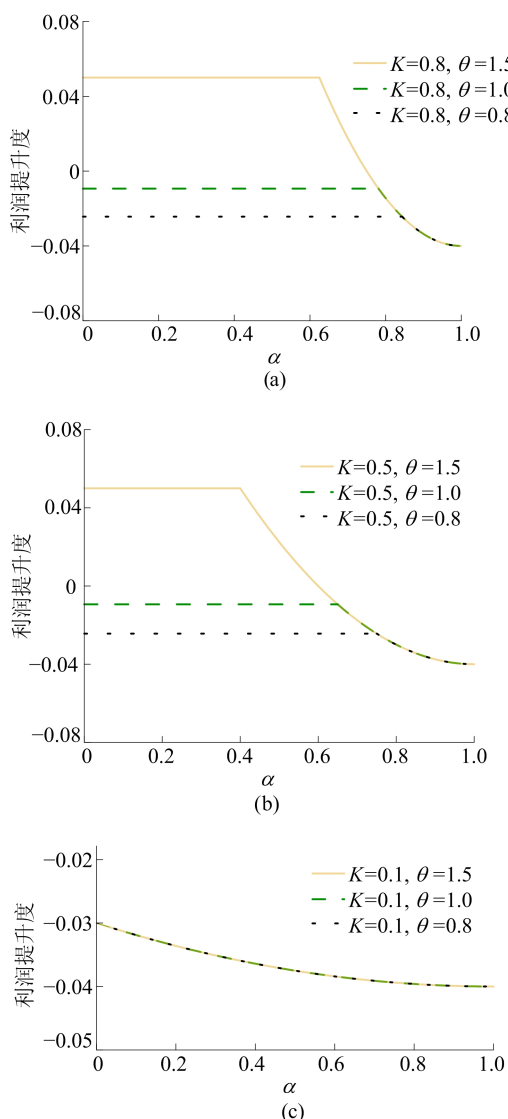


图 4 LU 对比 NN 策略下 K, θ, α 对零售商利润提升度的影响

当 K 一定且较低时,如果 θ 一定且较高,那么升级策略的有效性依然会随着 α 的增加逐渐降低,直到超过一定范围而失效,如图 3c 的实线部分所示。但如果 θ 一定且较低时,那么无论 θ 和 α 的大

小,升级策略均会失效,即不能提高制造商和零售商的利润,如图 3c、图 4c 的虚线和点线部分所示。

4.2 LU 策略对比 LN 策略分析

本文分析制造商产能、供应受限程度、用户对升级产品的市场认可度对利润提升度的影响。类似地,对比制造商部件产品供应受限且升级(LU)策略和部件产品供应不受限且升级(LN)策略,同样分别在 K 为 0.8、0.5、0.1 时, θ 取 1.5、1.0、0.8 分析制造商产能 K 、用户对升级产品的市场认可度 θ 、部件产品供应受限程度 α 对产品升级策略有效性的影响,即对制造商和零售商利润提升度的影响,如图 5 和图 6 所示。

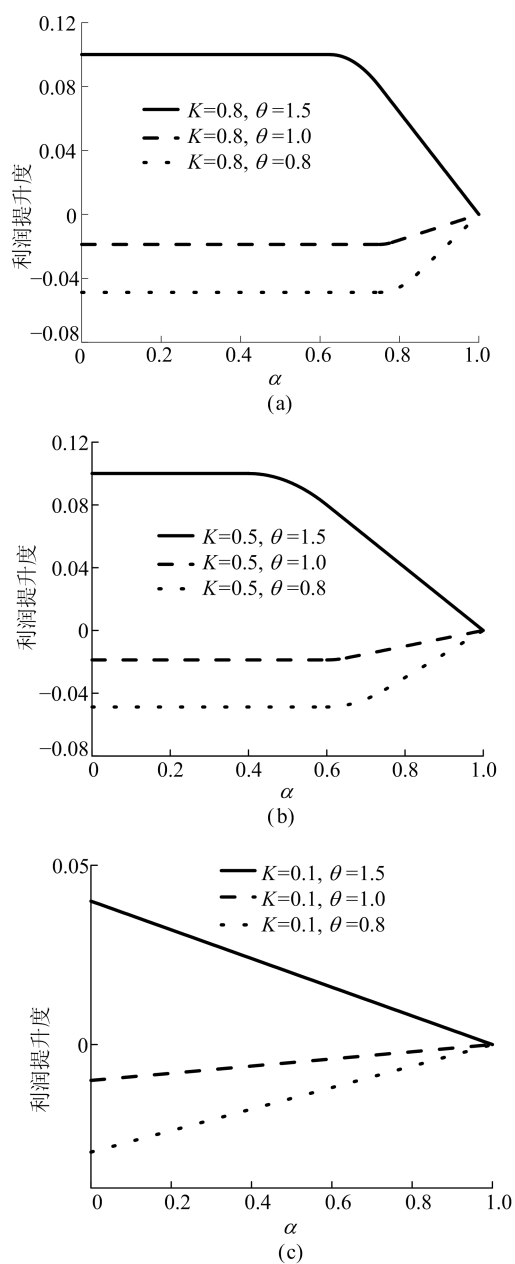


图 5 LU 对比 LN 策略下 K, θ, α 对制造商利润提升度的影响

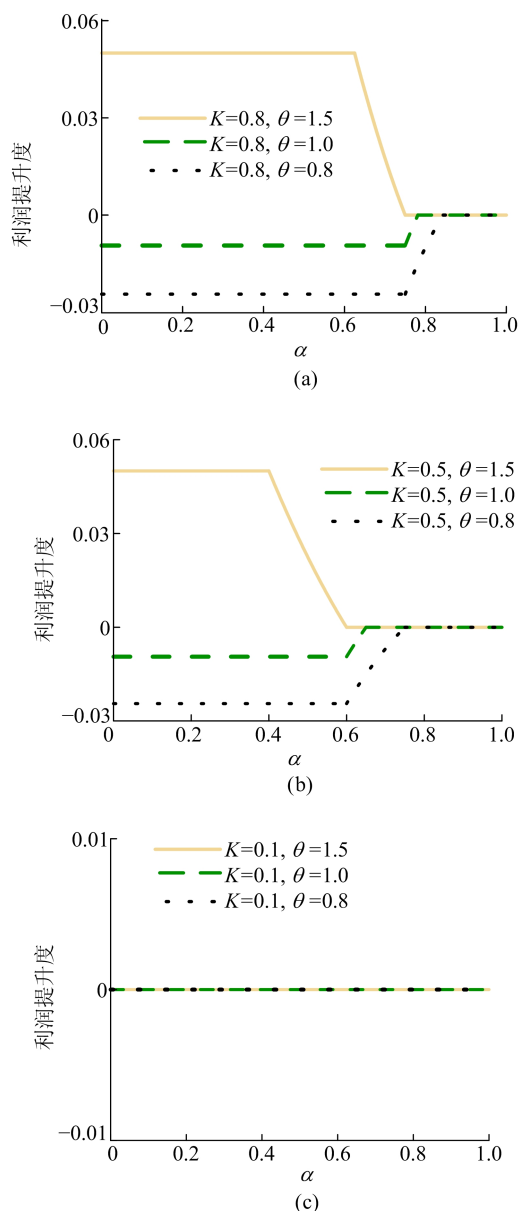


图6 LU对比LN策略下 K 、 θ 、 α 对零售商利润提升度的影响

对制造商来说,对比图5a、图5b实线部分可以看出,当 K 较高、 θ 一定且较高时,如果受限程度 α 较小,那么升级策略的有效性就较高,且该有效性随着 θ 的增加而增加。即 θ 越大,升级策略对制造商来说能提高更多的利润;但当 α 超过一定范围时,随着 α 的增加,升级策略的有效性逐渐降低,直到 $\alpha=1$ 时,供应完全受限,供应量降为0,升级策略失效。

但当 θ 一定且较低时,从图5a、图5b虚线和点线可以看出,无论 α 大小,升级策略均无效,不能提高制造商的利润。而图5c则表明,当 K 较低时,只有当 $\theta > (a+c_u)/a=1.1$ 时,升级策略才可能有效,且有效性随着 α 的增加逐渐降低,直到 α 超过一定范围时失效,如图5c实线部分所示;

当 θ 较低时,升级策略失效,如图5c虚线和点线部分所示。

同样,对于零售商来说,对比图6a、图6b黄色实线部分可以看出,当 K 较高、 θ 一定且较高时,如果受限程度 α 较小,升级策略的有效性较高,且有效性随着 θ 的增加而增加,即 θ 越大,那么升级策略对零售商来说能提高更多的利润;但随着 α 的增加,升级策略的有效性逐渐降低,在超过一定范围时,升级策略对利润的提升度降为0,即升级策略失效;但当 θ 一定且较低时,如图6a、图6b绿色虚线和黑色点线所示,可以看出,无论 α 大小,升级策略均无效,不能提高零售商的利润。而图6c则表明,当 K 较低时,无论 α 和 θ 的大小,升级策略对利润的提升度都为0,即升级策略失效。

5 结 论

供应链的稳定运行面临很大风险和挑战,且消费者对各种产品的数量需求仍在上升且呈多样性趋势,产品供应不足成为各品牌制造商亟待解决的难题。基于此,本文构建了一个Stackelberg博弈模型,研究了供应受限下制造商产品升级策略的有效性,通过对各策略下纳什均衡的比较分析,可得以下结论:① 供应受限给制造商和零售商都带来了利润的负面影响;② 制造商升级产品策略在一定条件下能给它带来收益的增加,主要受到用户对升级产品的认可度的影响;③ 制造商产品升级策略在一定条件下能够成为制造商和零售商的双赢策略,主要受制造商产能、供应受限程度和用户对升级产品的认可度三者共同的影响;④ 供应受限并非一定是不利的情况,在满足一定条件时,产品升级策略反而能给制造商和零售商带来双赢。本文的研究结果可以为升级策略的有效性提供一定的理论参考,对面临供应受限的各制造企业具有启示意义。

本文仅考虑了由1个制造商和1个零售商组成的二级供应链,且制造商受限程度为定量的情况,另外本文没有考虑升级后市场的多样性。因此,进一步的研究可以围绕以下几个方面展开:① 考虑包含消费者的三级供应链下,升级策略的有效性;② 考虑当制造商的供应受限程度随机的情形,升级策略在何时成为制造商和零售商的占优策略;③ 考虑升级后,市场存在未升级产品和升级产品时,升级策略何时能使得制造商和零售商从中受益。

[参 考 文 献]

- [1] 陈金晓,陈剑. 从优化到重塑:大变局中的供应链高质量发展[J]. 系统工程理论与实践,2022,42(3):545-558.
- [2] 半月谈网. 产品、服务转型升级 看顺企因“疫”思变化危为机[EB/OL]. (2020-03-16) [2022-12-20]. <http://www.banyuetan.org/jj/detail/20200316/1000200033136091584349533670233879.1.html>.
- [3] 刘冬冬. 全球价值链嵌入是否会驱动中国制造业升级:基于工艺升级与产品升级协调发展视角[J]. 产业经济研究,2020(5):58-72.
- [4] 李四杰,邵灵芝. 考虑消费者策略行为的供应商产品升级策略[J]. 中国管理科学,2018,26(4):1-10.
- [5] 程明宝,张景凌,于秀丽. 考虑消费者购买历史的两阶段定价策略研究[J]. 系统工程理论与实践,2021,41(11):2902-2912.
- [6] SHAO L Z. The pricing decision and channel choice of upgraded products in the presence of strategic consumers[J]. *Mathematical Problems in Engineering*,2021,2021:1-10.
- [7] 陈俊霖,王山. 双渠道供应链中紧俏产品升级成本分担演化博弈分析[J]. 中国管理科学,2022,30(10):224-235.
- [8] 崔庆安,孙艺. 基于制造商行为偏好的零件质量升级努力与定价策略研究[J]. 工业工程,2023,26(1):8-18,51.
- [9] QIAN Z F, CHAI J W, LI H Y, et al. Implications of product upgrading confronting supplier remanufacturing[J]. *International Journal of Production Research*,2020,58(19):5870-5892.
- [10] LIU G M, SHAO X F, LANG X. On the interaction of technology upgrade and buyer entry in a supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*,2020,221:107478.
- [11] XIONG Y, ZHAO P, XIONG Z K, et al. The impact of product upgrading on the decision of entrance to a secondary market [J]. *European Journal of Operational Research*,2016,252(2):443-454.
- [12] 杨光勇,计国君. 基于战略顾客行为的进入威慑策略研究[J]. 中国管理科学,2015,23(11):153-162.
- [13] 李良,刘芷言,李增禄,等. 供应不确定下制造商的采购策略:回收或双渠道采购[J]. 工业工程与管理,2020,25(2):74-81.
- [14] DONG L X, TOMLIN B. Managing disruption risk: the interplay between operations and insurance[J]. *Management Science*,2012,58(10):1898-1915.
- [15] HE B, YANG Y G. Mitigating supply risk: an approach with quantity flexibility procurement[J]. *Annals of Operations Research*,2018,271(2):599-617.
- [16] 陈崇萍,陈志祥. 供应商产出随机与供应中断下的双源采购决策[J]. 中国管理科学,2019,27(6):113-122.
- [17] 舒磊,吴锋. 不可靠供应下的风险厌恶采购单阶段模型[J]. 系统管理学报,2015,24(4):602-609.
- [18] 牛保庄,许浩涛,李启洋,等. 考虑供应中断的关键进口零部件本土替代及采购策略调整[J]. 系统工程理论与实践,2022,42(11):2881-2890.

(责任编辑 李 凯)

(上接第 1221 页)

[参 考 文 献]

- [1] WANG W Z, XU W H, ZHOU K, et al. Research progressing of present contamination of Cd in soil and restoration method[J]. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*,2015,20(5):430-444.
- [2] 张盛楠,黄益宗,李颜,等. Cd 胁迫下不同外源植物激素对水稻幼苗抗氧化系统及 Cd 吸收积累的影响[J]. 环境科学,2021,42(4):2040-2046.
- [3] NGELES P M, YOSEF F, SARA I Z, et al. ROS and redox regulation of cell-to-cell and systemic signaling in plants during stress[J]. *Free Radical Biology & Medicine*,2022,193:354-362.
- [4] JORGE M, YASUHIRO K, CYRIL Z, et al. The Arabidopsis NADPH oxidases *RbohD* and *RbohF* display differential expression patterns and contributions during plant immunity[J]. *Journal of Experimental Botany*,2016,67(6):1663-1676.
- [5] 刘秋圆,贺浩华,胡丽芳. 植物 *Rboh* 基因功能及其活性调节机制的研究进展[J]. 生物技术通报,2013,(11):8-13.
- [6] TORRES M A, DANG J L, JONES J D G, et al. *Arabidopsis* gp91phox homologues *AtrbohD* and *AtrbohF* are required for accumulation of reactive oxygen intermediates in the plant defense response[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*,2002,99(1):517-522.
- [7] MA L, ZHANG H, SUN L, et al. NADPH oxidase *AtrbohD* and *AtrbohF* function in ROS-dependent regulation of Na^+ / K^+ homeostasis in Arabidopsis under salt stress[J]. *Journal of Experimental Botany*,2012,63(1):305-317.
- [8] TORRES M A, DANGL J L. Functions of the respiratory burst oxidase in biotic interactions, abiotic stress and development[J]. *Current Opinion in Plant Biology*,2005,8(4):397-403.
- [9] KERSTIN M, CATHARINA C A, ADA L, et al. The NADPH-oxidase *AtrbohB* plays a role in *Arabidopsis* seed after-ripening[J]. *The New Phytologist*,2009,184(4):885-897.
- [10] FOREMAN J, DEMIDCHIK V, BOTHWELL J H F, et al. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth[J]. *Nature*,2003,422(6930):442-446.

(责任编辑 吴 亮)