

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.02.006

零售商后悔行为对两阶段供应链决策和利润的影响研究^①

谷 炜¹, 刘亚金¹, 闫相斌^{2*}, 宋亚楠¹

(1. 北京科技大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 广东外语外贸大学, 广州 510420)

摘要: 针对由多个供应商和多个面临报童问题的零售商组成的供应链系统, 将零售商订货决策过程中可能出现的后悔行为纳入供应链决策建模, 对比了后悔驱动的行为决策和人工智能辅助的自动化决策的差异, 并分析了零售商后悔对其自身利润、上游的供应商利润以及供应链整体利润造成的影响. 研究发现, 后悔导致零售商订货量相较于自动化库存决策发生偏移, 同时提高了批发价格使得供应商获得价格优势, 对供应链成员以及整体利润产生明显影响, 并且这种影响可能会因供应链的扩张而被放大. 管理者应重视并预估零售商后悔行为带来的影响, 进而制定更为科学合理的决策策略.

关键词: 零售商; 供应商; Stackelberg 博弈; 后悔行为

中图分类号: F274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2025)02-0074-11

0 引 言

数字技术的发展推动了供应链管理向分散化模式转变, 各类数字平台的出现为零售商提供了更广泛的采购选择, 也使供应商能够扩大销售渠道^[1]. 供应链的科学管理对于企业合理分配资源, 促进商品流动和高效服务, 降低成本, 塑造企业优势等方面具有十分重要的意义和作用. 以农产品为例, 已经有一些在线平台将地理上分散的农户和孤立的市场连接起来^[2], 形成多供应商与多零售商组成的供应链. 然而, 由于农产品具有较强的季节性和时效性要求, 这类供应链中很少进行回购. 因此, 面对消费者需求的不确定性, 如何确定最佳的采购订单以进行库存管理对零售商至关重要^[3, 4]. 零售商面对库存与实际需求不匹配所产生的后悔在供应链分散决策的环境下普遍存在, 并且影响其订购决策^[5, 6]. 有些公司已经采用人工智能辅助实现库存管理的自动化决策, 但大部分零售商仍然通过人工方式进行订货决策^[7].

通过供应链决策建模与分析能够为实践做出有效指导. 目前, 经典文献^[8]对供应链均衡决策问题的研究大多是基于所有决策者都会做出理性决策的假设, 研究了在随机需求的情况下总是试图最大化期望利润的完全理性的零售商^[9]. 然而, Schweitzer 和 Cachon 的实验研究^[10]以及 Ho 和 Zhang 的研究^[11]表明, 实际决策明显偏离了完全理性假设下的预期效用预测值. 在面对不确定性问题时, 这一假设将会导致不可忽视的偏差. 现有研究并不能完全反应现实中决策者在供应链管理中的行为和决策, 对于复杂环境下供应链管理的研究需要从人的行为和心理认知影响角度出发, 这样才能更为有效的指导实践^[12]. 因此, 将供应链中的成员视为具有行为偏好的决策者, 并考虑行为因素对决策的影响, 能够更加真实地描述和把握供应链成员的决策特征, 更加客观地分析成员参与供应链运作的意图与影响^[13].

行为运营管理受到国内外学者的广泛关注, 近些年供应链管理的相关研究也越来越关注行为

① 收稿日期: 2021-12-15; 修订日期: 2024-10-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72072010; 72025101; 72394372; 72271023); 北京市自然科学基金资助项目(9232023).

通讯作者: 闫相斌(1975—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: xbyan@gdutfs.edu.cn

因素的影响^[14]。后悔是一种典型的行为因素,当决策者知道另一种行动方案会带来相对更有利的结果时,就会产生后悔。学者们已经对后悔行为在广泛的学科领域中进行了探索,从心理学^[15]到经济学^[16]到运营管理^[17]都有大量模型或实证文章针对后悔对于决策的影响进行了多角度研究。Bell^[18, 19]将后悔纳入了决策过程,并表明这种情绪可以作为一些异常行为的解释。现有文献针对基于预期后悔的购买与定价决策机制进行研究。Özer 和 Zheng^[20]研究了当后悔行为影响消费者购买决策时,销售商的最优定价和库存策略。Nasiry 和 Popescu^[21]利用两种相反类型的后悔来解释顾客的购买行为。Davis 等^[22]通过实验研究发现,当未能售出产品或售出产品后意识到更高的定价可能会获得更多的收入时,拍卖商会感到后悔。Li 和 Liu^[23]对零售商后悔如何影响其定价策略和预期收入进行研究。王桦等^[24]对易逝品零售商在考虑消费者后悔行为下的最优库存策略进行研究。于天阳等^[25]探讨了考虑消费者预期后悔行为的品牌商区块链引入策略及产品定价问题。后悔可以合理地解释运营管理中的决策偏移。

现有文献关于后悔在供应链中的研究还有待进一步探索^[26]。在产品价格维持恒定而市场需求不确定的情境下,零售商的核心决策聚焦于订货数量优化而非价格策略调整^[27]。零售商在销售结束时发生订货过多和订货不足都会产生后悔:当零售商的库存(零售商从供应商处订购的商品量)未能充分满足消费者需求时,会导致潜在销售收入的流失,进而引发零售商的库存不足后悔;当库存超出市场需求造成产品剩余时,零售商则需承担由此产生的额外成本,感到库存过剩后悔^[28, 29]。零售商在预期到后悔带来负面效用时,会策略性地调整其订货策略,以最大限度地规避潜在的后悔情绪。在此情况下,零售商的决策结果直接关联于市场需求的实现情况,已实现的市场需求自然而然地形成了一个心理参考点,为零售商评估库存不足或库存过剩所引发的额外负效用提供基准^[30]。这一参考点为深入理解供应链中后悔情绪如何影响零售商决策行为及系统建模提供了重要的理论视角。零售商调整订货策略来降低由库存与实际需求间偏差所引发的后悔情绪,

从而相较于人工智能驱动的自动化决策订货量发生偏移。尽管自动化订货可以有效消除后悔对决策过程的干扰,但单纯追求零偏差决策可能忽视了供应链系统的复杂性和动态性,进而导致零售商与供应商之间出现“双输”的局面^[7]。供应链的局部变化会对整体绩效产生影响^[31],因此有必要进一步评估零售商后悔行为对于供应链的影响。本研究考虑零售商在进行订货决策时感知到的预期库存偏差而产生的后悔,基于多对多的供应链竞争环境中分析后悔对决策和利润的影响,对比了行为决策和智能决策下利润的差别,为现有研究提供了新的视角。

本文针对由多个供应商和多个面临报童问题的零售商组成的供应链系统,将零售商后悔行为纳入其中并进行建模,分析零售商后悔行为对零售商决策和供应商决策以及供应链整体可能产生的影响,并进一步探究供应链扩张对零售商后悔行为和供应链的影响,考察了不同决策方式对供应链利润的影响。本研究对现有文献主要在以下方面进行了丰富:首先,目前文献主要考虑决策者在购买与定价决策时的后悔行为,本研究将零售商在面临不确定需求时进行订货决策考虑的预期库存后悔纳入供应链建模中,通过后悔来解释报童问题在供应链环境中的管理决策,分析了后悔行为对供应链均衡决策和利润的影响,拓展了相关研究;其次,突破了一对一的供应链设置,将行为研究拓展到多对多的竞争环境中,考察了供应链竞争和后悔行为的交互影响,拓展了行为运营管理的应用场景;第三,对不同决策方式进行对比,探讨了行为驱动决策和智能辅助决策对利润的影响,为供应链管理决策提供建议。后悔可在特定情境下作为协调供应链的力量,但也会导致零售商在决策过程中产生偏差。这种偏差阻碍了市场需求信息的有效传递与精准响应,可能对零售商自身及其上游供应商的利润空间构成侵蚀,进而对供应链的整体绩效与稳定性产生不利影响。因此,供应链管理不能忽视零售商后悔行为的影响,同时也应认识到以消除后悔的智能化决策可能会对利润造成损失,需综合考虑产品的利润类型以及零售商的后悔敏感程度等因素进行科学合理的决策。

1 模 型

本文对处于多对多竞争环境的供应链进行研究,并考虑零售商的预期后悔行为.假设一条供应链中有 S 个供应商,他们之间相互竞争,并向 R 个存在后悔行为的零售商供应产品,同时每个零售商面临一个独立的零售市场以满足不确定的消费者需求.供应链的分散决策模式导致供应商与零售商各自追求自身利益的最大化,因此供应链成员的决策过程构成一个两阶段的 Stackelberg 博弈^[32].

在第一阶段,每个供应商预计零售商的订货量,并估计对应的能够完全清空批发市场产品数量的批发价格,决定生产数量以使自身利润最大化.每个供应商 $s \in \{1, 2, \dots, S\}$ 销售给批发市场的商品数量为 o_s , 每个商品的批发价格为 w , 成本为 c . 在第一阶段结束时,批发价格由预期的市场出清条件确定,该条件使得供应商的总生产数量与零售商的预期总订货量相等^[33].

在第二阶段,每个零售商面对不确定的市场需求在给定的批发价格下确定其订货量,以最大化自己的预期效用,其中预期效用是根据消费者需求函数的分布所获得.在第二阶段结束时,批发市场出清,每个零售商收到了自己的订货量.零售商面对的不确定的消费者需求为 D_r , 其分布函数为 $F(\cdot)$, 概率密度函数为 $f(\cdot)$. 根据文献^[34], 可假设需求密度 f 具有广义增加失效率 (IFR)——即, $h(x) = f(x)/(1 - F(x))$ 随 x 增加而增加,使消费者需求能够被最常见的分布 (如正态分布和均匀分布等) 所满足. 每个零售商 $r \in \{1, 2, \dots, R\}$ 实质上面对的是报童问题,从批发市场选择其订货量 q_r , 并以零售价格 p 出售产品,未售出产品的回收价格为 v , 且 $v < c < w < p$.

在该博弈的纳什均衡中,供应商和零售商均没有动机改变其决策,每个零售商在第二阶段的实际订货量与供应商在第一阶段预期的订货量相一致.需要说明的是,零售商利润中唯一不确定的部分是消费者需求产生的随机变量,它决定了实际的消费者需求,而批发价格 w 对于零售商而言是确定的,零售商的订货量 q_r 是零售商在面对不确定的消费者需求之前就必须做出的决定,因此零售商预期利润的不确定性取决于需求的实现

情况.

可通过逆向归纳法求解模型的纳什均衡,用上标 $*$ 表示均衡,上标 \sim 表示最佳响应函数.在博弈的第二阶段,每个零售商 r 通过给定的批发价格 w 确定订货量 q_r , 零售商的利润 π_r 可表示为

$$\pi_r(q_r) = p q_r - (p - v) E[(q_r - D_r)^+] - w q_r \quad (1)$$

在决策过程中,零售商将预期后悔的影响纳入考量,旨在最小化因决策失误而引发的后悔情绪.供应链的分散决策模式增强了单一参与者行为对整个供应链系统的影响.如果在第二阶段结束时,消费者的实际需求与订货量不一致,零售商会因为产生的库存偏差而感到后悔.基于此,零售商会根据对库存不足和库存过剩后悔的负面感知调整订货决策,在考虑预期后悔的情况下决定订货量,使其能够缩小预期的库存偏差.因此,零售商的问题转化为

$$\begin{aligned} \max_{q_r} u(q_r) &= \pi_r - \underbrace{\alpha E[(D_r - q_r)^+]}_{\text{库存不足后悔}} - \underbrace{\beta E[(q_r - D_r)^+]}_{\text{库存过剩后悔}} \\ \text{s. t. } u(q_r) &> 0 \end{aligned} \quad (2)$$

求解式(2)可获得每个零售商 r 的最佳响应订货量 \tilde{q}_r . 限制条件确保零售商在考虑预期后悔的情况下接受给定的批发价格进行交易.在式(2)中,参数 α 和 β 分别定义为库存不足后悔行为参数和库存过剩后悔行为参数,可以看作是选择偏离实现需求的订货量的额外感知成本,量化了订货不足和过度订货对预期效用的边际值.参数越高,后悔偏差的水平就越高.因此,库存与需求实现情况之间的偏差与行为参数的乘积,实质上量化了由预期后悔心理所驱动的额外利润感知效用.具体而言,过度订货导致的单位库存成本(过量成本)为 $w - v$, 而订货不足导致每单位产品的机会成本损失(缺货成本)为 $p - w$. 因此,一般情况下 $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, 且 α 和 β 的上界与实际产生的缺货成本和过量成本相关.基于零售商是同质的假设,每个零售商的后悔行为参数也是相同的.通过关注群体决策均衡和行为影响的趋势,本研究在多对多的环境下深入探讨了后悔对供应链综合均衡和利润的影响.后悔的存在使得零售商以利润最大化和期望后悔最小化为目标,促使零售商进行基于行为因素的最优订货决策.

在第一阶段,每个供应商通过预测零售商对订货量的最佳响应来确定生产数量和批发价格以最大化其利润 π_s ,即

$$\max_{w, o_s} \pi_s = w o_s - c o_s \quad \text{s.t.} \quad O_{-s} + o_s = \sum_{r=1}^R \hat{q}_r \quad (3)$$

其中 O_{-s} 表示除供应商 s 外其他所有供应商的总生产数量. 注意到供应商和零售商不同,不存在后悔行为. 由于供应商没有事后的库存偏差,且消费者需求的不确定性发生在零售市场,而批发市场是确定性的. 供应商在生产时直接面对零售商而非消费者,因而在建立供应链模型时不考虑供应商的后悔行为. 因此在式(3)中,供应商能够预见到零售商的后悔偏差并实现利润最大化.

2 零售商后悔行为对供应链的影响

本节通过求解考虑零售商后悔行为的模型下供应链的纳什均衡,将均衡结果表示为后悔行为参数的函数,揭示零售商后悔行为对供应链成员决策和利润的影响. 首先对实现均衡的条件分析.

命题1 定义 $\bar{w} \equiv p + \alpha - (p - v + \alpha + \beta) F(\underline{q})$, 其中 \underline{q} 是问题 $\int_0^{\underline{q}} x f(x) dx = \frac{\alpha E[D]}{p - v + \alpha + \beta}$ 的解^②.

(a) 存在一个批发价格的阈值 \bar{w} , 当批发价格 $w < \bar{w}$ 时,零售商订货量为 \hat{q} . 当 $w \geq \bar{w}$ 时,零售商拒绝交易不进行订货.

(b) 这一阈值 \bar{w} 随库存不足后悔行为参数 α 的增加而减小,随库存过剩后悔行为参数 β 的增加而增加.

(c) 当零售商接受批发价格进行交易时,达成的 \hat{w} 随两个后悔行为参数的增加总是增加的.

存在后悔行为的零售商需要满足其感知效用大于零才会接受供应商给出的批发价格进行交易,命题1(a)指出后悔行为使得零售商对于能够接受的批发价格存在阈值. 当批发价格高于这一阈值时,零售商不进行订货. 如果没有后悔行为的影响,批发价格 w 小于产品价格 p 时零售商总是有利可图的. 换言之,由于后悔行为的存在,零售商在考虑预期库存误差时,会在可能盈利的情况

下仍然拒绝交易,这在一些实验研究中也得到了证实^[35]. 命题1(b)指出,这一阈值随库存不足后悔减小,随库存过剩后悔增加. 这表明对库存不足后悔敏感的零售商更有可能拒绝交易,而对库存过剩后悔敏感的零售商则相对更易接受交易.

命题1(c)指出,当零售商接受批发价格使得供应链最终达成均衡时,批发价格 \hat{w} 随两种类型的后悔都是上升的. 实际上,随着后悔敏感程度的加剧,零售商的订货决策对批发价格波动的反应变得越来越弱. 从本质上讲,零售商的后悔使得供应商在博弈中获得了更大的价格优势.

下面考虑当供应链达成均衡时,后悔行为对分散供应链中成员的决策和利润的影响. 首先给出在确定零售商的后悔敏感程度时,供应链达成均衡的情况.

引理1 (a) 供应链达成均衡时,每个零售商的订货量为 $\hat{q}_r = \hat{q} = F^{-1}(\frac{p - \hat{w} + \alpha}{p - v + \alpha + \beta})$, 且满足 $F(\hat{q}) + \frac{f(\hat{q})\hat{q}}{S} = \frac{p - c + \alpha}{p - v + \alpha + \beta}$. 批发价格为 $\hat{w} = (p - v + \alpha + \beta) \frac{f(\hat{q})\hat{q}}{S} + c$.

(b) \hat{q} 随库存不足后悔行为参数 α 的增加而增加,随库存过剩后悔行为参数 β 的增加而减少.

引理1给出了考虑零售商后悔行为时两阶段供应链模型的均衡解,将引理1(a)中订货量满足的等式定义为系统临界分位数. 从引理1(a)可知,后悔使得零售商的缺货成本增加了 α , 过量成本增加了 β . 换句话说,零售商会因为后悔而改变对成本的感知,从而导致决策偏差. 引理1(b)指出,零售商会通过增加(减少)订货量去规避库存不足(库存过剩)后悔. 当零售商对库存不足后悔越敏感时,其向供应商所购买的订货量就越多;当零售商对库存过剩后悔越敏感时,其向供应商所购买的订货量就越少. 接下来分析后悔对于供应链成员利润的影响.

命题2 (a) 供应商利润随库存不足后悔行为参数 α 的增加而增加,随库存过剩后悔行为参数 β 的增加而减少.

② 本研究所涉及证明过程可通过邮箱联系作者获取.

(b) 当 $\alpha/\beta < \frac{p-\hat{w}}{\hat{w}-v}$ 时, 零售商利润随库存不足后悔行为参数 α 的增加而减少; 当 $\alpha/\beta > \frac{p-\hat{w}}{\hat{w}-v}$ 时, 零售商利润随库存过剩后悔行为参数 β 的增加而减少。

命题 2 阐述了后悔对供应商和零售商利润的影响。对于供应商而言, 其利润受到两个关键因素的影响: 批发价格和订货量。命题 2(a) 表明, 每个供应商的利润受到后悔影响的方式与引理 1(b) 中订货量受到后悔影响的方式相似。从命题 1(c) 可知, 均衡的批发价格随着库存不足后悔和库存过剩后悔总是上升的。因此, 后悔对供应商利润的影响主要来源于对订货量的影响。而对于零售商利润而言, 后悔的影响更加复杂。命题 2(b) 引入了一个充分条件来衡量后悔对零售商利润的影响方向, 该条件与两种后悔的强度密切相关。对于零售商而言, 未销售产品造成的机会成本和产生的库存成本分别为 $p - \hat{w}$ 和 $\hat{w} - v$, 而 α 和 β 则是零售商基于预期后悔对这两个成本的感知偏差。因此, 当零售商库存不足后悔相较于库存过剩后悔的敏感程度高于其实际的库存损失与机会成本的比值时, 过于强烈的库存不足后悔会减少零售商的利润。同理, 过强的库存过剩后悔也会对零售商利润造成损失。

下面分析后悔对于供应链利润的影响, 以了解零售商后悔是如何影响供应链的。行为模型下供应链的利润可表示为

$$\hat{\Pi} = R\pi_r + S\pi_s = R(p-c)\hat{q} - R(p-v)E[(\hat{q}-D)^+] \quad (4)$$

命题 3 当 $\frac{\alpha}{\beta} < \frac{p-c}{c-v}$ 时, 分散供应链的利润 $\hat{\Pi}$ 随着库存不足后悔行为参数 α 的增加而增加, 随库存过剩后悔行为参数 β 的增加而减少。

命题 3 给出了一个充分条件, 使得供应链利润及其效率受到两种类型后悔的影响与引理 1(b) 中均衡订货量受到后悔影响的单调性一致, 这一充分条件本质是两种后悔的强度对比。当零售商对库存不足后悔相较于库存过剩后悔的感知小于产品实际的缺货成本和过量成本之比时, 这种单调性才能够得到保证。零售商不同程度的后

悔会导致对利润产生不同方向的影响。

命题 2 和命题 3 给出的充分条件均与产品的价格参数相关。因此, 同一种产品在零售商对两种后悔感知存在差异时, 会导致最终利润受到后悔不同方向的影响。由此引发一个问题: 在相同的后悔程度下, 零售商销售不同的产品是否会导致后悔的影响存在差异。基于经典报童模型的设定, 将 $\frac{p-c}{p-v} > 0.5$ 的产品定义为高利润产品, 同理, 低

利润产品的 $\frac{p-c}{p-v} < 0.5$ 。文献表明, 在一般情景中库存过剩后悔的强度大约是库存不足后悔的 2.5 倍^[36]。保持供应链中供应商和零售商的数量不变, 同时固定库存过剩后悔和库存不足后悔强度比为 2.5 的状态下, 图 1 对比了不同利润类型产品的供应链利润受到后悔的影响。

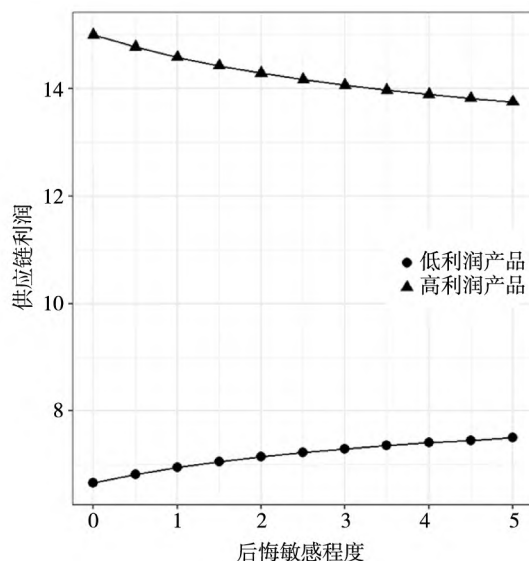


图 1 高/低利润产品供应链利润受到后悔的影响

Fig. 1 Effect of regret on high/low margin supply chain profits

从图 1 可看出, 在相同的后悔敏感程度下, 不同利润类型产品的供应链利润受到后悔的影响不同。本质上, 供应链利润的变化取决于零售商的订购决策。高利润产品主要受库存过剩后悔的影响, 因为超额订货会导致剩余库存, 而高利润产品带来的高额库存压力使得零售商更加担心订货过多。相比之下, 销售低利润产品的零售商倾向于增加订货量以获得更多的利润, 对库存不足后悔更加敏感。低利润产品带来的库存压力较小, 且只有销售足够数量的产品零售商才能保证赚取足够的

利润. 两类产品对两类后悔的敏感程度不同, 受到的影响也不同. 这就导致了实际管理实践中的两种情况. 一方面, 对于相同利润类型的产品, 零售商后悔程度的不同导致其订购决策的偏差, 从而使供应商和零售商的利润与自动化决策相比发生不同方向的变化(可能增加也可能减少). 另一方面, 即使零售商后悔保持在同一水平, 由于产品利润类型的差异, 后悔对利润的影响也可能相反. 低利润产品供应链在零售商存在后悔的情况下利润会增加, 而高利润产品供应链在零售商具有相同后悔敏感程度的情况下利润会下降.

3 供应链竞争和后悔行为对供应链的交互影响

前面分析了后悔对于供应链均衡时的决策以及决策主体利润的影响, 本节关注在多对多的竞争环境下, 后悔和竞争的交互影响. 供应链中的竞争情况随着供应商和零售商数量变化而改变.

命题4 (a) 当供应商数量 S 增长时, 均衡批发价格 \hat{w} 降低, 均衡订货量 \hat{q} 增加.

(b) 当供应商数量 S 增长时, 每个供应商的利润 π_s 降低, 每个零售商的利润 π_r 增加, 供应链整体利润 $\hat{\Pi}$ 增加.

(c) 供应商数量 S 的增加使得零售商后悔行为参数 α 和 β 对决策 \hat{q} 的影响被放大.

命题4揭示了供应商竞争的影响. 命题4(a)表明, 当供应链中加入更多的供应商时, 激烈的竞争使得每个供应商对批发市场的影响力降低, 压低了批发价格, 从而促使每个零售商增加其订货量. 命题4(b)表明, 供应链中有更多的供应商减少了供应商利润, 提高了零售商利润. 这是直观的, 因为供应商之间的激烈竞争将减少供应商的利润, 同时提高零售商的利润. 然而, 零售商利润的增加超过了供应商利润的减少, 因此供应链整体利润随着供应商数量的增加而增加. 命题4(c)指出, 供应商之间的竞争放大了零售商后悔对决策的影响. 具体而言, 随着供应商数量的增加, 零售商增加了订货量. 因此, 考虑预期后悔和没有后悔的情况下订货量的差异会越来越明显.

通过算例给出供应商数量增加时, 供应链利

润随后悔行为参数的变化. 从图2中可发现, 后悔行为参数会对供应链利润产生不可忽视的影响, 且这种影响会随供应商数量的增长而变大. 换言之, 分散供应链中激烈的供应商竞争进一步放大了后悔的影响, 而其影响方向则由零售商对两种类型后悔的敏感程度决定. 一般而言, 当零售商对库存不足后悔敏感时, 均衡订货量的上升使得供应链的整体利润也随之提升; 当零售商关注库存过剩后悔时会谨慎考虑其订货量, 从而减少了订货量, 供应链整体利润随之下降.

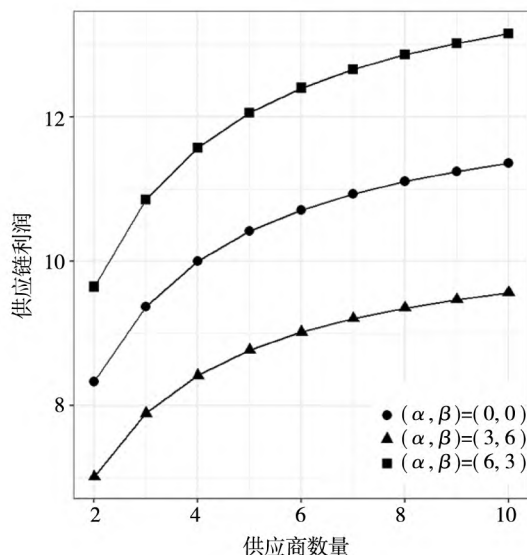


图2 供应链利润随不同后悔行为参数的变化

Fig. 2 Variation of supply chain profits with different regret behavior parameters

命题5 (a) 当零售商数量 R 增长时, 均衡批发价格 \hat{w} 与均衡订货量 \hat{q} 不变.

(b) 当零售商数量 R 增长时, 每个供应商的利润 π_s 增加, 每个零售商的利润 π_r 不变, 供应链整体利润 $\hat{\Pi}$ 增加.

(c) 如果所有零售商面对同一个零售市场 D 竞争销售, 零售商后悔行为参数 α 和 β 对决策 \hat{q} 的影响被缩小.

命题5揭示了零售商竞争的影响. 零售商的数量对于供应链的均衡没有影响的原因在于零售商是批发价格的接受者, 且每个零售商在独立的零售市场进行销售. 因此命题5(a)表明均衡批发价格和均衡订货量不会因零售商数量的增加而发生改变. 命题5(b)表明, 供应链中零售商的数量越多, 供应商利润越高. 这是因为零售商增加使得

总需求上升,进而推动了总生产数量的增长,因此每个供应商能够分享到更大的市场份额,从而实现利润的提升.然而,由于零售商对均衡的决策没有影响,因此零售商数量的增加对于每个零售商的利润没有影响.但供应链整体利润随零售商数量的增加而增加,这是因为总需求随着零售商数量的增加而增长,总需求的增长导致供应链整体利润的增加.

由于每个零售商面对独立的零售市场,且零售商在批发市场的竞争不影响均衡,因此后悔与零售商竞争不存在交互.但是,如果所有零售商在同一个零售市场里竞争消费者需求,由于后悔对均衡时总订货量的影响是不变的,命题 5(c)表明零售商竞争会削弱后悔对个体决策的影响.对于零售商而言,当竞争加剧时,其他竞争者的威胁使得个体的行为偏差缩小以保证自身在竞争环境中的位置.供应商和零售商数量的变化反映了客观竞争环境的变化,而后悔则反映了个体的行为倾向.后悔和竞争之间的相互作用改变了它们对平衡状态的影响.这种复杂的关系强调了后悔在多对多竞争环境中的重要性.

后悔是一种考虑预期收益和自身决策而产生的一种认知偏差,是个人的主观感受.但是,零售商后悔行为对于供应链均衡的影响程度会随着供应链中决策主体的竞争状态而发生变化.虽然零售商后悔只是轻微地改变了均衡,但在多对多的竞争环境下,其影响可能会被放大,甚至不能忽视.

4 不同决策方式对供应链利润的影响

前文讨论了后悔行为在分散供应链中对于成员决策和利润的影响.实际上,不同的决策方式导致供应链整体的均衡和利润发生变化.因此,本节通过算例对不同决策方式导致供应链的利润变化进行分析.

考虑三种决策方式:1)集中决策,指供应商和零售商相互信任,协商决定经营行为使之协调一致的决策.集中化供应链的利润表达式为 $\Pi^* = R(p - c)q^* - R(p - v)E[(q^* - D)^+]$,可从一阶条件得出当 $q^* = F^{-1}\left(\frac{p - c}{p - v}\right)$ 时集中决策

的供应链利润最大化.由于集中决策下成员关系为合作而非竞争,因此行为因素并不明显,不考虑集中决策的后悔影响;2)分散行为决策,指在两阶段供应链的 Stackelberg 博弈中零售商考虑自身预期后悔的分散决策,即第 2 节中描述的决策过程模型;3)分散智能决策,指两阶段供应链的 Stackelberg 博弈中零售商通过人工智能等技术辅助进行自动决策,消除行为因素影响的决策方式,可将式(2)中 α 和 β 取值为 0 表示智能决策过程.在产品成本变化时三种决策下供应链可获得的利润变化情况如图 3 所示.

从图 3 中可看出,在不同的产品成本下,集中决策相较于其他决策方案总能使供应链整体获得最高的利润.集中决策下供应商和零售商不再是竞争关系,而是寻求合作共赢.另外两种决策方式下供应商和零售商均为竞争关系,以自身利润最大化为目的进行博弈和分散决策,从而降低了供应链整体利润.此外,两种分散决策对比发现,在一般性的后悔敏感程度下,后悔降低了高利润产品供应链的利润,但提升了低利润产品供应链的利润.从另一个角度而言,旨在消除零售商后悔行为影响的自动化决策可能会减少供应链利润.因此,在分散供应链的环境下决策者可基于产品类型判断零售商后悔行为对利润的影响方向,同时审慎考虑使用人工智能进行自动化决策,实现供应链整体利润的提升.

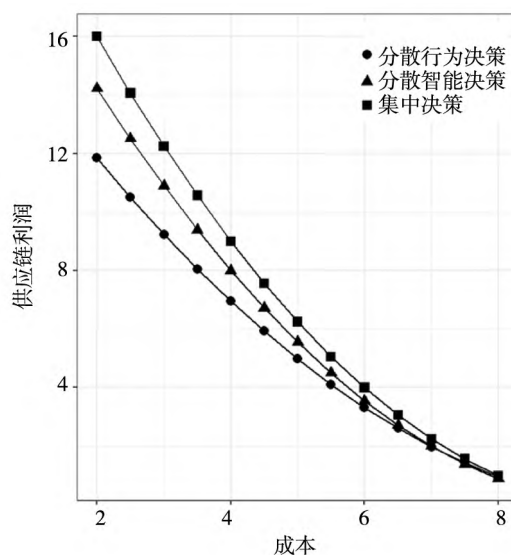


图 3 不同决策方式下的供应链利润

Fig. 3 Supply chain profits under different decision modes

由于分散供应链中竞争的存在,在单一的批发价格设置下,分散供应链的利润无法达到集中化供应链的最优水平.这就引出了一个问题,即后悔是否能够将分散供应链的利润提高到集中化供应链的水平,使得分散供应链实现协调.命题6给出了这种可能性.

命题6 当 $\alpha\left(1-\frac{h(\hat{q})}{S}\right)-\beta\left(\frac{p-c}{c-v}+\frac{h(\hat{q})}{S}\right)=\frac{h(\hat{q})}{S}(p-v)$ 时,分散供应链实现协调,其中 $h(q)=qf(q)/(1-F(q))$.

当分散供应链实现协调时,均衡时的订货量与集中化供应链的最优订货量相等.后悔使得零售商对于缺货成本和过量成本的感知发生扭曲,而这种扭曲在某种情况可以抵消分散供应链带来的不利影响.使得分散供应链实现协调.当零售商对库存不足后悔更加敏感时,这种条件才可能达成.因此,对于低利润产品供应链,零售商的后悔可以看作一种积极的力量.

由于在分散供应链中,行为决策和智能决策在供应链整体利润层面会基于不同产品的利润类型存在差异,因此进一步分析供应商和零售商的利润情况,考察不同决策对供应链成员的利润影响情况.图4给出了基于图3条件下每个供应商和每个零售商的利润.从图4可知,虽然对于零售商而言智能决策总是会导致利润的提升,但是低利润产品供应链的智能决策会减少供应商的利润,进而降低了供应链整体的利润.因此,对于高利润产品供应链,供应商应该帮助促进零售商实现人工智能辅助的智能化决策;而对于低利润产品供应链,供应商应警惕零售商智能化决策给其利润可能带来的伤害.

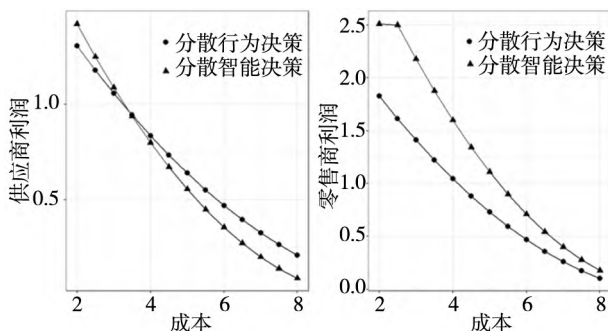


图4 不同决策方式下供应商和零售商的利润

Fig. 4 Profits of suppliers and retailers under different decision modes

5 结束语

在供应链决策逐渐转向分散模式的背景下,成员的行为偏好对其决策过程的影响日益凸显,进而对供应链均衡状态和利润产生了重要影响.后悔作为一种普遍存在的行为因素,其实质是决策者对比预期决策和实际情况而产生的认知偏差.本文将零售商订货决策中可能出现的两种后悔行为纳入供应链决策建模,得到了基于后悔行为的供应链决策均衡,分析了零售商后悔对其自身利润、上游供应商利润,以及供应链整体利润造成的不能忽视的影响.

本文主要研究结论如下:

1)零售商后悔会导致其订货决策偏离由人工智能驱动的自动化决策,使得批发价格提升,从而供应商获得价格优势.在行为驱动的分散供应链决策系统中,后悔可在一定程度上作为协调供应链的一种力量.但同时存在一个基于零售商后悔水平的批发价格上限,导致零售商在仍可盈利的情况下拒绝交易.

2)零售商后悔对供应链成员以及整体利润的影响,取决于与产品利润类型相关的系统临界分位数.库存不足后悔和库存过剩后悔的比值,与产品的过量成本和缺货成本的比值相比较,为判断后悔如何影响零售商和供应链利润提供了充分的判断依据.值得注意的是,采用人工智能决策以消除零售商后悔可能产生适得其反的效果,导致供应链整体利润的降低.

3)供应链扩张对零售商后悔的影响具有调节作用.供应商数量的增加会加剧彼此间的竞争,从而放大后悔行为对供应链的影响.相反,零售商数量的增加可能会削弱后悔对供应链的影响.零售商作为连接市场需求与供应商生产的关键节点,忽视其后悔行为会导致供应链中信息传递扭曲与决策偏差,可能直接削弱零售商自身的盈利能力,并通过上下游的传导对供应商的利润造成负面影响,进而威胁到供应链的稳定性与可持续性.

基于本文的研究结果,得出的主要管理启示如下:

1)供应商应合理评估零售商的后悔水平,并

在设定批发价格时做出适当妥协,降低因零售商后悔而导致的潜在交易失败风险,提升供应链韧性,确保供应链可持续发展。

2)在供应链管理过程中,决策者应根据供应链实际结构来识别后悔行为的影响。在供应商主导的供应链中,零售商的后悔行为可能影响较小,甚至可以忽略。然而,在零售商主导的供应链中,充分考虑后悔行为显得尤为重要。

3)旨在消除行为因素影响的人工智能决策可能产生负面效应。因此,决策者应根据不同情境谨慎判断并权衡是否采用人工智能辅助的自动化订货决策。

未来研究可以从以下几方面进行拓展。首先,

模型假定零售商是批发价格的接受者,因此限定了市场类型,实际上零售商可能对批发价格存在一定影响,而非纯粹的价格接受者,未来可针对不同类型的市场对模型进行进一步扩展;第二,模型只考虑了零售商的后悔行为,而对于供应商的后悔行为没有进行分析。零售市场中的随机需求只影响零售商的后悔行为,但当成本函数发生变化时供应商的有限理性行为也应该纳入考虑范畴。因此,未来的研究可以综合考虑零售商和制造商的有限理性行为;第三,未来的研究可以扩展到实验或实证研究。通过不同的方法来测试不同类型的后悔偏差,然后相应地确定零售商后悔行为对供应链均衡时决策和利润的影响。

参 考 文 献:

- [1] Seyedghorban Z, Samson D, Swink M. Quo vadis OSCM? An analysis of past and future trends in operations and supply chain management research[J]. *Decision Sciences*, 2022, 53(3): 429–451.
- [2] Levi R, Rajan M, Singhvi S, et al. Improving farmers' income on online agri-platforms: Evidence from the field[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2024, DOI: 10.1287/msom.2022.0437.
- [3] Ovchinnikov A, Pun H, Raz G. The impact of inventory risk on market prices under competition[J]. *Decision Sciences*, 2023, 54(1): 29–42.
- [4] 范体军, 郑 琪, 蔡 路. 考虑权力结构及供应商竞争的生鲜供应链决策[J]. *管理科学学报*, 2022, 25(1): 23–38.
Fan Tijun, Zheng Qi, Cai Lu. Supply chain decisions for fresh products with competitive suppliers under different power structures[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2022, 25(1): 23–38. (in Chinese)
- [5] Hofstra N, Spiliotopoulou E, de Leeuw S. Ordering decisions under supply uncertainty and inventory record inaccuracy: An experimental investigation[J]. *Decision Sciences*, 2024, 55(3): 303–318.
- [6] Kirshner S N, Ovchinnikov A. Heterogeneity of reference effects in the competitive newsvendor problem[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2019, 21(3): 571–581.
- [7] Li M, Li T. AI automation and retailer regret in supply chains[J]. *Production and Operations Management*, 2022, 31(1): 83–97.
- [8] Stadler H. Supply chain management and advanced planning: Basics, overview and challenges[J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 163(3): 575–588.
- [9] Wang W, Zhang P, Ding J, et al. Closed-loop supply chain network equilibrium model with retailer-collection underlegislation[J]. *Journal of Industrial & Management Optimization*, 2019, 15(1): 199–219.
- [10] Schweitzer M E, Cachon G P. Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence[J]. *Management Science*, 2000, 46(3): 404–420.
- [11] Ho T H, Zhang J. Designing pricing contracts for boundedly rational customers: Does the framing of the fixed fee matter? [J]. *Management Science*, 2008, 54(4): 686–700.
- [12] Gino F, Pisano G. Toward a theory of behavioral operations[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2008, 10(4): 676–691.
- [13] 刘咏梅, 李 立, 刘洪莲. 行为供应链研究综述[J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2011, 17(1): 80–88.
Liu Yongmei, Li Li, Liu Honglian. Behavioral supply chain management review[J]. *Journal of Central South University (Social Sciences)*, 2011, 17(1): 80–88. (in Chinese)

- [14] 刘作仪, 查 勇. 行为运作管理: 一个正在显现的研究领域[J]. 管理科学学报, 2009, 12(4): 64–74.
Liu Zuoyi, Zha Yong. Behavioral operations management: An emerging research field[J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(4): 64–74. (in Chinese)
- [15] Larrick R P. Motivational factors in decision theories: The role of self-protection[J]. Psychological Bulletin, 1993, 113(3): 440–450.
- [16] Filiz-Ozbay E, Ozbay E Y. Auctions with anticipated regret: Theory and experiment[J]. American Economic Review, 2007, 97(4): 1407–1418.
- [17] Li M, Huang H J, Liu H X. Stochastic route choice equilibrium assignment for travelers with heterogeneous regret aversions[J]. Journal of Management Science and Engineering, 2018, 3(1): 1–15.
- [18] Bell D E. Regret in decision making under uncertainty[J]. Operations Research, 1982, 30(5): 961–981.
- [19] Bell D E. Risk premiums for decision regret[J]. Management Science, 1983, 29(10): 1156–1166.
- [20] Özer Ö, Zheng Y. Markdown or everyday low price? The role of behavioral motives[J]. Management Science, 2016, 62(2): 326–346.
- [21] Nasiry J, Popescu I. Advance selling when consumers regret[J]. Management Science, 2012, 58(6): 1160–1177.
- [22] Davis A M, Katok E, Kwasnica A M. Do auctioneers pick optimal reserve prices? [J]. Management Science, 2011, 57(1): 177–192.
- [23] Li M, Liu Y. Managerial regret and inventory pricing[J]. Management Science, 2022, 68(6): 4398–4414.
- [24] 王 桦, 白春光, 张 冲, 等. 考虑策略型消费者后悔行为的易逝品零售商最优库存策略[J]. 管理工程学报, 2024, 38(4): 251–270.
Wang Hua, Bai Chunguang, Zhang Chong, et al. The optimal inventory policy of perishable retailers considering regret behavior of strategic consumers[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2024, 38(4): 251–270. (in Chinese)
- [25] 于天阳, 关志民, 董经洋, 等. 考虑预期后悔与二手市场的品牌商区块链防伪技术引入[EB/OL]. 中国管理科学, 1–17[2024–09–25], <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0044>.
Yu Tianyang, Guan Zhimin, Dong Jingyang, et al. Brand owner's blockchain anti-counterfeiting adoption considering anticipated regret and second-hand markets[EB/OL]. Chinese Journal of Management Science, 1–17[2024–09–25], <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0044>. (in Chinese)
- [26] Corbett C J, Karmarkar U S. Competition and structure in serial supply chains with deterministic demand[J]. Management Science, 2001, 47(7): 966–978.
- [27] Kirshner S N, Li Z. Supply chain contracting with competing regretful retailers[J]. Managerial and Decision Economics, 2022, 43(6): 2196–2211.
- [28] Kremer M, Minner S, Van Wassenhove L N. On the preference to avoid ex post inventory errors[J]. Production and Operations Management, 2014, 23(5): 773–787.
- [29] Cao E, Tang J. Managing regretful newsvendors and supply chain performance through target-setting[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2024, (183): 103444.
- [30] Ho T H, Lim N, Cui T H. Reference dependence in multilocation newsvendor models: A structural analysis[J]. Management Science, 2010, 56(11): 1891–1910.
- [31] 陈金晓, 陈 剑. 考虑断链风险的供应链绩效测度与 Nash 谈判[J]. 管理科学学报, 2023, 26(1): 1–18.
Chen Jinxiao, Chen Jian. Supply chain performance measurement and Nash bargaining considering the risk of chain break[J]. Journal of Management Sciences in China, 2023, 26(1): 1–18. (in Chinese)
- [32] Korpeoglu C G, Körpeoglu E, Cho S H. Supply chain competition: A market game approach[J]. Management Science, 2020, 66(12): 5648–5664.
- [33] Adida E, DeMiguel V. Supply chain competition with multiple manufacturers and retailers[J]. Operations Research, 2011, 59(1): 156–172.
- [34] Cachon G P. The allocation of inventory risk in a supply chain: Push, pull, and advance-purchase discount contracts[J]. Management Science, 2004, 50(2): 222–238.

- [35] Lariviere M A, Porteus E L. Selling to the newsvendor: An analysis of price-only contracts[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2001, 3(4): 293 – 305.
- [36] Engelbrecht-Wiggans R, Katok E. Regret and feedback information in first-price sealed-bid auctions[J]. *Management Science*, 2008, 54(4): 808 – 819.

The role of retailers' regret behavior on two-stage supply chain decision-making and profit

GU Wei¹, LIU Ya-jin¹, YAN Xiang-bin^{2*}, SONG Ya-nan¹

1. School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;
2. Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510420, China

Abstract: The trend toward decentralization in supply chains has amplified the importance of behavioral factors. This paper investigates a supply chain system involving multiple suppliers and retailers, specifically focusing on integrating retailers' potential regret behavior into the supply chain decision-making model. The differences between regret-driven behavioral decision-making and artificial intelligence-assisted automated decision-making are compared, and the impact of retailers' regret is analyzed on their profits, upstream supplier profits, and the overall profitability of the supply chain. The results show that regret prompts deviations in retailers' order quantities relative to those determined through automated inventory decisions, which leads to an increase in the wholesale price that provides suppliers with competitive pricing advantages. These effects significantly influence the profits of supply chain members and the overall system and may be amplified as the supply chain expands. Therefore, managers should recognize and anticipate the implications of retailers' regret behavior to develop more effective decision-making strategies.

Key words: retailer; supplier; Stackelberg game; regret behavior